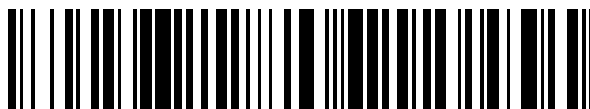


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 626**

51 Int. Cl.:

H02S 10/12 (2014.01)
H02J 3/38 (2006.01)
G05B 15/02 (2006.01)
F03D 9/25 (2006.01)
F03D 9/11 (2006.01)
F03D 9/00 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.06.2012** **PCT/DK2012/050201**
87 Fecha y número de publicación internacional: **20.12.2012** **WO12171532**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2012** **E 12728028 (7)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018** **EP 2721291**

54 Título: **Control de respuesta de estatismo selectivo para una planta de generación de turbina eólica**

30 Prioridad:

14.06.2011 US 201161496599 P
09.08.2011 DK 201170438 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
19.03.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HAJ-MAHARSI, MOHAMED y
HOFFMAN, JASON

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 704 626 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

Control de respuesta de estatismo selectivo para una planta de generación de turbina eólica

- 5 La invención se refiere a un sistema de control para una planta de generación de turbinas eólicas, y en particular a un sistema de control que proporcione un control de la respuesta de estatismo selectivo para el ajuste de la cantidad y velocidad de la respuesta en frecuencia primaria y secundaria de un sistema de generación de energía.

- 10 El estatismo es una característica potencia-frecuencia de un generador, y se define tradicionalmente como la magnitud del cambio en velocidad o frecuencia en la red que es necesaria para provocar que el mecanismo de control del impulsor primario principal del generador se mueva desde totalmente abierto a totalmente cerrado.

- 15 En el caso de una unidad de generación eléctrica conectada a la red, por lo tanto, un estatismo del 4 % indica que la velocidad del rotor de la unidad del generador cambiará (en ausencia de otra generación) en el 4 % si la carga conectada a la unidad de generación cambia desde plena carga a carga cero. Si la velocidad del rotor de la unidad de generación fuera equivalente por defecto a 60 Hz, entonces una pérdida brusca de la carga, tal como la provocada por pérdida de la línea de transmisión primaria que conecta la unidad a la red, provocaría que la velocidad del rotor se incrementara en 2,4 Hz ($0,04 \times 60$ Hz) a 62,4 Hz. De modo similar, si la unidad de generación se pusiera en línea a una velocidad 60 Hz, y la carga se incrementará desde cero a 100 %, entonces la velocidad del rotor de la unidad de generación caería en 2,4 Hz a 57,6 Hz.

- 25 Es conocido el uso de unidades de generación para el control de la frecuencia de la red. En este caso, la frecuencia de la red es detectada por un sensor unido al sistema de control, y cuando se halla que la frecuencia de la red ha caído por debajo de un valor o intervalo de estado estable deseado, el sistema de control hace que se inyecte potencia a la unidad de generación dentro de la red para incrementar la frecuencia de la red. De modo similar, si se detecta que la frecuencia de la red está por encima del valor o intervalo de valores de estado estable deseado, entonces el sistema de control dará instrucciones a la unidad de generación para disminuir su producción de potencia, hasta que la frecuencia de la red haya vuelto al nivel deseado. En dichos escenarios, el ajuste del estatismo también sirve para definir la cantidad de potencia que puede suministrarse a la red para un cambio dado en la frecuencia. Por ello, puede requerirse que una unidad de generación proporcione 3,5 MW por cada desviación de 0,01 Hz de frecuencia fuera del valor de estado estable. El ajuste del estatismo de la unidad de generación, que depende del tamaño de la unidad, dicta la capacidad de la unidad de generación para proporcionar esta potencia, tal como se describirá ahora con referencia a la figura 1.

- 35 La figura 1 es un ejemplo de curva de estatismo para una unidad de generación de potencia, y expresa la relación entre el cambio en la potencia (en por unidad) al cambio en la frecuencia (en por unidad). Como se apreciará por el experto en la materia, se usa por unidad para relacionar los parámetros a una cifra de línea base subyacente, frecuentemente tomada de los valores nominales del dispositivo eléctrico. La inversa del estatismo R viene dada por el gradiente del gráfico $\Delta P / \Delta f$. Históricamente, la característica de respuesta del estatismo se ha desarrollado en función de la tecnología de turbina de generador disponible. Por ejemplo, debido a las limitaciones físicas de las turbinas de vapor empleadas en plantas de generación de carbón, una planta de carbón elegirá típicamente funcionar con un estatismo del 5 %. Suponiendo que la unidad de generación eléctrica está funcionando con una velocidad nominal de 60 Hz, y tiene una potencia nominal de, digamos, 900 MW, la respuesta de estatismo permite que la respuesta de potencia disponible a la desviación de frecuencia se determine como sigue:

$$\Delta P = (1 / R) \cdot \Delta f \text{ o } \Delta P / 900 = (1 / 0,05) \cdot \Delta f / 60$$

- 50 Suponiendo que Δf se toma como 1 Hz, la respuesta de potencia en este ejemplo sería igual a 300 MW/Hz. Puede verse por lo tanto un valor más alto para el estatismo para reducir la cantidad de potencia que se ha de inyectar a la red para una variación en la frecuencia dada, mientras que un valor más bajo de estatismo implica que se requiere más potencia. El cambio en la potencia suministrada a la red por la unidad de generación para compensar una desviación de frecuencia se denomina como la respuesta de estatismo.

- 55 Con unidades de generación que proporcionan control de frecuencia como se ha descrito anteriormente, una perturbación en la frecuencia que tenga lugar en la red da como resultado típicamente una respuesta primaria y una secundaria. La respuesta primaria tiene lugar en segundos de la perturbación original y es el resultado de la inercia en las armaduras internas de los generadores que actúan para estabilizar el sistema a una nueva frecuencia. La respuesta secundaria es el resultado del control de frecuencia llevado a cabo en la unidad de generación y tiene lugar típicamente a lo largo de un periodo de tiempo de unos pocos minutos después de la perturbación inicial. Para proporcionar esta respuesta secundaria se requiere que las unidades de generación tengan alguna capacidad adicional para proporcionar la respuesta de potencia acordada. Esta capacidad de potencia adicional se denomina frecuentemente como reserva giratoria: esencialmente se hacen girar una o más unidades de generación en un estado de funcionamiento en el que se está produciendo potencia, pero sin que se suministre a una red. Cuando se requiere potencia adicional, las unidades de generación que proveen la reserva giratoria se conectan para satisfacer la demanda de potencia adicional.

Se espera que las turbinas eólicas jueguen un papel en la estabilización de la frecuencia de la red, en la inyección de potencia a la red con infra-frecuencia, y retornando la potencia con sobre-frecuencia. Se ha apreciado que según se incrementa la penetración de turbinas eólicas en la producción de energía, los operadores de la compañía eléctrica requerirán crecientemente que las turbinas eólicas contribuyan a la respuesta de frecuencia de la red por estabilidad. Las turbinas eólicas usan tecnologías de generación de potencia basadas en inversores, y no tienen las mismas limitaciones físicas que sus primos de generación de potencia históricos, tales como generación de carbón, gas o nuclear. Sin embargo, se ha apreciado que la generación de potencia de las turbinas eólicas se lleva a cabo típicamente independientemente de este hecho. Por ejemplo, en una zona de control única de la red de generación de electricidad, un ajuste de estatismo se fijará simplemente de modo típico en algún valor, digamos el 5 %, para todos los generadores, a pesar de las diferencias en capacidad de las unidades de generación individuales.

La escala de tiempo sobre la que se espera la respuesta secundaria se fija también típicamente por los operadores de la red, pero hasta la fecha ha sido dependiente de la respuesta de las unidades de generación históricas. Se ha apreciado que las turbinas eólicas pueden usarse para proporcionar una escala de tiempo más flexible para la respuesta de estatismo, una operación más rápida o más lenta que las unidades de generación históricas de acuerdo con los requisitos. Particularmente, dado que las turbinas eólicas tienen la capacidad de proporcionar una respuesta de estatismo más rápida si se requiere, se ha apreciado que el potencial de la producción de turbinas eólicas no se está usando en su plena extensión.

Se ha apreciado por tanto que existe una necesidad de proporcionar un sistema de control de una planta de generación de turbinas eólicas en la que la operación de las turbinas eólicas pueda configurarse más precisamente para reflejar los cambios en la demanda.

A modo de antecedentes adicionales, el documento EP2306001 A2 describe un sistema de una planta de generación eólica que es operativo para incrementar o disminuir su potencia generada basándose en la tensión detectada en la red. De esta forma contribuye a la estabilización de la red durante fluctuaciones en la tensión y frecuencia de la red.

Sumario de la invención

La invención se define en las reivindicaciones independientes a las que debería hacerse ahora referencia. Las características ventajosas se exponen en las reivindicaciones dependientes.

La invención proporciona un sistema de generación de energía que comprende: un generador eléctrico para la generación de potencia a partir de un recurso de energía renovable; un punto de conexión para conectar el generador eléctrico a la red eléctrica, teniendo el punto de conexión un transformador con un lado de baja tensión y un lado de alta tensión, estando acoplado el generador eléctrico al lado de baja tensión; un sistema de almacenamiento de energía acoplado al lado de baja tensión del punto de conexión en el que el sistema de almacenamiento de energía es operativo para proporcionar potencia a la red eléctrica además de la proporcionada por el generador eléctrico, y para almacenar potencia generada por el generador eléctrico, de modo que regule la salida de potencia desde el generador eléctrico a la red; un controlador de la planta de generación que recibe una entrada de potencia que indica una o más características de potencia de la red, el generador eléctrico, el sistema de almacenamiento de energía, y/o el punto de conexión, así como una solicitud desde el operador de la red eléctrica para proporcionar una generación de potencia con una solicitud de respuesta de estatismo seleccionable especificado, solicitud que incluye al menos un ajuste de estatismo y un tiempo de respuesta de estatismo para prevalecer sobre un ajuste de estatismo por defecto del sistema de generación de energía durante la duración de un tiempo especificado, en el que basándose en la entrada de potencia y en la respuesta de estatismo seleccionable especificado, el control de la planta de potencia controla el generador eléctrico y/o el sistema de almacenamiento de energía.

El controlador de la planta de generación puede comprender una memoria para requisitos de registro desde el operador de la red eléctrica para una respuesta de estatismo seleccionable especificado para futuros períodos de tiempo.

El controlador de la planta de generación puede ser operativo para alertar al operador de la red eléctrica si una solicitud desde el operador de la red eléctrica para proporcionar generación de potencia a la respuesta de estatismo seleccionable especificado coincide en el tiempo con una solicitud anterior separada.

El controlador de la planta de generación puede determinar una salida de potencia futura predicha para un período de tiempo correspondiente a un período de tiempo en el que se ha solicitado una respuesta de estatismo seleccionable especificado, y basándose en la salida de potencia futura predicha determinada controla uno o más de entre un dispositivo de almacenamiento de energía y el generador eléctrico.

El controlador de la planta de generación puede, basándose en la salida de potencia futura predicha determinada, controlar el dispositivo de almacenamiento de energía para asegurar que tiene una carga completa para satisfacer la solicitud de respuesta de estatismo seleccionable especificado.

El controlador de la planta de generación puede reducir la potencia del generador eléctrico por adelantado a un período de tiempo en el que se ha solicitado el estatismo seleccionable especificado para proporcionar capacidad de generación para satisfacer la respuesta de estatismo seleccionable especificado.

- 5 El controlador de la planta de generación puede enviar una alarma cuando no puede proporcionarse una respuesta de estatismo seleccionada debido a un déficit en una salida de potencia futura predicha, y/o en la capacidad de almacenamiento del sistema de almacenamiento de energía.

- 10 El sistema de almacenamiento de energía puede ser operativo para almacenar potencia desde el generador eléctrico cuando la potencia producida por el generador supera la potencia requerida por la red eléctrica, y produce salida de potencia a la red cuando la potencia producida por el generador es menor que la potencia requerida por la red eléctrica.

- 15 El generador eléctrico puede comprender uno o más de entre una turbina de energía eólica, una turbina de energía de olas o mareas, o una célula solar. El generador eléctrico puede comprender una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico.

- 20 Una segunda realización de la invención proporciona un controlador de la planta de generación que controla la operación del sistema de generación de energía como se ha descrito anteriormente.

La invención proporciona además un método de acuerdo con la reivindicación 11.

Breve descripción de los dibujos

- 25 Se describirán ahora realizaciones de ejemplo de la invención con referencia a los dibujos en los que:

- la figura 1 es un gráfico que ilustra la característica de estatismo de un sistema de generación;
la figura 2 ilustra una realización de ejemplo de la invención;
la figura 3 ilustra una realización de ejemplo del sistema de almacenamiento de energía y controlador de la
30 planta de generación;
la figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un lazo de control del algoritmo para la operación del sistema de generación de energía; y
la figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un lazo de control del algoritmo en el que se ha seleccionado un valor de estatismo especificado por un usuario.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

- Ejemplos de la invención comprenden un sistema de generación de energía que incluye un parque eólico y un sistema de almacenamiento de energía. El sistema de almacenamiento de energía se dispone para suplementar la
40 producción de potencia del parque eólico en momentos de demanda incrementada, y almacenar la energía en exceso cuando la demanda es baja. El sistema de generación de energía funciona bajo el control de un novedoso controlador de planta de generación que hace posible para los operadores de la compañía eléctrica seleccionar dinámicamente la respuesta de estatismo proporcionada por el sistema para satisfacer sus requerimientos. En este contexto, la respuesta de estatismo proporcionada por el sistema de generación de energía eólica es configurable en
45 el sentido de que los operadores de la compañía eléctrica pueden seleccionar la magnitud de la respuesta de potencia, la escala de tiempo en la que se entrega o retiene la potencia, así como el ajuste de estatismo real aplicado a la unidad de generación.

- Las modernas turbinas eólicas funcionan bajo la guía de sistemas de control, tales como SCADA (Sistema de Supervisión Control y Adquisición de Datos) para ofrecer servicios de regulación de la frecuencia de red. La frecuencia de la red se gobierna por el balance de potencia global en la red, y en una aproximación simple, es proporcional a la velocidad de rotación de los generadores internos. Esencialmente, es la inercia de las inercias en rotación lo que determina la frecuencia de la red. En una operación en estado estable, el operador de la red trata de asegurar que el suministro de potencia desde todos los generadores conectados coincida con la demanda de
50 potencia por parte de los consumidores, la carga. Según varía la demanda a lo largo del día los operadores de la red envían señales a los proveedores de generación de que se requiere más o menos potencia en momentos particulares.

- El sistema SCADA de las modernas turbinas eólicas tiene una función de controlador de frecuencia para el control de la inyección de potencia a la red, y se configura típicamente para adaptarse a la característica de estatismo de generadores convencionales. El controlador de frecuencia incrementa la referencia de potencia $P(\text{ref})$ para la turbina eólica a baja frecuencia, y disminuye la referencia de potencia a alta frecuencia. La cantidad del incremento o disminución se fija normalmente con referencia a una curva de control de potencia activa desarrollada para ajustarse a los requisitos normativos de la red local. Una banda muerta ajustable significa que las desviaciones de frecuencia
60 que persisten solo durante pequeñas duraciones de tiempo no activan el controlador de frecuencia. Dado que el controlador de frecuencia funciona basándose en la frecuencia instantánea de la red, normalmente medida en la

entrada de la turbina eólica o en el punto de acoplamiento común, no es necesario realmente un control centralizado para el parque eólico.

Se describirá ahora una realización de ejemplo de la invención con referencia a las figuras 2 y 3. La figura 2 es una ilustración esquemática que muestra una planta de generación de potencia que tiene un parque eólico con un sistema de almacenamiento de energía (ESS) y un controlador de la planta de generación de acuerdo con la primera realización de ejemplo de la invención. La figura 3 es una realización de ejemplo del sistema de almacenamiento de energía y del controlador de la planta de generación, usados en el sistema de generación de la figura 2.

El sistema de generación de energía 10 comprende una o más turbinas eólicas 12 en un parque eólico conectado a una línea de baja tensión 14 que finaliza en un transformador 16. El transformador tiene un lado de baja tensión conectado a la línea de baja tensión 14 y un lado de alta tensión conectado a la red de la compañía eléctrica 18. El parque eólico y sus turbinas eólicas componentes se conectan a la línea de baja tensión 14 en lo que se conoce como el Punto de Acoplamiento Común (PCC) 20. Se conecta adicionalmente el Sistema de Almacenamiento de Energía 22 a la línea de baja tensión 14 en el PCC 20 por medio de una línea de baja tensión 24 adicional. En este contexto, las líneas 14 y 24 están a la misma tensión, y se describen como baja tensión con referencia a la tensión de red más alta.

En este ejemplo, el sistema de almacenamiento de energía 22 comprende un dispositivo de almacenamiento de energía 26, en este caso una o más baterías (aunque podría usarse cualquier dispositivo de almacenamiento de energía apropiado), conectadas mediante un fusible 28 a un aparato convertidor y filtro 30. El aparato convertidor y filtro conecta las una o más baterías 26 a la línea de baja tensión 24, y convierte señales eléctricas entre una forma adecuada para la transmisión a la línea de tensión 24, y una forma adecuada para la presentación en los terminales de batería. Cuando se están cargando las una o más baterías el aparato convertidor y filtro 30 actúa como un rectificador que convierte la corriente alterna en corriente continua. Cuando las una o más baterías se están descargando, actúa como un inversor que convierte la corriente continua en corriente alterna. Como se muestra en la figura 2, la línea de tensión 24 puede comprender también uno o más interruptores 32, así como un relé de protección 34 opcional.

El sistema de generación de energía comprende un Controlador de la planta de generación 36 para recibir entradas de sensores desde las líneas de baja tensión 14 y 24, y para el envío de órdenes de control al Sistema de almacenamiento de energía 20, y a las turbinas del parque de turbinas eólicas. En este ejemplo, y como es conocido en la técnica, las turbinas eólicas individuales en el parque eólico se operan bajo el control del sistema SCADA. Cada turbina tiene por lo tanto un controlador SCADA individual (no mostrado) conectado a un controlador SCADA del parque eólico 38 a través de una línea de control y señalización 40 adecuada. El Controlador de la planta de generación comunica con el Sistema de almacenamiento de energía 22 a través de la línea 41. El controlador del parque eólico 38 tanto recibe como transmite información de control y señalización a las turbinas individuales en el parque, y asimismo a una red de control a mayor escala a través de la línea 42. La línea 42 conecta el controlador del parque eólico a la red de control del operador del parque eólico, al operador de la compañía eléctrica, o del sistema de transmisión.

El controlador de la planta de generación proporciona un control en tiempo real de las turbinas eólicas individuales 12 en el parque eólico, y del sistema de almacenamiento de energía 22, y actúa como un despacho de potencia de alto nivel. En este ejemplo, el controlador de la planta de generación 36 puede implementarse como una parte componente del controlador SCADA del parque eólico 38 o como un componente separado configurado para comunicar con el controlador SCADA del parque eólico 38. Como se apreciará por un experto en la materia, el controlador de la planta de generación puede implementarse usando un procesador de ordenador y memoria conectado a los elementos operativos del sistema de generación de energía mediante una red de señalización adecuada. La funcionalidad del controlador de la planta de generación puede residir solo en software o hardware, o en una combinación de software y hardware.

La figura 3 ilustra esquemáticamente la operación del Controlador de la planta de generación y del Sistema de energía, enfocándose en el intercambio de información entre los diferentes componentes. Aunque en este ejemplo se muestra de nuevo el dispositivo de almacenamiento de energía 26 como compuesto por una o más baterías, se apreciará que en la práctica puede usarse cualquier forma de almacenamiento de energía, tal como almacenamiento con base química, almacenamiento basado en volante de inercia, almacenamiento basado en condensador, almacenamiento de energía térmica, almacenamiento de energía gravitacional, almacenamiento de energía por aire comprimido, almacenamiento basado en hidrodinámica y magnetohidrodinámica. Son posibles otros sistemas de almacenamiento como se apreciará por el experto en la materia.

Como se ha señalado anteriormente con referencia a la figura 2, tanto las una o más turbinas eólicas 12 como el sistema de almacenamiento de energía 22 se conectan al punto de acoplamiento común 20. En la figura 3, el punto de acoplamiento común 20 se muestra esquemáticamente coincidiendo con el aparato de aparellaje eléctrico localizado en el lado de baja tensión del transformador 16. De hecho el PCC 20 puede estar antes que el aparellaje 46 como se muestra en la figura 2. El dispositivo de almacenamiento de energía 26 conecta al aparellaje a través del convertidor 30.

Se localiza un analizador de la calidad de potencia (PQ) 48 en el aparellaje para leer en tiempo real uno o más de entre la potencia activa de la red P, la potencia reactiva de la red Q, así como la potencia activa y reactiva proporcionadas por la turbina eólica y el almacenamiento de energía. La operación de los analizadores de PQ es bien conocida en la técnica y no se describirá aquí. Las mediciones en tiempo real realizadas por los analizadores de PQ se transmiten al controlador de la planta de generación 36 a través de la línea de transmisión adecuada. En este ejemplo, aunque se hace uso del protocolo TCP/IP, y en particular una de sus variantes Modbus TCP, son posibles otros protocolos de señalización. En otras realizaciones, puede omitirse el analizador de calidad de potencia 48, y puede hacerse uso de las capacidades de detección intrínsecas del sistema SCADA. Adicionalmente, aunque se ha descrito un único analizador de PQ 48, este puede componerse de una pluralidad de componentes analizadores de PQ localizados individualmente.

Como se muestra en la figura 3, el dispositivo de almacenamiento de energía 26 comprende un controlador local 50 que tiene también un analizador de PQ para la medición en tiempo real de las características operativas del dispositivo de almacenamiento de energía 26, tal como la potencia activa P(ess) y reactiva Q(ess). Estado de carga (SoC) y estado de salud (SoH). Estas señales se transmiten también al controlador de la planta de generación 36 a través de la línea de transmisión adecuada. De nuevo, se usan esquemas de transmisión del protocolo de TCP/IP en este ejemplo para implementar la línea de control, aunque la realización de ejemplo no necesita limitarse a esto.

Finalmente, el controlador de la planta de generación 36 recibe también un cierto número de entradas externas sobre la línea 42. La primera de estas es una lectura de previsión de potencia activa y potencia reactiva, que coincide con un periodo futuro de tiempo, para su uso en los algoritmos de control del controlador de la planta de generación. Como es conocido en la técnica, estas entradas pueden basarse en velocidades del viento futuras predichas para la localización en la que se instala la planta de potencia de turbinas eólicas, teniendo en cuenta el tamaño y capacidad de las turbinas individuales. Hay muchas formas en las que dichas entradas pueden generarse y suministrarse al operador de la turbina eólica. Previsiones basadas en la "persistencia" o "referencia" por ejemplo se basan en datos climáticos para el terreno local, así como en el promedio de valores de producción pasados recogidos en la turbina eólica, para proyectar una previsión futura. Los datos climáticos pueden basarse por ejemplo en modelos y simulaciones por ordenador o pueden acumularse a lo largo del tiempo a partir de lecturas de sensores de viento reales tomadas en la turbina. Dichas técnicas están bien desarrolladas y son consideradas altamente fiables en un marco de tiempo de cuatro a seis horas. Técnicas más sofisticadas pueden tener en cuenta datos meteorológicos y reportes del tiempo que se extienden a lo largo de un área mucho más amplia que el terreno local, y que incluyen predicciones de patrones meteorológicos. Estas técnicas usan frecuentemente también datos recogidos en la turbina eólica combinados con análisis de las curvas de potencia de la turbina eólica y algún análisis estadístico. Su fiabilidad es frecuentemente sin embargo no tan buena como los modelos de Predicción o Referencia señalados anteriormente. Las entradas que describen la potencia predicha están en general disponibles por lo tanto para la compañía eléctrica o el operador del parque eólico y por tanto no se describirán con más detalle aquí.

Adicionalmente, el controlador de la planta de generación se configura también para recibir una entrada que especifica uno o más de entre un ajuste de estatismo, la respuesta de estatismo, la magnitud de la respuesta de estatismo, y el periodo de tiempo para su suministro que ha de aplicarse a la salida del sistema de generación de energía 10, en un tiempo específico en el futuro, y durante una duración específica. En donde se especifica un ajuste de estatismo particular para el sistema de generación de energía, este se usa para prevalecer sobre el valor de estatismo por defecto (fijado digamos en el 5 %) durante la duración del tiempo especificado. Una vez ha transcurrido este periodo de tiempo, el ajuste de estatismo para la turbina eólica volverá al valor por defecto, a menos que se haya especificado un valor de estatismo adicional en cuyo punto, tendrá lugar una prevalencia adicional sobre el valor por defecto. Aunque en las realizaciones pueden aplicarse diferentes ajustes de estatismo y diferentes respuestas de estatismo a cada una de las turbinas eólicas en el parque individualmente, se prefiere en este ejemplo que el ajuste de estatismo y respuesta de estatismo se apliquen al parque eólico y para el sistema de almacenamiento de energía como conjunto. Esto evita fenómenos de captura entre diferentes turbinas eólicas que intenten proporcionar la respuesta deseada.

Los ajustes de estatismo se transmiten a los controladores de turbina eólica individuales y al controlador 50 del dispositivo de almacenamiento de energía 26 a través del sistema de control SCADA y/o líneas de señalización dedicadas, tal como las que emplean el protocolo TCP/IP anteriormente mencionado. La entrada del ajuste de estatismo en particular permite a la compañía eléctrica u operador del sistema de transmisión flexibilidad al decidir cómo utilizar la capacidad de generación proporcionada por el parque eólico 12 para satisfacer la demanda de la red. Pueden ser apropiados un cierto número de ajustes de estatismo y respuestas de estatismo diferentes dependiendo de las circunstancias.

Por ejemplo, una configuración de estatismo del sistema del 3 % a 300 MW requiere que el ajuste de estatismo para la combinación de parque eólico y sistema de almacenamiento de energía sea del 3 %, y la magnitud de la respuesta de estatismo sea de 300 MW, suministrada a través de un periodo de tiempo, digamos un periodo de tiempo por defecto de 3 minutos. Esto significará una potencia suministrada o retenida de 100 MW (300 MW / 3 min) cada minuto a la red, dependiendo de las características de frecuencia. Como se ha explicado en la introducción, el ajuste de estatismo del 3 % enlaza la respuesta de potencia a la respuesta de frecuencia, medida en por unidad. De nuevo, suponiendo una frecuencia del sistema de 60 Hz, y un valor nominal para el parque eólico de, digamos,

900 MW, un ajuste de estatismo del 3 % es igual a un cambio en la frecuencia tal como sigue:

$$\begin{aligned}\Delta f &= \Delta P \cdot R \\ \Delta f / 60 &= 300/900 \cdot (0,03) \\ \Delta f &= 0,6 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Así, para este ajuste, por cada 0,6 Hz de cambio en la frecuencia, se necesitaría suministrar (o retener) una potencia de 300 MW a lo largo de un periodo de respuesta de 3 minutos. Un ajuste de estatismo del 3 % a 150 MW por otro lado requiere que por cada 0,3 Hz de cambio en frecuencia, se suministren (o retengan) necesidades de potencia de 150 MW a lo largo del mismo periodo de 3 minutos. Finalmente, un ajuste de estatismo del 8 % a 50 MW indicaría que por cada 0,26 Hz de cambio en la frecuencia en la red, se inyectaría (o retendría) una potencia de 50 MW a lo largo del mismo periodo de tiempo de 3 minutos.

Aunque en estos tres casos de ejemplo, los periodos de tiempo a lo largo de los que se suministra la potencia son los mismos, en el ajuste de estatismo del 3 % a 300 MW puede considerarse que se proporciona una respuesta de estatismo más rápida que en la configuración de 3 % de estatismo a 150 MW. Esto es debido a que la misma desviación en la frecuencia (sea 0,6 Hz) se suministra la misma potencia en ambos casos, pero en el caso del 3 % a 300 MW, la potencia se suministra en la mitad de tiempo, concretamente en un tiempo de 3 minutos, mientras que en el caso del 3 % a 150 MW, se proporcionan 150 MW en los primeros 3 minutos y 150 MW adicionales en los siguientes 3 minutos.

Un ajuste alto (tal como 3 % a 300 MW en este caso), que define una respuesta de potencia “rápida”, puede ser apropiado por ejemplo en donde hay una alta penetración de las plantas de generación de turbinas eólicas en la capacidad de generación de la red, y el operador de la compañía eléctrica en la red requiere que esté disponible una capacidad de generación adicional para satisfacer la demanda a corto plazo. Dichos casos pueden darse cuando el operador planea llevar a una línea de transmisión fuera de servicio para llevar a cabo trabajos de mantenimiento por ejemplo. Al solicitar al controlador de la planta de generación 36 asegurar que esté disponible un estatismo del 3 % a 300 MW durante el tiempo en el que se planifica que tiene lugar el mantenimiento, el operador de la compañía eléctrica puede gestionar el mantenimiento de la línea de transmisión, con confianza en que la capacidad de generación extra es fácil que estabilice el sistema si hubiera lugar desequilibrios de potencia. Esto significa también que hay menos necesidad de asegurar que están disponibles capacidades de generación tradicionales, tales como carbón y nuclear, para proporcionar reserva giratoria para satisfacer la demanda adicional no anticipada.

Por otro lado, un ajuste de estatismo del 8 % a 50 MW, que como ha podido verse anteriormente proporciona una respuesta “lenta”, puede usarse en donde el operador de la compañía eléctrica desea desacentuar el papel de la generación eólica en la generación de frecuencia, en favor de otra generación, o en donde la penetración de la generación eólica en la red no está tan avanzada.

En estos ajustes de ejemplo, la velocidad de la respuesta se ha considerado en conexión con un periodo de tiempo por defecto de 3 minutos. Esto refleja el hecho de que no hay convención actual sobre la velocidad del tiempo de respuesta. En la realización de ejemplo de la invención, la duración del tiempo en el que se ha de suministrar la potencia es también especificable, y puede ajustarse a cualquier cifra. Naturalmente, respuestas “rápidas” tal como la configuración de estatismo de 3 % a 300 MW anteriormente mencionada, pueden hacerse el doble de rápido mediante la especificación de que el tiempo de respuesta para proporcionar los 300 MW de potencia sea de 1,5 minutos.

En la práctica, la respuesta de estatismo real disponible del parque eólico en cualquier momento dependerá de la energía eólica disponible. Por esta razón, la potencia proporcionada por el parque de turbinas eólicas 12 se mejora por la potencia proporcionada por el sistema de almacenamiento de energía (ESS) 22. Esto asegura que se cumplen los compromisos realizados por el controlador de la planta de generación 26 de proporcionar generación futura o capacidad de respuesta.

Como se apreciará a partir del análisis anterior, la aplicación de una configuración de estatismo particular a la unidad de generación de potencia supone que la velocidad de elevación de la salida de potencia para la turbina eólica puede fijarse en consecuencia para suministrar potencia en el periodo de tiempo predeterminado. Por ejemplo, una tasa de estatismo del 3 % a 150 MB solicitada para un periodo de tiempo futuro supone que la planta de generación será capaz de subir la producción de potencia con esa velocidad de subida de potencia particular de 833 kW/s (150 MW / 3x60 s). Si la potencia de salida ha de subirse, sin embargo, esto supone también que la unidad de generación eólica no estará funcionando al comienzo del procedimiento de elevación a plena capacidad, y que, en otras palabras, es capaz de proporcionar reserva giratoria. Sin embargo, incluso si la turbina eólica está funcionando por debajo de la capacidad, la velocidad deseada de suministro de potencia puede no ser posible debido a pobres condiciones del viento en el momento en que se requiere la potencia. Por esta razón, se necesitará que se suministre potencia adicional desde el dispositivo de almacenamiento de energía 26.

Los parámetros de señales de control representativos recibidos por el controlador de la planta de generación 36 son por lo tanto como sigue:

	P(ess)_ref	<i>Referencia de potencia activa del ESS</i>
	Q(ess)_ref	<i>Referencia de potencia reactiva del ESS</i>
	P(pp)_ref	<i>Referencia de potencia reactiva de la planta de generación</i>
	Q(ess)_ref	<i>Referencia de potencia reactiva de la planta de generación</i>
5	P(wtg)	<i>Potencia activa de la turbina eólica</i>
	Q(wtg)	<i>Potencia reactiva de la turbina eólica</i>
	P(red)	<i>Potencia activa de la red</i>
	Q(red)	<i>Potencia reactiva de la red</i>
	P(ess)	<i>Potencia activa del ESS</i>
10	Q(ess)	<i>Potencia reactiva del ESS</i>
	SoC	<i>Indicación del estado de carga</i>
	Alarma	<i>Indicación del estado de salud</i>
	P(previsión)	<i>Potencia activa prevista</i>
	Q(previsión)	<i>Potencia reactiva prevista</i>
15	ConfiguraciónEstatismo	<i>Configuración de estatismo deseada en la operación de la compañía eléctrica o sistema de transmisión (incluyendo uno o más ajustes de estatismo, magnitud de la potencia de estatismo, tiempo de respuesta de estatismo)</i>
	Tiempo	<i>Hora actual</i>

20 Las referencias de potencia activa y reactiva de la planta de generación P(pp)_ref y Q(pp)_ref son señales de control suministradas por el sistema de generación 10 que reflejan la demanda de potencia actual de la red, así como cualquier consideración sobre el control de frecuencia y tensión. Como es conocido en la técnica, se determinan basándose en la potencia instantánea, lecturas de tensión y corriente tomadas desde el analizador de PQ 44, así como cualesquiera señales de control que prevalezcan desde el operador de la compañía eléctrica o sistema de transmisión para más o para menos potencia.

Basándose en las P(pp)_ref y Q(pp)_ref, el controlador de la planta de generación 36 calcula las referencias de potencia activa y reactiva P(ess)_ref y Q(ess)_ref necesarias para controlar la potencia de salida suministrada por el sistema de almacenamiento de energía 26 a la red, de modo que dada la salida de potencia P(wtg) y Q(wtg) desde las turbinas eólicas se satisfagan los valores de P(pp)_ref y Q(pp)_ref. El algoritmo de control puede expresarse como sigue:

$$P(ess)_ref = P(pp)_ref - P(wtg) [1]$$

35 En donde hay un desequilibrio en las características de potencia - frecuencia en la red, tal como provocadas por un desajuste brusco en el suministro y carga resultante de una falta, la P(pp)_ref para la planta de generación de potencia cambiará para reflejar las nuevas condiciones de operación.

Los controladores de la turbina eólica individuales actuarán entonces para elevar o reducir la salida de potencia desde los generadores eólicos para acometer la inestabilidad en la red, y hacer esto de acuerdo con la configuración de estatismo solicitada y el ajuste de la tasa de elevación efectiva para el controlador de la turbina eólica para ese período de tiempo. La elevación o reducción de la potencia proporcionada por un generador de turbina eólica individual se consigue típicamente mediante el control del ángulo de paso de las palas del rotor para incrementar el par sobre el rotor del generador para una intensidad del viento incidente dada, dado que para generadores síncronos la velocidad del árbol del rotor permanece sustancialmente la misma. En donde las turbinas eólicas individuales son incapaces de proporcionar un incremento solicitado la potencia debido a escasez de viento, el controlador de la planta de generación 36 debe ajustar la señal de control de potencia de salida para el sistema de almacenamiento de energía P(ess)_ref para compensar la carencia de potencia deseada disponible de la turbina eólica.

En donde se requiere una respuesta de estatismo rápida para un periodo de tiempo futuro, las plantas de potencia de turbinas eólicas operarán por tanto inicialmente en un régimen en el que funcionarán a una infra-capacidad, creando de ese modo margen para que se suministre más potencia cuando sea necesario para satisfacer los compromisos de estatismo. A modo de ejemplo, las turbinas eólicas funcionan a digamos el 80 % de su potencia de salida nominal durante el período en el que se ha solicitado una elevada respuesta de estatismo (suponiendo que hay viento disponible en ese periodo), de modo que cuando se requiere una elevación de potencia adicional, la turbina eólica puede proporcionar un 20 % adicional de su generación.

Para gestionar la provisión de una respuesta de estatismo requerida, el controlador de la planta de generación mantiene un registro de los períodos de tiempo futuros para los que se ha especificado un estatismo deseado y compara esto con indicadores de la potencia futura disponible del viento y por lo tanto de los generadores de la turbina de generación eólica P(previsión) y Q(previsión).

Por ejemplo, considérese un escenario en el que se requiere un estatismo deseado del 3 % durante un periodo de tiempo de 72 horas comenzando 7 días en el futuro. El controlador de la planta de generación registrará primero la instrucción en un planificador y confirmará que hay no hay instrucciones previas o solapadas para el mismo periodo

de tiempo. Suponiendo que no hay compromisos preexistentes para proporcionar un estatismo diferente, el controlador de la planta de generación consultará entonces la potencia predicha disponible para el período de 72 horas y determinará si se esperan condiciones de meteorológicas favorables o condiciones de pobre viento. Cuando las condiciones del viento son pobres para el período en cuestión, el controlador de la planta de generación se asegurará de que durante el siguiente período de 7 días, la carga del sistema de almacenamiento de energía 26 se acumule de modo que cuando se requiera el estatismo más alto habrá suficiente carga disponible para satisfacer una carencia en el viento. En el caso del peor escenario, puede requerirse que el sistema de almacenamiento de energía proporcione toda la potencia desde la planta de generación de potencia sin recurrir a la generación eólica durante todo el período.

Se describirá ahora un algoritmo de control de ejemplo para el controlador de la planta de generación 36 con referencia a las figuras 4 y 5. La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un lazo de control del algoritmo para la operación del sistema de almacenamiento de energía 22 y las turbinas eólicas 12 bajo condiciones de operación normales, esto es en donde el estatismo proporcionado por el sistema se fija en un valor por defecto tal como el 5 %. La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un lazo del control del algoritmo en donde se ha seleccionado un valor de estatismo especificado por un usuario, tal como el operador de la red de la compañía eléctrica o sistema de transmisión. En teoría, el estatismo seleccionable puede fijarse en cualquier valor, pero es probable que esté en el intervalo del 1 % al 15 %.

El algoritmo de control comienza en la etapa S2. En la etapa S4, el controlador de la planta de generación (PPC) lee una o más entradas de potencia desde el sistema de almacenamiento de energía 22 y las una o más turbinas eólicas 12 o parque eólico. Como se ha señalado anteriormente, estas entradas de potencia incluyen la referencia de potencia activa del ESS ($P(ess)_{ref}$), la referencia de potencia reactiva del ESS ($Q(ess)_{ref}$), la referencia de potencia activa de la planta de generación ($P(pp)_{ref}$), la referencia de potencia reactiva de la planta de generación ($Q(pp)_{ref}$), la potencia activa del generador de turbina eólica ($P(wtg)$), la potencia reactiva del generador de turbina eólica ($Q(wtg)$), la potencia activa de la red ($P(red)$), la potencia reactiva de la red ($Q(red)$), la potencia activa del ESS ($P(ess)$), la potencia reactiva del ESS ($Q(ess)$), y la indicación del estado de carga del ESS (SoC). La entrada puede incluir también una señal de alarma que indique el estado de salud del ESS.

En particular, en la etapa S4, el controlador de la planta de generación (PPC) determina la salida de potencia desde las una o más turbinas eólicas 12 $P(wtg)$, y en la etapa S6 el PPC determina si esta salida de potencia es suficiente para satisfacer los requisitos de potencia que el sistema de generación de energía 10 debe suministrar a la red 18. Si no es así, entonces en la etapa S8, el PPC 36 envía una señal al ESS 22 dándole instrucciones para incrementar su referencia de potencia y producir más potencia (véase la ecuación 1 anterior) de modo que se satisfaga cualquier carencia. En la etapa S6, si las turbinas eólicas están suministrando suficiente potencia para satisfacer los requisitos de la red, entonces en la etapa S10 el PPC determina si el ESS tiene capacidad de almacenamiento restante. Si hay una capacidad de almacenamiento no utilizada, entonces cualquier potencia producida por las turbinas eólicas que esté en exceso de los requerimientos de la red, puede almacenarse en el ESS 22 en la etapa S12.

La potencia producida en la etapa S8 incluirá, como se ha señalado anteriormente, cualquier potencia adicional a ser proporcionada con finalidades de control de frecuencia, y será por tanto dependiente de la configuración de estatismo solicitada para ese instante de tiempo, así como de las condiciones de la red. Durante la operación, la potencia puede proporcionarse desde el sistema de almacenamiento de energía a la red en cuestión de segundos, tomando más tiempo para que el control de las turbinas eólicas proporcione potencia de salida. En la etapa S8, el sistema de control puede dirigir por lo tanto al sistema de almacenamiento de energía para producir potencia en los primeros segundos que siguen a una perturbación, y permitir que esta vaya disminuyendo según las turbinas van siendo capaces de proporcionar la respuesta de potencia deseada 30 segundos y/o minutos después. Pueden ser posibles por supuesto otros perfiles de respuesta.

El control fluye desde las etapas S8 y S12 a la etapa S14, en la que el PPC determina si se ha solicitado una nueva solicitud para una respuesta de estatismo específica por un operador de la compañía eléctrica o sistema de transmisión. Si no se ha recibido ninguna nueva solicitud de estatismo, entonces el algoritmo de control vuelve a la etapa S2 para repetir las etapas de control para la regulación de la salida de potencia del sistema de generación de energía.

Si hay una solicitud de estatismo existente en la memoria del PPC para un período de tiempo futuro, entonces cuando el control vuelve a la etapa S2, el PPC puede determinar medidas adicionales para el control del almacenamiento de carga en el ESS. Por ejemplo, puede no ser deseable operar el ESS de modo que cuando se produzca un exceso de potencia por las turbinas eólicas siempre se almacene automáticamente en el ESS, dado que esto puede degradar la capacidad de almacenamiento a largo plazo. Sin embargo, en donde se anticipa una elevada respuesta de estatismo en el próximo futuro, es probable que el PPC requiera que el ESS esté a plena capacidad o cerca de la plena capacidad de modo que esté disponible la necesaria reserva de potencia adicional.

En la etapa S14, si se ha recibido una nueva solicitud de respuesta de estatismo, entonces el control fluye a la etapa S16 y desde ahí a la etapa S18 en la figura 5. En la etapa S18, el PPC determina el tiempo para el que se ha solicitado la respuesta de estatismo, y si esta nueva solicitud de estatismo seleccionable entra en conflicto con

cualquier solicitud existente almacenada en memoria. Tendrá lugar un conflicto si el período de tiempo para la nueva solicitud de respuesta de estatismo se solapa total o parcialmente con la entrada existente en la memoria. Si hay un solape, entonces en la etapa S20, el PPC envía una alarma al operador de la compañía eléctrica o del sistema de transmisión solicitando confirmación de la instrucción. Si se confirma la nueva instrucción entonces la solicitud de respuesta de estatismo existente almacenada en la memoria puede por ejemplo simplemente sobrescribirse. En la práctica, sin embargo, se concibe que las solicitudes de respuesta de estatismo no se reciban desde múltiples partes, sino por el contrario siempre desde el operador de la compañía eléctrica o sistema de transmisión. Por lo tanto los conflictos reales en la respuesta de estatismo solicitada son improbables.

El control fluye entonces a S22, en donde el PPC determina para el período de tiempo en el que se ha solicitado la respuesta de estatismo seleccionable, la capacidad de generación de potencia predicha del sistema de generación de energía. Los datos que describen la capacidad de generación de potencia predicha están disponibles en muchas formas y pueden suministrarse al PPC en una forma conocida. En último lugar, la potencia predicha puede simplemente calcularse a partir de la previsión meteorológica y de velocidad del viento para ese período de tiempo, adaptadas para tener en cuenta fluctuaciones en la localidad en donde se localiza el sistema de generación de energía. Cuando la información meteorológica y de velocidad del viento específica para el período de tiempo no está disponible entonces la potencia puede predecirse también a partir de datos históricos recogidos para ese sistema de generación de energía eólica en años previos. Los datos de potencia predichos se representan como la potencia activa prevista (P(previsión)) y la potencia reactiva prevista Q(previsión).

En la determinación de la salida de potencia predicha para el período de tiempo relevante (el tiempo en el que se ha solicitado una respuesta de estatismo específica), puede ser necesario considerar también la capacidad de generación de potencia para el período de tiempo inmediatamente precedente al periodo relevante, dado de la disponibilidad de potencia para el periodo de tiempo precedente tendrá un efecto sobre la cantidad de carga que puede almacenarse por adelantado en el sistema de almacenamiento de energía.

En la etapa S24, el PPC calcula entonces la capacidad del sistema de generación de energía para satisfacer el estatismo que se ha solicitado. Esta capacidad se basará en que haya suficiente potencia eólica disponible durante el periodo relevante. Si la potencia eólica se espera que sea baja, entonces el estatismo solicitado puede aún satisfacerse usando la potencia suministrada desde el sistema de almacenamiento de energía. La capacidad de almacenamiento del ESS situará también un límite sobre la cantidad de respuesta de estatismo que puede proporcionarse.

En la etapa S26, si el PPC determina que la cantidad de estatismo que el sistema de generación de energía puede proporcionar para el período de tiempo relevante no es suficiente para satisfacer la demanda de respuesta de estatismo, entonces el PPC en la etapa S28 envía una señal de alarma. La señal de alarma puede tomar un cierto número de formas. Si el estatismo de respuesta solicitada es simplemente demasiado alto para ser satisfecho, debido a una salida de potencia anticipada extremadamente baja, entonces la señal de alarma notificará al operador de la compañía eléctrica o del sistema de transmisión sobre esto. La señal de alarma puede proporcionar también una respuesta de estatismo recalculada que puede proporcionarse bajo las condiciones durante el periodo de tiempo relevante, y solicitar que el operador de la compañía eléctrica u operador del sistema de transmisión confirmen que el valor de estatismo sugerido es aceptable. El PPC puede incrementar la respuesta de estatismo que está disponible en cualquier momento, mediante la disminución de la salida de potencia de las turbinas eólicas de modo que tengan más margen para responder a fluctuaciones en la red. Una disminución sugerida del sistema de generación de energía con un incremento simultáneo en la respuesta de estatismo puede sugerirse también por lo tanto al operador de la red de compañía eléctrica o sistema de transmisión.

Si la respuesta solicitada puede satisfacerse, entonces en la etapa S30, basándose en cómo de alejado en el futuro se establece que tiene lugar el período de tiempo relevante, el PPC determina una planificación para asegurar que el ESS estará totalmente cargado a tiempo para el periodo requerido. Esta planificación puede realimentarse al algoritmo de control ilustrado en la figura 4 para su consideración en las etapas S6, S10 y S12. El control finalmente fluye de vuelta a la etapa S2.

En consecuencia, se ha descrito un controlador de la planta de generación. El controlador de la planta de generación controla un sistema de generación de energía que tiene uno o más generadores eléctricos y un sistema de almacenamiento de energía, y proporcionan a un operador de la red la de compañía eléctrica o del sistema de transmisión la capacidad para seleccionar el estatismo proporcionada por el sistema de generación de energía. En consecuencia, un operador puede solicitar una respuesta de estatismo del generador específico para proporcionar servicios apropiados de control y frecuencia de la red. El controlador de la planta de generación funciona en tiempo real determinando una o más características de potencia del sistema de generación de energía. Basándose en estas características y en una indicación de la salida de potencia predicha futura para el sistema de generación de energía, el controlador de la planta de generación puede adoptar los pasos necesarios para asegurar que el sistema de generación de energía es capaz de responder con el estatismo seleccionado, o puede avisar al operador de que se prefiere un estatismo diferente.

Aunque las realizaciones de ejemplo de la invención anteriores se han descrito con referencia a sistemas de

5 generación de energía eólica, la invención no está limitada a ellos. Realizaciones alternativas que incluyan por ejemplo generación de otras formas de recursos de energía renovable, tales como energía de olas, generación por mareas, y solar, en las que la generación no está garantizada pero en donde existe una deseo de fortalecer una capacidad y respuesta de potencia de salida. En donde se han descrito diferentes realizaciones de ejemplo de la invención, se apreciará que pueden usarse características de una realización en otras realizaciones de ejemplo de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de generación de energía (10) que comprende:

- 5 un generador (12) para la generación de potencia a partir de un recurso de energía renovable;
un punto de conexión (20) que conecta el generador a una red eléctrica (18), teniendo el punto de conexión un transformador (16) con un lado de baja tensión (14) y un lado de alta tensión, estando acoplado el generador al lado de baja tensión;
un sistema de almacenamiento de energía (22) acoplado al lado de baja tensión del punto de conexión, en el que
10 el sistema de almacenamiento de energía es operativo para proporcionar potencia a la red eléctrica además de la proporcionada por el generador, y para almacenar potencia generada por el generador, de modo que regule la salida de potencia desde el generador a la red;
un controlador de la planta de generación (36) que recibe:
- 15 i) una entrada de potencia que indica una o más características de potencia de la red, del generador (12), del sistema de almacenamiento de energía (20), y/o del punto de conexión (20), y
ii) una solicitud del operador de la red eléctrica para proporcionar generación de potencia con una solicitud de respuesta de estatismo seleccionable especificado, esa solicitud incluyendo al menos un ajuste de estatismo y un tiempo de respuesta de estatismo para prevalecer sobre un ajuste de estatismo por defecto del sistema de generación de energía (10) durante la duración de un tiempo especificado,
- 20

en el que basándose en la entrada de potencia y en la solicitud de respuesta de estatismo seleccionable especificado, el control de la planta de generación controla el generador y/o el sistema de almacenamiento de energía.

25 2. El sistema de generación de energía de la reivindicación 1, en el que el controlador de la planta de generación (36) comprende una memoria para solicitudes de registro desde el operador de la red eléctrica para una respuesta de estatismo seleccionable especificado para períodos de tiempo futuros.

30 3. El sistema de generación de energía de la reivindicación 2, en el que el controlador de la planta de generación (36) es operativo (S18) para alertar al operador de la red eléctrica si una solicitud desde el operador de la red eléctrica para proporcionar generación de potencia a una respuesta de estatismo seleccionable especificado coincide en el tiempo con una solicitud anterior separada.

35 4. El sistema de generación de energía de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el controlador de la planta de generación (36) determina (S22) una salida de potencia futura predicha para un período de tiempo correspondiente a un período de tiempo en el que se ha solicitado una respuesta de estatismo seleccionable especificado, y basándose en que la salida de potencia futura predicha determinada controla uno o más de entre el dispositivo de almacenamiento de energía y el generador.

40 5. El sistema de generación de energía de la reivindicación 4, en el que sobre la base de la potencia futura predicha determinada el controlador de la planta de generación controla (S30) el dispositivo de almacenamiento de energía para asegurar que tiene plena carga para satisfacer la solicitud de la respuesta de estatismo seleccionable especificado.

45 6. El sistema de generación de energía de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el controlador de la planta de generación reduce la potencia del generador por adelantado en un período de tiempo en el que la respuesta de estatismo seleccionable especificado se ha solicitado para proporcionar capacidad de generación para satisfacer la respuesta de estatismo seleccionable especificado.

50 7. El sistema de generación de energía de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el controlador de la planta de generación envía una alarma (S28) en donde no puede proporcionarse una respuesta de estatismo seleccionada debido a una escasez en una salida de potencia futura predicha, y/o en la capacidad de almacenamiento del sistema de almacenamiento de energía.

55 8. El sistema de generación de energía de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el sistema de almacenamiento de energía (22) es operativo para almacenar potencia desde el generador cuando la potencia producida por el generador está en exceso de la potencia requerida por la red eléctrica, y para producir una salida de la potencia a la red cuando la potencia producida por el generador es menor que la potencia requerida por la red eléctrica.

60 9. El sistema de generación de energía de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el generador comprende una o más de entre una turbina de energía eólica, una turbina de energía de olas o mareas, o una célula solar.

65 10. El sistema de generación de energía de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el generador comprende una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico.

11. Un método de generación de potencia usando un sistema de generación de energía (10) que comprende un generador (12) para la generación de potencia partir de un recurso de energía renovable, un punto de conexión (20) que conecta el generador a una red eléctrica (18), teniendo el punto de conexión un transformador con un lado de baja tensión (14) y un lado de alta tensión, estando acoplado el generador al lado de baja tensión, y un sistema de almacenamiento de energía (22) acoplado al lado de baja tensión del punto de conexión, en el que el sistema de almacenamiento de energía es operativo para proporcionar potencia a la red eléctrica además de la proporcionada por el generador, y para almacenar potencia generada por el generador eléctrico, de modo que regule la salida de potencia desde el generador a la red, comprendiendo el método:
- 5 recibir, en el controlador de la planta de generación (36), una entrada de potencia que indica una o más características de potencia de la red, del generador, del sistema de almacenamiento de energía, y/o del punto de conexión;
 recibir, en el controlador de la planta de generación (36), una solicitud desde un operador de la red eléctrica para proporcionar generación de potencia con una respuesta de estadismo seleccionable especificado, en el que esa solicitud incluye al menos un ajuste de estadismo y un tiempo de respuesta de estadismo para prevalecer sobre un ajuste de estadismo por defecto del sistema de generación de energía (10) durante la duración de un tiempo especificado; y
 controlar el generador y/o el sistema de almacenamiento de energía basándose en la entrada de potencia y la respuesta de estadismo seleccionable especificado.
- 10 12. El método de la reivindicación 11, que comprende almacenar en la memoria solicitudes desde el operador de la red eléctrica para una respuesta de estadismo seleccionable especificado para períodos de tiempo futuros.
- 15 13. El método de la reivindicación 12, que comprende enviar una alerta al operador de la red eléctrica si una solicitud desde el operador de la red eléctrica para proporcionar generación de potencia con una respuesta de estadismo seleccionable especificado coincide en el tiempo con una solicitud anterior separada.
- 20 14. El método de las reivindicaciones 11 o 12, que comprende:
- 30 determinar una salida de potencia futura predicha para un período de tiempo correspondiente a un período de tiempo en el que se ha solicitado una respuesta de estadismo seleccionable especificado; y
 controlar uno o más de entre el dispositivo de almacenamiento de energía y el generador, basándose en la salida de potencia futura predicha determinada.
- 35 15. El método de la reivindicación 14, que comprende controlar el dispositivo de almacenamiento de energía para asegurar que tiene plena carga para satisfacer la solicitud de la respuesta de estadismo seleccionable especificado, basándose en la salida de potencia predicha determinada.
- 40 16. El método de las reivindicaciones 11 a 15, que comprende reducir la potencia del generador eléctrico por adelantado en un período de tiempo en el que se ha solicitado una respuesta de estadismo seleccionable especificado para proporcionar capacidad de generación para satisfacer la respuesta de estadismo seleccionable especificado.
- 45 17. El método de las reivindicaciones 11 a 16, que comprende enviar una alerta si no puede proporcionarse una respuesta de estadismo seleccionada debido a una escasez en una salida de potencia futura predicha, y/o en la capacidad de almacenamiento del sistema de almacenamiento de energía.

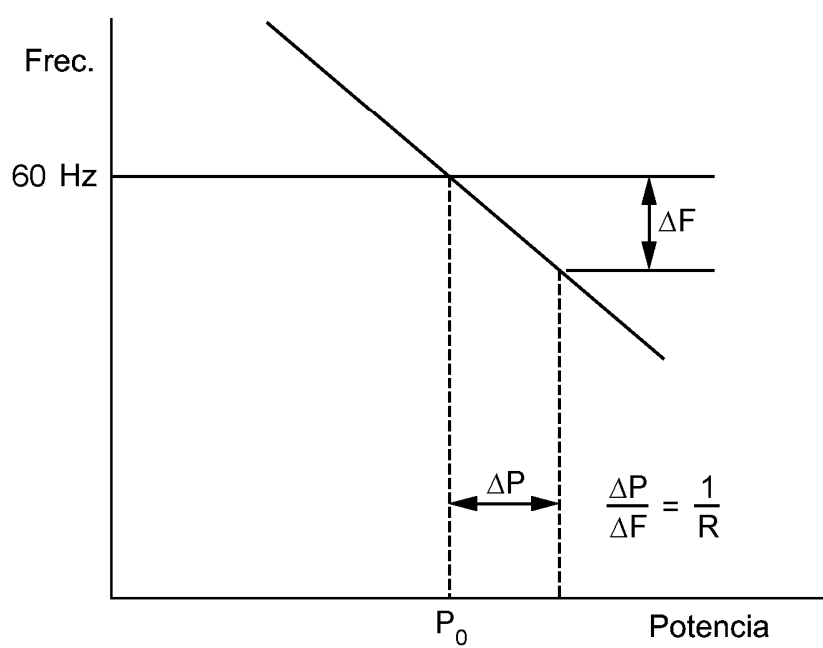


FIG. 1

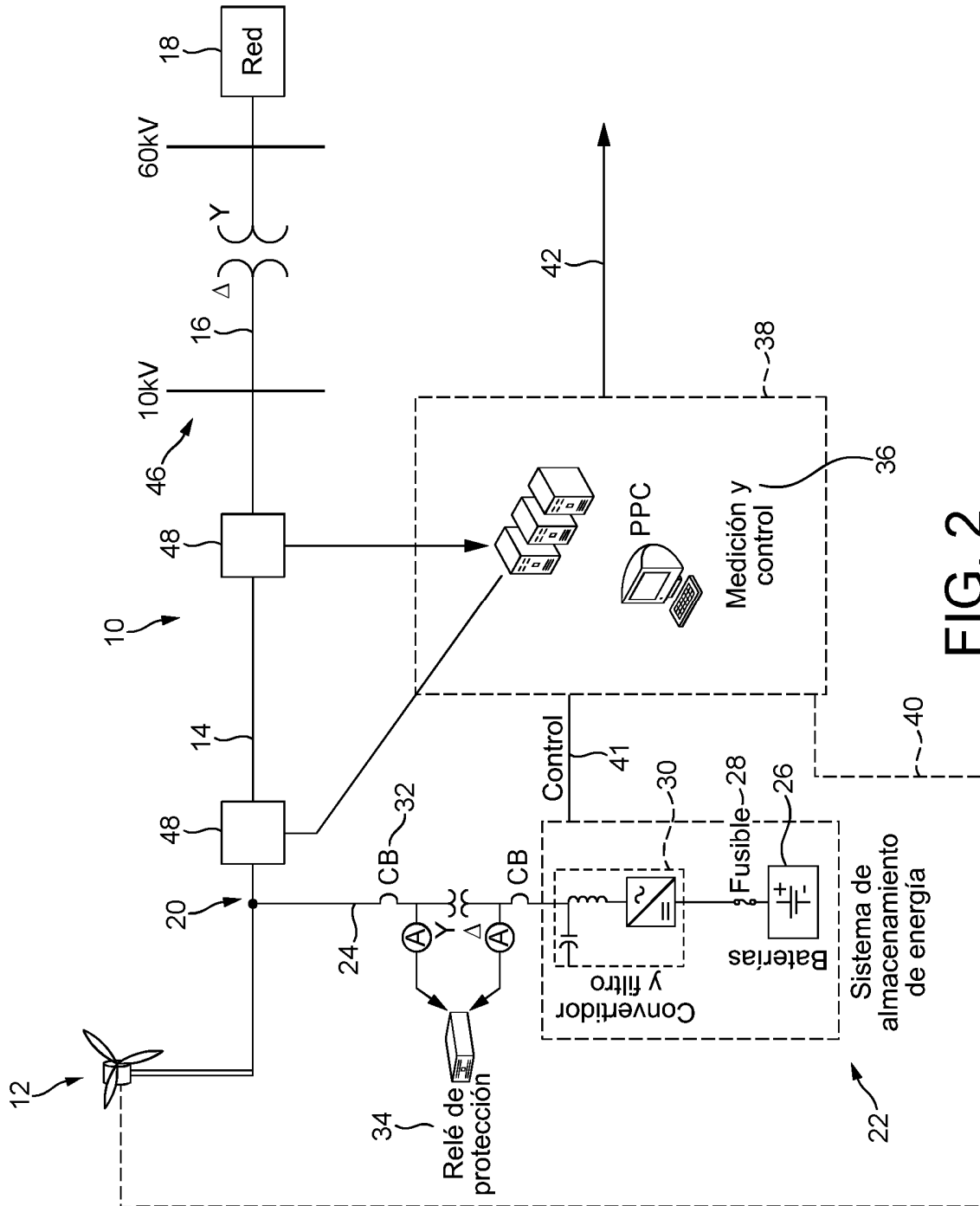


FIG. 2

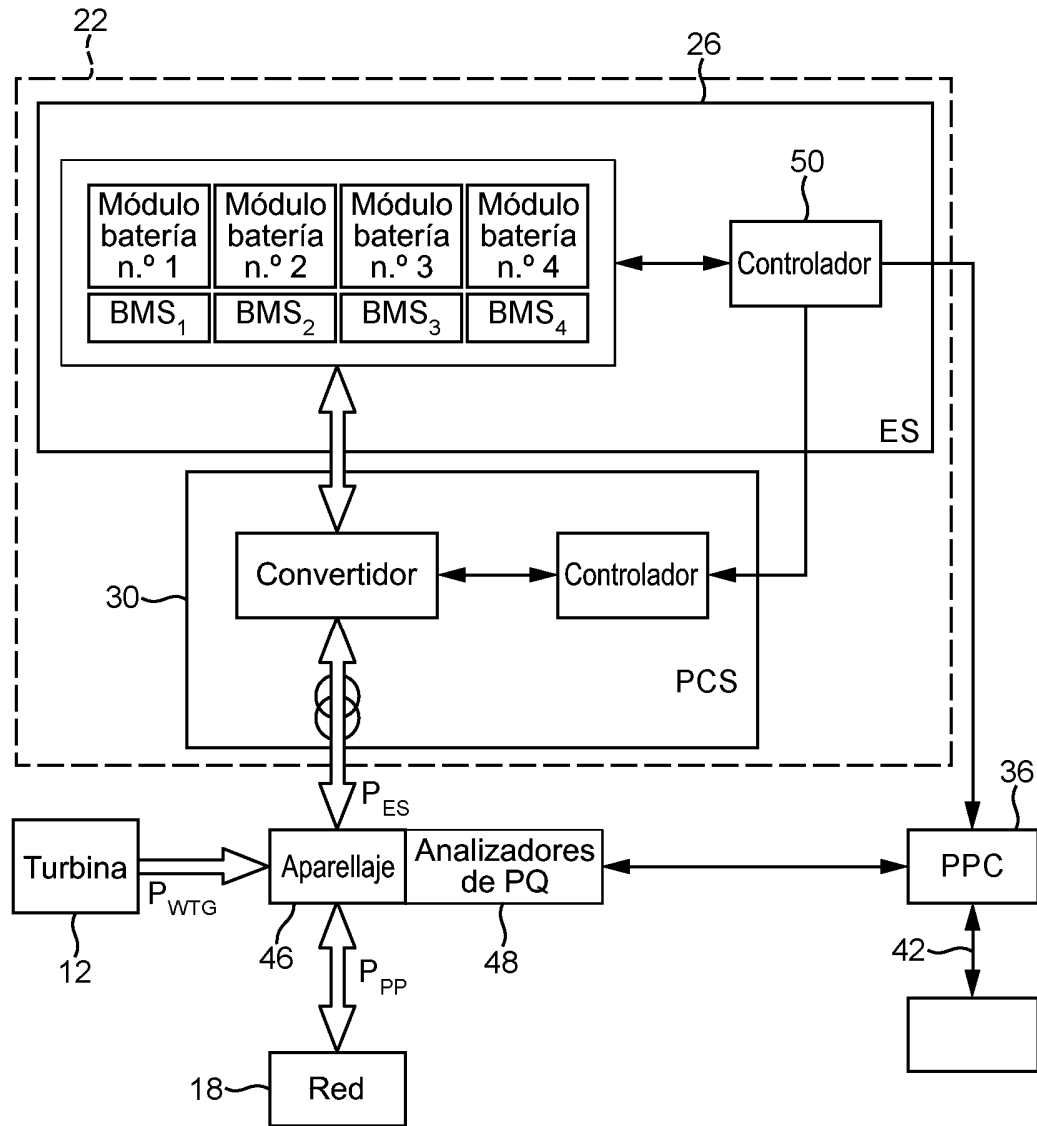


FIG. 3

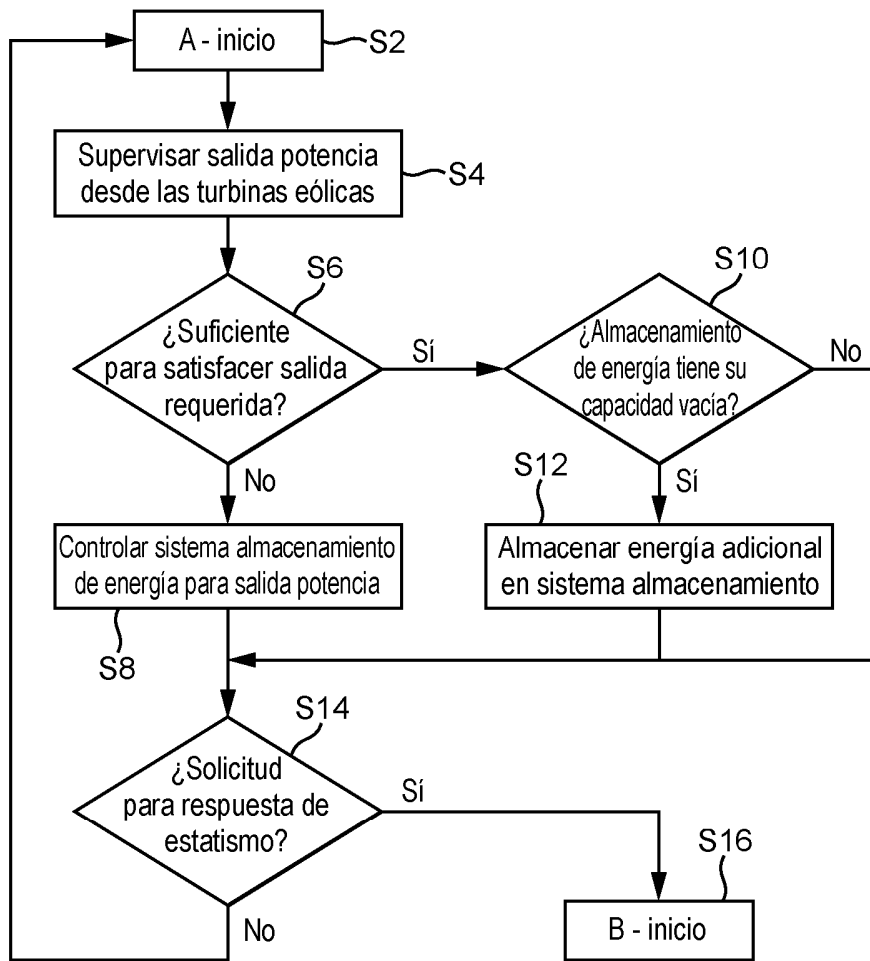


FIG. 4

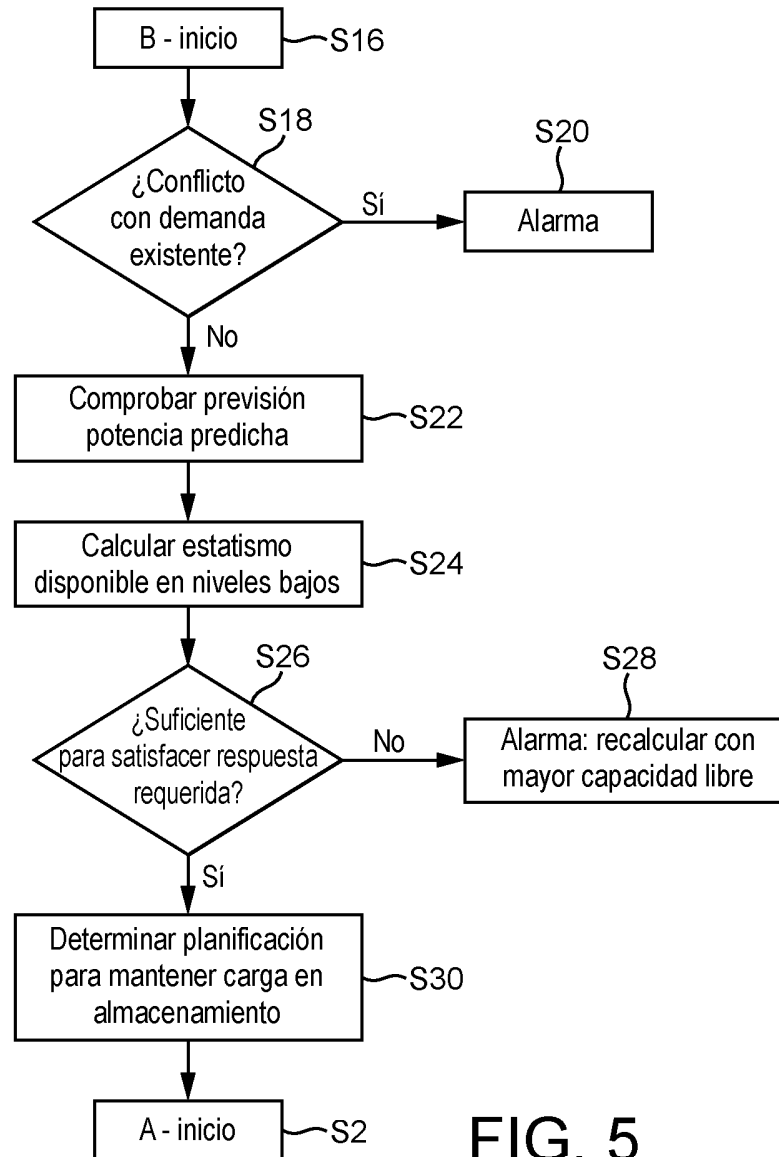


FIG. 5