

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 588 915**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.06.2009 PCT/EP2009/058157**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2010 WO10000723**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2009 E 09772423 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.07.2016 EP 2313652**

54 Título: **Método de control de una central eólica**

30 Prioridad:

**30.06.2008 DK 200800913  
30.06.2008 US 76944 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.11.2016**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**NAYEBI, KOUROUSH y  
HERBSLEB, EIK**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 588 915 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

Método de control de una central eólica

### Campo técnico

La presente invención se refiere a un método de control de una central eólica.

#### 5 Antecedentes técnicos

La demanda de potencia en una red eléctrica varía a lo largo del tiempo. Para diferentes momentos de un día, es necesario variar la potencia de salida a la red eléctrica para satisfacer las demandas de consumo de energía.

Para centrales eléctricas de generación síncrona (como centrales térmicas o nucleares), la potencia inyectada a la red eléctrica en un momento específico se controla fácilmente.

10 Sin embargo, para centrales eólicas, la naturaleza impredecible del viento dificulta el control de la potencia de salida desde estas centrales en un momento dado.

Se conoce el uso de generadores diesel en la red eléctrica para inyecciones cortas de potencia a la red eléctrica en momentos necesarios para estabilizar por ejemplo la frecuencia de la red eléctrica. Sin embargo, el uso de generadores diesel es un coste suplementario y no puede verse como una alternativa respetuosa con el medio ambiente.

15 El documento WO 03/030329 da a conocer un método de funcionamiento de un parque eólico. El parque eólico se conecta a una red de suministro eléctrico a la que se alimenta la potencia producida por el parque eólico. Al menos una de las centrales eólicas del parque eólico está dotada de una entrada de control que se usa para ajustar la energía eléctrica del parque eólico o una o varias de las centrales eólicas individuales en el parque dentro de un intervalo de 0-100 % de la potencia proporcionada respectivamente.

Sin embargo, un problema con esta solución es que se usa la potencia nominal de una central eólica, lo que en realidad puede no alcanzarse.

25 El documento EP 1 918 581 da a conocer una turbina eólica que incluye un rotor que incluye un buje y al menos una pala de rotor acoplada al buje, un primer sensor configurado para medir la temperatura de aire ambiente y generar y transmitir una señal de temperatura de aire ambiente, y al menos un procesador acoplado en comunicación de datos electrónicos al primer sensor, configurado el al menos un procesador para facilitar la reducción de cargas que actúan sobre componentes de la turbina eólica mediante al menos uno de: recibir una señal de temperatura de aire ambiente medida del primer sensor, disminuir una potencia de salida de la turbina eólica si la señal de temperatura de aire ambiente recibida es inferior a un límite predeterminado.

30 El documento US 20030127862 da a conocer un sistema de control para una central eólica que comprende medios de sensor para la detección de valores de medición que van a usarse para la cuantificación directa o indirecta de la carga y/o tensión actual de la turbina que se produce dependiendo de las condiciones meteorológicas y locales. Aguas abajo de dichos medios de detección, se prevé un sistema de procesamiento de señales eléctricas, que funciona de forma que la reducción de potencia requerida en la condición optimizada de la central eólica se restringirá para obtener eficiencia económica óptima bajo las condiciones de funcionamiento actuales, tanto en casos de vientos en el rango de la velocidad del viento nominal y en casos de velocidades del viento altas.

35 El documento EP 1 672 778 da a conocer un sistema y método de funcionamiento de un parque eólico, que tiene múltiples generadores de turbina eólica, a altas velocidades del viento. Se monitorean velocidades del viento en generadores individuales de turbina eólica y se transmite una señal desde los generadores de turbina eólica hasta un sistema de control de parque eólico basándose en las velocidades del viento monitoreadas. La tasa de cambio de potencia de salida colectiva del parque eólico se monitorea temporalmente y se controla coordinando estados de funcionamiento de los generadores de turbina eólica basándose en las señales transmitidas por el uno o más generadores de turbina eólica, las condiciones de funcionamiento de los generadores de turbina eólica y la tasa de cambio de potencia de salida monitoreada del parque eólico.

#### 45 Sumario de la invención

Un objeto general es proporcionar un control mejorado de la potencia de salida de centrales eólicas.

Otro objeto es proporcionar un método que proporcionará datos para relacionar velocidad del viento y dirección del viento a una potencia de salida potencial pronosticada de una central eólica.

50 Otro objeto es proporcionar un método que proporcionará datos actualizados para relacionar velocidad del viento y dirección del viento a una potencia de salida potencial pronosticada de una central eólica.

Otro objeto es proporcionar un método que permita hacer funcionar una central eólica en un modo restringido,

permitiendo entonces crear un acumulador de potencia que puede usar la red eléctrica a la que se conecta la central eléctrica.

Este y objetos adicionales se describirán en más detalle a continuación.

5 Según un primer aspecto de la presente invención se proporciona un método para controlar la potencia de salida instantánea de una central eólica, comprendiendo el método:

determinar una velocidad del viento y una dirección del viento,

proporcionar una estructura de datos que comprende al menos un valor de potencia de salida determinado previamente de la central eólica a dicha velocidad del viento en dicha dirección del viento,

10 determinar una potencia de salida de límite superior por medio del al menos un valor de potencia de salida determinado previamente, y

controlar la potencia de salida instantánea basándose en dicha potencia de salida de límite superior determinada.

15 Un efecto que puede obtenerse de este modo es la inyección de potencia adicional a la red eléctrica, es decir, la central eólica puede proporcionar un acumulador de potencia y de este modo estabilizar una frecuencia de la red eléctrica, estabilizar la potencia pendiente y reducir el parpadeo. Esto puede ser posible debido a que la potencia de salida instantánea puede ser inferior a la capacidad de la central eólica (restricción). La inyección de potencia adicional a la red de energía eléctrica mediante una central eólica puede imitar la respuesta de inercia de un generador síncrono, que se usa habitualmente en centrales eléctricas convencionales.

20 En una realización, se realizan la etapa de determinar una velocidad del viento en una dirección del viento y la etapa de proporcionar una estructura de datos que comprende al menos un valor de potencia de salida determinado previamente de la central eólica a dicha velocidad del viento en dicha dirección del viento cuando la central eólica funciona a una capacidad de límite superior.

En una realización, la etapa de controlar se lleva a cabo restringiendo la potencia de salida de la central eólica.

25 En una realización, la etapa de determinar una potencia de salida de límite superior por medio del al menos un valor de potencia de salida determinado previamente se realiza midiendo una segunda velocidad del viento y una segunda dirección del viento, y recuperando el valor de potencia de salida correspondiente almacenado previamente en la estructura de datos y correspondiente a dicha segunda velocidad del viento y dicha segunda dirección del viento.

Siguiendo una realización, en este aspecto de la invención, hay:

30 - un proceso de llenado de una estructura de datos, ventajosamente cuando la central eólica funciona a una capacidad de límite superior (es decir en un modo no restringido), se mide un valor de potencia de salida de la central eólica (en otra realización de cada turbina eólica comprendida en la central eólica) junto con una primera velocidad del viento y una primera dirección del viento, y este valor de potencia de salida se almacena asociado con un primer intervalo de velocidades del viento, en el que se incluye la primera velocidad del viento medida, y con un primer intervalo de direcciones del viento en el que se incluye la primera dirección del viento, y

35 - un proceso de hacer funcionar la central eólica en un modo controlado, en un modo notablemente restringido, en el que se miden una segunda velocidad del viento y una segunda dirección del viento y es posible entonces recuperar un valor de potencia de salida almacenado previamente correspondiente a un intervalo de segunda velocidad del viento, que incluye tal segunda velocidad del viento, y una segunda dirección del viento, que incluye tal segunda dirección del viento: este valor de potencia de salida almacenado corresponde entonces a una potencia de salida de límite superior esperada para este intervalo de segunda velocidad del viento y este intervalo de segunda dirección del viento; entonces puede controlarse la potencia de salida instantánea de la central eléctrica basándose en esta potencia de salida de límite superior esperada para este intervalo de segunda velocidad del viento y este intervalo de segunda dirección del viento, por ejemplo haciendo funcionar la central eólica en un modo restringido en relación con esta potencia de salida de límite superior esperada para este intervalo de segunda velocidad del viento y este intervalo de segunda dirección del viento.

45 En una realización, puede llevarse a cabo el primer proceso de vez en cuando si se desea mantener la estructura de datos actualizada.

La estructura de datos puede ser una matriz en la que al menos una potencia de salida medida se almacena como elemento de matriz asociado con la velocidad del viento y la dirección del viento.

50 Un efecto que puede obtenerse de este modo es un modo estructurado de recopilar datos de potencia de salida, que puede ser eficiente con la memoria.

La etapa de determinar una dirección del viento puede comprender además asociar la dirección del viento a un intervalo de dirección del viento (que puede denominarse sector) que comprende dicha dirección del viento.

Un efecto que puede obtenerse de este modo es que cuando se almacenan valores de potencia de salida medidos, puede usarse una matriz más pequeña debido a menos valores de dirección del viento posibles y de este modo ahorrar memoria.

5 La etapa de determinar una velocidad del viento puede comprender además asociar la velocidad del viento a un intervalo de velocidad del viento que comprende dicha velocidad del viento.

Un efecto que puede obtenerse de este modo es que cuando se almacenan valores de potencia de salida medidos, puede usarse una matriz más pequeña debido a menos valores de dirección del viento posibles y de este modo ahorrar memoria.

10 Una realización puede comprender además medir un valor de potencia de salida asociado con la velocidad del viento y la dirección del viento, y almacenar el valor de potencia de salida medido en una estructura de datos, estando asociado el valor de potencia de salida medido con la velocidad del viento y la dirección del viento.

15 Generalmente, este valor de potencia de salida es la potencia de salida que la central eólica suministra con esta velocidad del viento y esta dirección del viento cuando no hay control para reducirla. Este valor de potencia de salida generalmente es entonces también la potencia de salida de límite superior de la central eólica con esta velocidad del viento y esta dirección del viento.

Unos efectos que pueden obtenerse de este modo son conocer un límite de potencia superior para condiciones de viento local para una determinada central eólica. Debido a causas geográficas, la potencia de salida de la central eólica, cuando se instala en su ubicación, puede no ser la misma que la que especifica, por ejemplo, un fabricante.

20 Gracias a la etapa de controlar, en una realización, puede ser posible hacer que la central eólica suministre una potencia de salida instantánea inferior a la potencia de salida de límite superior, es decir, la potencia disponible en el viento para una determinada velocidad del viento y una determinada dirección del viento, con respecto a la potencia disponible en el viento. Esta potencia de salida instantánea puede ser más o menos constante dependiendo del control.

25 Una realización puede comprender repetir la etapa de determinar una velocidad del viento y una dirección del viento, y la etapa de medir un valor de potencia de salida asociado con la velocidad del viento y la dirección del viento, y la etapa de almacenar la potencia de salida medida en una estructura de datos, estando la potencia de salida medida asociada con la velocidad del viento y la dirección del viento.

30 Ventajosamente, en una realización, el(los) valor(es) de potencia de salida correspondientes a una velocidad del viento y/o a un intervalo de velocidad del viento y a una dirección del viento y/o un intervalo de dirección del viento, se actualizan entonces cuando se aplican condiciones de viento similares sobre la central eólica. Entonces, si las condiciones de la central eólica cambian (como por ejemplo árboles creciendo próximos a ella o la presencia de polvo en las palas), se actualiza la estructura de datos.

Una realización puede comprender además calcular un promedio de la pluralidad de valores de potencia de salida.

35 Un efecto que puede obtenerse de este modo es que un promedio puede describir mejor cuánto es en realidad la potencia de salida de límite superior.

La etapa de medir un valor de potencia de salida puede ser en un nivel de subestación de la central eólica (siendo esta subestación la al menos una que conecta la central eólica a la red eléctrica). La etapa de determinar una velocidad del viento y una dirección del viento puede también ser en un nivel de subestación de la central eólica.

40 Un efecto que puede obtenerse de este modo es determinar y medir condiciones de viento local en un sitio, siendo entonces los valores comparables.

Una realización puede comprender además la etapa de reemplazar a un valor de potencia de salida medido previamente asociado con una velocidad del viento y una dirección del viento con un valor de potencia de salida medido actual asociado con sustancialmente una misma velocidad del viento y con sustancialmente una misma dirección del viento.

45 Sustancialmente puede significar aquí que pueden incluirse las dos velocidades del viento en el mismo intervalo definido y pueden incluirse las dos direcciones del viento en el mismo intervalo definido.

50 Un efecto que puede obtenerse de este modo es actualizar continuamente los valores de potencia de salida con respecto a las condiciones de viento. Por ejemplo, cambios en las condiciones medioambientales pueden influir en la potencia de salida de la central eólica, dando como resultado una potencia de salida diferente de la central eólica para las mismas condiciones de viento.

El control de una potencia de salida puede comprender controlar el ángulo de paso de los rotores de al menos una turbina eólica de la central eólica y/o modificar (por ejemplo disminuir) el punto de configuración de al menos una turbina eólica de la central eólica. El punto de configuración es el valor de potencia alrededor del cual se supone que

funciona una turbina eólica. Por ejemplo, una turbina eólica de 2 MW puede tener un punto de configuración a 2 MW, pero este punto de configuración puede disminuirse por ejemplo hasta 1,5 MW.

Una realización puede comprender además recibir una potencia de salida deseada para fijar la potencia de salida instantánea.

- 5 Una realización puede comprender determinar un primer valor de potencia de salida de la central eólica asociado con la velocidad del viento y la dirección del viento a una humedad o temperatura determinada del aire en el viento, o cuando una determinada masa móvil de aire en el viento afecta a la central eólica, determinar un segundo valor de potencia de salida de la central eólica asociado con la velocidad del viento y la dirección del viento a una humedad o temperatura determinada del aire en el viento, o cuando una determinada masa móvil de aire en el viento afecta a la central eólica y determinar un valor promedio de potencia de salida basándose en el primer valor de potencia de salida determinado y el segundo valor de potencia de salida determinado.

Según un segundo aspecto de la presente invención se proporciona una central eólica que comprende:

- 15 - un sensor de velocidad del viento y un sensor de dirección del viento (puede ser un único sensor para tanto la velocidad como la dirección o dos sensores diferentes) dispuestos para medir una velocidad del viento y una dirección del viento,

- un componente de almacenamiento dispuesto para almacenar los valores de potencia de salida medidos de la central eólica, generándose cada valor de potencia de salida mediante la central eólica, estando asociado cada valor de potencia de salida con la velocidad del viento y la dirección del viento,

- un controlador dispuesto:

- 20 para recuperar, desde el componente de almacenamiento, un valor de potencia de salida de límite superior asociado con una velocidad del viento y una dirección del viento, determinándose dicho valor de potencia de salida de límite superior a partir de al menos un valor almacenado de potencia de salida medido asociado con la velocidad del viento y la dirección del viento, y

- 25 para controlar una potencia de salida instantánea basándose en el valor de potencia de salida de límite superior.

La central eólica puede comprender además una unidad de control dispuesta para asociar la dirección del viento con un intervalo de dirección del viento que comprende dicha dirección del viento.

El valor de potencia de salida de límite superior puede ser el valor de potencia de salida medido cuando no hay control para disminuirlo.

- 30 Según un tercer aspecto de la presente invención se proporciona un método para recopilar datos de viento local para el control de potencia de salida de una central eólica, comprendiendo el método:

determinar una velocidad del viento y una dirección del viento, representando la velocidad del viento y la dirección del viento la velocidad del viento y la dirección del viento a las que se somete la central eólica,

determinar un intervalo de dirección del viento asociado que comprende dicha dirección del viento,

- 35 determinar un valor de potencia de salida de la central eólica asociado con el intervalo de velocidad del viento y dirección del viento, y

almacenar el valor de potencia de salida en un elemento de una estructura de datos de matriz, estando el elemento asociado con el intervalo de velocidad del viento y dirección del viento determinado.

- 40 Unos efectos que pueden obtenerse de este modo son conocer un límite de potencia superior para condiciones de viento local para una determinada central eólica. Debido a causas geográficas, la potencia de salida de la central eólica, cuando se instala en su ubicación, puede no ser la misma que la que especifica, por ejemplo, un fabricante.

En una realización, se realizan la etapa de determinar una velocidad del viento y una dirección del viento y la etapa de determinar un valor de potencia de salida de la central eólica asociado con el intervalo de velocidad del viento y dirección del viento cuando la central eólica funciona a una capacidad de límite superior.

- 45 Una realización puede comprender además la etapa de determinar un intervalo de velocidad del viento asociado que comprende dicha velocidad del viento.

Una realización puede comprender además controlar, restringiendo notablemente, la central eólica basándose en el valor de potencia de salida determinado.

- 50 Entonces, en una realización, puede ser posible suministrar una potencia de salida instantánea más o menos constante desde la central eólica, inferior a la potencia de salida de límite superior, es decir la potencia disponible en

el viento para una velocidad del viento y dirección del viento.

5 Pueden realizarse las mediciones de la velocidad del viento, de la dirección del viento y del valor de potencia de salida en un valor puntual de la velocidad del viento, la dirección del viento y el valor de potencia de salida en un momento específico o calculando el promedio durante un determinado periodo de tiempo (por ejemplo 1s, 10s, 1 min o 1 hora) de al menos una de la velocidad del viento y/o la dirección del viento y/o el valor de potencia de salida. Pueden tomarse valores puntuales para los datos no promediados, cuando solo se ha calculado el promedio de uno o algunos de ellos.

Posibles características adicionales y realizaciones preferidas se presentan en las reivindicaciones dependientes y se dan a conocer en lo siguiente.

10 **Breve descripción de los dibujos**

Se describirán a continuación la invención y ventajas adicionales por medio de realizaciones no limitativas, con referencia a los dibujos adjuntos.

La figura 1 es una vista en perspectiva a modo de ejemplo de un ejemplo de una turbina eólica.

La figura 2 es un diagrama esquemático de una turbina eólica.

15 La figura 3 es un diagrama esquemático de una turbina eólica.

La figura 4 es una realización de un método de control de potencia de salida de una central eólica según la invención.

La figura 5 es un diagrama de flujo de un método de control de potencia de salida de una central eólica según una realización de la invención.

20 La figura 6 es un diagrama de flujo de un método de control de potencia de salida de una central eólica según una realización de la invención.

La figura 7 es una ilustración esquemática de una estructura de datos de matriz según la invención.

La figura 8 es un diagrama de bloques de una central eólica según una realización de la invención.

La figura 9 es un diagrama de bloques de una central eólica según una realización de la invención.

25 La figura 10 muestra centrales eólicas conectadas a una red de energía eléctrica según una realización de la invención.

La figura 11 muestra un ejemplo de un gráfico que ilustra la potencia en el viento en relación con una potencia de salida controlada de una central eólica según una realización de la invención.

**Descripción detallada**

30 La figura 1 es una vista en perspectiva de un ejemplo de una turbina eólica 100. La turbina eólica 100 comprende un rotor 102, una góndola 104 y una torre 106. El rotor 102 habitualmente comprende dos o tres palas de rotor 103. Las palas de rotor 103 pueden fabricarse de plásticos reforzados con fibra de vidrio o fibra de carbono, por ejemplo. Habitualmente, el ángulo de paso de las palas de rotor 103 puede regularse, es decir el ángulo de las palas de rotor 103 puede alterarse en una dirección longitudinal de las palas de rotor 103 mediante un mecanismo de regulación de ángulo de paso (no mostrado), por ejemplo en case de velocidades del viento demasiado altas.

35 Ninguno de los componentes comprendidos dentro de la góndola 104 se ilustran en la figura 1, sin embargo, la góndola 104 puede comprender una caja de engranajes para alcanzar una velocidad de rotor generada por el rotor 102.

40 La turbina eólica 100 puede funcionar o bien a una velocidad fija o bien a una velocidad variable. Si la turbina eólica 100 es de tipo de velocidad variable, un generador alojado dentro de la góndola 104 se controla mediante un equipo de electrónica de potencia.

45 El generador puede por ejemplo ser un generador asíncrono, es decir un generador de inducción, que está acoplado a la red eléctrica mediante un transformador. El generador de inducción puede por ejemplo ser un DFIG (generador de inducción doblemente alimentado), en cuyo caso el estátor del generador está acoplado a la red de energía eléctrica y el rotor del generador está acoplado a un equipo de electrónica de potencia. El generador está acoplado a un transformador, estando el transformador en conexión con la red de energía eléctrica.

Un anemómetro (no mostrado) puede montarse en la góndola 104 para medir por ejemplo la velocidad del viento para determinar la velocidad del viento y la dirección del viento en la turbina eólica 100. Además de las influencias de factores meteorológicos normales, la velocidad del viento puede variar dependiendo de por ejemplo la altura de la

torre 106 sobre la que está dispuesta la góndola 104.

5 La figura 2 es un diagrama esquemático de una turbina eólica 200. La turbina eólica 200 comprende un rotor 202, una caja de engranajes 208, un generador 210, por ejemplo un generador de inducción o un generador síncrono, un convertidor de electrónica de potencia del lado del generador 212, un condensador de enlace de cc 214, un condensador de electrónica de potencia del lado de la red eléctrica 216 y un transformador 218.

La caja de engranajes 208 alcanza una velocidad de giro del rotor 202 a una velocidad adecuada para el generador 210 por ejemplo 1500 rpm para una red eléctrica de 50 Hz. Los convertidores de electrónica de potencia 212 y 216 pueden controlar la velocidad de giro del generador 210 (puede ser por ejemplo un control de potencia o par), permitiendo una turbina eólica de velocidad variable 200.

10 La figura 3 es un diagrama esquemático de una turbina eólica 300. La turbina eólica 300 es de tipo DFIG de velocidad variable. La turbina eólica 300 comprende un rotor 302, una caja de engranajes 308, un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) 310, un convertidor de electrónica de potencia del lado del generador 312, un condensador de enlace de cc 314, un condensador de electrónica de potencia del lado de la red eléctrica 316 y transformadores 318.

15 El convertidor de electrónica de potencia del lado del generador 312 se conecta a un rotor del DFIG 310. La red de energía eléctrica está, mediante transformadores 318, directamente conectada a un estátor del DFIG 310. Esta configuración proporciona menos pérdidas en los convertidores de electrónica de potencia 312 y 316 ya que no tienen que manejar el efecto total del DFIG 310.

20 La figura 4 es una realización de un método de control de potencia de salida de una central eólica según la invención. El método no está limitado a llevar a cabo las etapas en el orden descrito a continuación.

25 En la etapa 403 se determina una velocidad del viento, así como una dirección del viento asociada con la velocidad del viento. Pueden determinarse la velocidad del viento y la dirección del viento mediante un sensor de velocidad del viento tal como un anemómetro ubicado en una posición próxima a la central eólica (también denominada parque eólico), como por ejemplo una subestación que conecta la central eólica a la red eléctrica. "Próxima" significa que la ubicación está sometida sustancialmente a las mismas condiciones de viento que la central eólica.

30 Pueden dividirse las direcciones del viento en secciones, de manera que las direcciones del viento en un plano horizontal se dividen en sectores, por ejemplo 12-18 sectores. Por ejemplo, si las direcciones del viento se dividen en 18 sectores, las direcciones del viento de 0-20 grados pueden corresponder al sector uno, las direcciones del viento de 21-40 grados pueden corresponder al sector dos y así sucesivamente. A continuación en el presente documento, este proceso se denominará cuantificación de la dirección del viento en un intervalo de dirección del viento. Las direcciones del viento pueden definirse en relación con por ejemplo los puntos cardinales, de manera que por ejemplo el norte puede definir el grado 0 y por tanto representa el sector uno según el ejemplo anterior.

35 Puede asociarse la velocidad del viento determinada con un intervalo de velocidad del viento, por ejemplo de 0,5 m/s, de manera que todas las velocidades del viento entre 5,0 m/s y 5,5 m/s se consideran como viento con la velocidad de 5 m/s. Otros intervalos, tales como 0,1 m/s o 1 m/s son, sin embargo, igualmente posibles dentro del alcance de la invención.

40 En una realización un sensor de velocidad del viento común puede usarse para toda la central eólica. Por tanto, cuando se detecta una velocidad del viento en el sensor de velocidad del viento, puede determinarse la potencia del viento para esta central eólica, tal como se describirá en más detalle a continuación. Alternativamente, un sensor de velocidad del viento puede preverse en cada turbina eólica de la central eólica. En una realización, la velocidad del viento determinada puede preverse mediante una estación meteorológica.

45 En la etapa 406 se proporciona una estructura de datos. La estructura de datos puede ser de tipo matriz, tal como se describirá a continuación con referencia a la figura 7. Las velocidades del viento y las direcciones del viento determinadas previamente pueden en esta estructura de datos asociarse con valores de potencia de salida medidos correspondientes de la central eólica, medidos ventajosamente cuando la central eólica funciona a una capacidad de límite superior.

En la etapa 409, se determina qué límite superior de potencia de salida puede suministrar la central eólica a la red eléctrica con respecto a las condiciones de viento presentes, es decir la velocidad del viento y la dirección del viento medidas.

50 En la mayoría de las situaciones es adecuado correlacionar la velocidad del viento medida con la potencia de salida de la central eólica. Sin embargo, una correlación todavía mejor entre la potencia de salida de la central eólica y las condiciones meteorológicas actuales puede establecerse analizando la potencia del viento en un canal fluvial cuya superficie en sección transversal es igual a la superficie barrida por las palas de una turbina eólica. Más específicamente, la potencia del viento en un canal de superficie A es

$$P = \frac{\rho A v^3}{2}$$

donde  $\rho$  es la densidad del aire y  $v$  es la velocidad del viento en la dirección del eje de la turbina eólica en el plano de las palas de la turbina eólica. Por tanto, para un tamaño dado de la turbina eólica, la potencia de salida se refiere al masa móvil de aire que pasa por las palas de la turbina eólica.

- 5 La densidad del aire puede calcularse usando la ley de los gases ideales, teniendo en cuenta la presión de vapor de agua

$$\rho = \frac{p - p_v}{R_d * T} - \frac{p_v}{R_v * T}$$

10 En la ecuación anterior,  $p$  es la presión absoluta,  $p_v$  es la presión de vapor de agua,  $R_d$  es la constante específica del gas para aire seco (287,05 J/kgK),  $R_v$  es la constante específica del gas para vapor (461,50 J/kgK) y  $T$  es la temperatura absoluta. La presión de vapor de agua puede estimarse a partir de la presión de vapor de saturación (por ejemplo derivada mediante el uso de la ecuación de Goff-Gratch) y la humedad relativa del aire. El cálculo de la presión de vapor de agua puede realizarse en tiempo real o puede realizarse con antelación y almacenarse en una tabla de consulta en una memoria en la central eólica. Si es aceptable un pequeño error en el cálculo, una fórmula simplificada para estimar la presión de vapor de agua puede usarse según

$$15 \quad p_v = \varphi * 6,1078 * 10^{\frac{7,5 * T - 2048,625}{T - 35,85}}$$

20 donde  $\varphi$  es la humedad relativa del aire y  $T$  es la temperatura absoluta. Consecuentemente, además de medir la velocidad del viento y la dirección del viento, midiendo también la temperatura y la humedad relativa (o la humedad específica relacionada con la humedad relativa mediante la expresión:  $x = 0,622 \varphi \rho_{ws} / (\rho - \rho_{ws})$  100%, donde  $x$  es la humedad específica de la mezcla de vapor y aire (kg/kg),  $\varphi$  es la humedad relativa (%),  $\rho_{ws}$  = la densidad de vapor de agua (kg/m3), y  $\rho$  es la densidad del aire húmedo (kg/m3)) del aire en las proximidades de la central eólica, la masa móvil de aire que pasa por la turbina eólica puede estimarse de este modo aumentando la correlación entre una condición meteorológica real (es decir no solo las condiciones de viento) y la potencia de salida de la central eólica.

25 En una realización, el estado (es decir activo o desconectado) de cada turbina eólica en la central eólica se recupera desde un controlador en la central eólica y se tiene en cuenta cuando se mide la potencia de salida de las turbinas eólicas. Normalmente, las turbinas eólicas en una central eólica están dispuestas en una zona geográfica limitada, lo que supone que para determinadas direcciones del viento un primer conjunto de turbinas eólicas experimentarán un efecto de sombra de un segundo conjunto de turbinas eólicas ubicadas delante del primer conjunto de turbinas eólicas en la dirección del viento. El efecto de sombra aparecerá como una potencia de salida inferior del primer conjunto de turbinas eólicas comparado con el segundo conjunto de turbinas eólicas aunque están expuestos a condiciones meteorológicas análogas. Mediante la medición de la potencia de salida de una turbina eólica a la vez que se tiene en cuenta el estado de las otras turbinas eólicas en la central, puede determinarse una mejor correlación entre las condiciones de funcionamiento reales de las turbinas eólicas y su potencia de salida.

35 En una realización la potencia de salida de límite superior determinada en la etapa 409 descrita anteriormente puede corresponder a uno o más valores de potencia de salida anteriores de la central eólica medidos cuando la central eólica funciona a una capacidad de límite superior. Alternativamente la potencia de salida de límite superior puede determinarse filtrando mediciones anteriores de la potencia de salida bajo condiciones meteorológicas específicas. El filtrado puede realizarse por ejemplo calculando un promedio móvil de mediciones anteriores, es decir para cada dirección del viento (absoluta o cuantificada tal como se dan a conocer anteriormente) se calcula un valor promedio de la potencia de salida de la central eólica basándose en mediciones anteriores de la potencia de salida. Mediante el cálculo de un promedio móvil en vez del almacenamiento de cada valor de medición de la potencia de salida puede reducirse el espacio de memoria requerido.

45 El filtrado puede realizarse alternativamente aplicando funciones más complejas, tales como calcular un promedio de solo una parte interior de un número de valores almacenados (es decir calcular el promedio excluyendo un porcentaje de puntos de datos de los extremos superiores e inferiores de las mediciones de potencia de salida). Los valores promedio pueden calcularse usando cualquier tipo adecuado de función de cálculo de promedio, tal como media pitagórica, media aritmética, media geométrica, media armónica, etc.

Por tanto, puede determinarse la potencia de salida de límite superior esperada de la central eólica, en contraste con

simplemente saber las especificaciones de las turbinas eólicas, según las especifican los fabricantes de turbinas eólicas, comprendidas en la central eólica.

En la etapa 412, la potencia de salida instantánea de la central eólica se controla basándose en la potencia de salida de límite superior determinada.

5 La figura 5 es un diagrama de flujo de un método de control de potencia de salida de una central eólica según una realización de la invención. El método no está limitado a llevar a cabo las etapas en el orden descrito a continuación.

10 En la etapa 503, se determina una velocidad del viento así como una dirección del viento asociada con la velocidad del viento. Pueden determinarse la velocidad del viento y la dirección del viento mediante un sensor de velocidad del viento tal como un anemómetro. Pueden dividirse las direcciones del viento en sectores tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 4. Puede asociarse la velocidad del viento medida con un intervalo de velocidad del viento tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 4. Adicionalmente, tal como se indica anteriormente, pueden determinarse la humedad y la temperatura del aire en el viento por medio de un sensor de humedad y un sensor de temperatura, respectivamente, dispuestos en la central eólica.

15 En la etapa 504, se mide un valor de potencia de salida de la central eólica. El valor de potencia de salida medido depende de la velocidad del viento y la dirección del viento determinadas (y opcionalmente la humedad y la temperatura), por ejemplo para una velocidad del viento determinada de 7 m/s en la dirección del viento en un sector 10 proporciona (a una humedad relativa del 70% y una temperatura de 16°C), por ejemplo, un valor de potencia de salida de 27 MW de la central eólica.

20 Puede ser posible medir el valor de potencia de salida para cada turbina eólica individual y añadir el valor de potencia de salida medido de cada turbina eólica.

En la etapa 506, se proporciona una estructura de datos, tal como una estructura de datos de tipo matriz. Los elementos de la estructura de datos pueden comprender valores de potencia de salida de la central eólica medidos previamente asociados con velocidades del viento y direcciones del viento correspondientes.

25 En la etapa 507, el valor de potencia de salida medido, que por tanto depende de la velocidad del viento y el sector de viento determinados, se almacena en la estructura de datos prevista. En una realización, la estructura de datos es una matriz tal como se describirá en más detalle con referencia a la figura 7 a continuación.

30 En la etapa 508, se determina si se ha recibido una potencia de salida deseada. La potencia de salida deseada puede ser un nivel de salida de potencia (o bien uno constante o bien uno variable, o con un nivel de restricción en relación con la potencia de salida de límite superior (por ejemplo, siendo la potencia de salida deseada 500 kW menor que el límite superior), que se ha pedido a la central eólica que suministre a la red de energía eléctrica o un porcentaje de la potencia de salida de límite superior (por ejemplo, requisito de funcionar al 80% del límite superior). La potencia de salida deseada es la que la central eólica va a inyectar a la red eléctrica. El valor de potencia de salida deseado puede proporcionarse por ejemplo a partir de un gestor de la red de transporte (TSO) que quiere suministrar una potencia de salida específica a la red eléctrica, necesaria según las demandas de los usuarios de la red eléctrica, o que quiere mantener un acumulador de potencia (algunos códigos de la red eléctrica lo requieren). Puede ser también un horario previamente programado de diferentes potencias de salida esperadas durante por ejemplo el transcurso de un día.

En caso de que una potencia de salida deseada no se haya recibido, el método continúa a la etapa de medir una velocidad del viento 503.

40 En caso de que una potencia de salida deseada se haya recibido, el método continúa a la etapa de determinar una potencia de salida de límite superior 509.

45 En la etapa 509, se determina qué potencia de salida de límite superior puede suministrar la central eólica a la red eléctrica con respecto a las condiciones de viento presentes, es decir la velocidad del viento y la dirección del viento medidas. La potencia de salida de límite superior puede recuperarse de la estructura de datos en la que se ha almacenado un valor de potencia de salida medido previamente (para las mismas condiciones de viento o compartiendo el mismo intervalo de velocidad del viento e intervalo de dirección del viento), medido ventajosamente cuando la central eólica funciona a una capacidad de límite superior.

50 En la etapa 512, la potencia de salida instantánea de la central eólica se controla basándose en la potencia de salida de límite superior determinada. La central eólica puede controlarse para que esté acorde a la potencia de salida deseada.

Por ejemplo, si la potencia de salida deseada es 30 MW y la potencia de salida de límite superior real de la central eólica, debido a su ubicación geográfica y a las condiciones de viento, es 37 MW, las turbinas eólicas de la central eólica tendrán sus salidas controladas o reguladas por medio de por ejemplo:

- controlar el par o potencia del generador, o/y

- regular el ángulo de paso o utilizar regulación activa por pérdida aerodinámica de palas de rotor de al menos una turbina eólica del parque de energía eólica (por ejemplo todas).

- Detener al menos una de las turbinas eólicas de la central eólica.

5 Por tanto, incluso si la potencia de salida especificada (por ejemplo por el fabricante) es 40 MW para una velocidad del viento específica, debido a la ubicación geográfica, la central eólica puede producir como máximo 37 MW en una determinada dirección del viento para esa velocidad del viento. Según la invención, se conoce cuál es la potencia de salida máxima de la central eólica para esa dirección del viento y velocidad del viento (37 MW en este ejemplo), y por tanto también se conoce cuánto control o regulación es necesaria, por ejemplo, cuánta regulación del ángulo de paso es necesaria para producir los deseados 30 MW.

10 Si las condiciones de viento cambian (por ejemplo la dirección del viento), gracias a la estructura de datos de la invención, la nueva potencia de salida de límite superior de la central eólica también se conoce (en nuestro ejemplo puede ser por ejemplo 39 MW). Entonces, si el requisito es mantener el mismo acumulador de potencia que antes, puede adaptarse el control o la regulación (si por ejemplo el requisito es mantener 7 MW de potencia, entonces la central eólica se controla para suministrar 32 MW de potencia de salida instantánea. En otro ejemplo, el requisito es mantener la potencia de salida instantánea en un determinado porcentaje de la potencia de salida de límite superior).

La figura 6 es un diagrama de flujo de una realización de un método de control de potencia de salida de una central eólica según una realización de la invención. Tal como se mencionó anteriormente, el método no está limitado a llevar a cabo las etapas en el orden descrito a continuación.

20 En la etapa 603, se determinan una velocidad del viento y una dirección del viento del viento. Pueden determinarse la velocidad del viento y la dirección del viento mediante un sensor de velocidad del viento tal como un anemómetro. Pueden dividirse las direcciones del viento en sectores tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 4. Puede asociarse la velocidad del viento medida con un intervalo de velocidad del viento tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 4.

25 En la etapa 604, se mide un valor de potencia de salida de la central eólica, ventajosamente cuando la central eólica funciona a una capacidad de límite superior. Por ejemplo esta medición puede realizarse en un nivel de subestación (en la una o varias subestaciones que conectan la central eólica a la red eléctrica).

El valor de potencia de salida medido por tanto depende de la velocidad del viento y la dirección del viento determinadas.

30 Puede también ser posible medir la potencia de salida para cada turbina eólica individual y añadir la potencia de salida medida de cada turbina eólica a una potencia de salida de la central eólica que comprende las turbinas eólicas.

35 En la etapa 613 se decide si la etapa de determinar una velocidad del viento y una dirección del viento 603 y la etapa de medir un valor de potencia de salida 604 se han llevado a cabo menos que un número de veces N predeterminado. N puede ser por ejemplo 1, 5, 10, 1000, 10000. En caso de que el número de mediciones sea menor o igual a N, el resultado de la etapa de determinar una velocidad del viento y una dirección del viento 603 y el resultado de la etapa de medir una potencia de salida 604 se guardarán sin eliminar ningún valor de potencia de salida medido anteriormente.

Los valores medidos pueden almacenarse en una memoria temporal para procesarlos posteriormente.

40 Pueden realizarse las mediciones del viento y de los valores de potencia de salida en un valor puntual de la velocidad del viento, la dirección del viento y el valor de potencia de salida en un momento específico o calculando el promedio durante un determinado periodo de tiempo (por ejemplo 1s, 10s, 1 min o 1 hora) de la velocidad del viento y/o la dirección del viento y/o el valor de potencia de salida.

45 En caso de que el número de mediciones de valores de potencia de salida sea mayor que N, entonces la medición de valor de potencia de salida más antigua se elimina de la memoria y se guarda la nueva. En una realización, cada elemento de matriz comprende un vector en el que puede almacenarse un número predeterminado de valores de potencia de salida, por ejemplo 1000 valores de potencia de salida.

En la etapa 614 se calcula un promedio de la pluralidad de valores de potencia de salida medidos para cada pareja (velocidad del viento, dirección del viento).

50 Alternativamente, todos los valores de potencia de salida medidos se almacenan en un vector asociado con su velocidad del viento y dirección del viento respectivas, sin calcular un promedio de la potencia de salida medida hasta por ejemplo leer datos en conexión con una etapa 606 a continuación.

En la etapa 606, se proporciona una estructura de datos, tal como una estructura de datos de tipo matriz. Los elementos de la estructura de datos pueden comprender potencias de salida medidas previamente de la central

eólica, asociadas con intervalos de velocidades del viento e intervalos de direcciones del vientos (sectores) correspondientes.

5 En una realización, cada elemento de la matriz puede comprender un vector con N elementos para los N valores de medición de la potencia de salida. Cuando se llevan a cabo nuevas mediciones según la etapa 604, cada valor de potencia de salida más antiguo de un vector puede reemplazarse posteriormente por un nuevo valor de medición.

En la etapa 615, el promedio calculado de la potencia de salida medida se almacena en la estructura de datos.

En otra realización este promedio se calcula cuando es necesario (almacenado o no).

10 En la estructura de datos, el promedio calculado de la potencia de salida medida se asocia con un intervalo de velocidad del viento y sector de viento. Tal como se mencionó anteriormente con referencia a la figura 5, la estructura de datos puede ser por ejemplo una matriz. A lo largo del tiempo, se llenará la estructura de datos con valores de potencias de salida para diferentes intervalos de velocidades del viento e intervalos de direcciones del viento, es decir sectores de viento, medidos ventajosamente cuando la central eólica funciona a una capacidad de límite superior.

15 Además, cuando se realiza una nueva determinación para un intervalo de velocidad del viento promedio y sector de viento existentes, un valor antiguo puede sobrescribirse por el valor medido recientemente según el principio primero en entrar primero en salir. Por tanto, para cada dirección del viento y velocidad del viento, la central eólica podrá determinar un valor de potencia de salida de límite superior que puede suministrarse a la red eléctrica.

En una etapa 608, la central eólica recibe una potencia de salida deseada que se proporciona a la red eléctrica.

20 En una etapa de determinar una potencia de salida de límite superior 609, se determina qué potencia de salida de límite superior puede suministrar la central eólica a la red eléctrica con respecto a las condiciones de viento presentes, es decir la velocidad del viento y la dirección del viento determinadas. La potencia de salida de límite superior determinada puede recuperarse de una estructura de datos en la que se ha almacenado un valor de potencia de salida medido previamente, medido ventajosamente cuando la central eólica funciona a una capacidad de límite superior.

25 En una etapa 612, la potencia de salida de la central eólica se controla basándose en la potencia de salida de límite superior determinada. La central eólica puede controlarse para que esté acorde a la potencia de salida deseada. Las turbinas eólicas de la central puede entonces tener sus salidas reguladas por medio de por ejemplo el control del par o de la potencia del generador, o del ángulo de paso o la utilización de la regulación activa por pérdida aerodinámica de palas de rotor, o al menos puede detenerse una de las turbinas del parque.

30 Cuando la central eólica está suministrando potencia según la potencia de salida deseada, que puede ser inferior a la potencia de salida de límite superior (esto se denomina restricción), la central eólica puede necesitar cambiar a la potencia de salida de límite superior después de por ejemplo una cantidad de tiempo predeterminada para nuevas mediciones de la velocidad del viento, dirección del viento y potencia de salida (etapas 603 y 604). En una realización, la central eólica llevará a cabo entonces las etapas que siguen a las etapas 603 y 604.

35 La figura 7 es una ilustración esquemática de una estructura de datos de matriz según la invención. La matriz 700 comprende columnas 704a-c y 705, estando cada columna 704a-c y 705 asociada con un sector de viento, respectivamente. En la matriz 700 ejemplificada en la figura 7, la primera columna 702 comprende velocidades del viento con intervalos de velocidad del viento de 0,5 m/s. Cada fila 706a-c y 707 se asocia con un intervalo de velocidad del viento específico. Cada sector de viento comprende un intervalo de ángulos, en este ejemplo de 20  
40 grados.

Los elementos en la matriz 700, tal como el elemento 708 pueden comprender valores de potencia de salida medidos (N, tal como se definió anteriormente, por ejemplo en una realización) o en una realización, un promedio de una pluralidad de valores de potencia de salida medidos.

45 Una última fila 707 es, en este ejemplo 40 m/s, las velocidades del viento más altas para las que todavía están funcionando las turbinas eólicas. Tal como puede verse en las diferentes columnas 704a-c y 705, hay diferentes valores de potencia de salida medidos para una velocidad del viento específica para diferentes sectores en algunos casos. Esto puede deberse a la variación geográfica alrededor de una central eólica. Por ejemplo, puede haber una montaña, un bosque o una colina adyacente a la central eólica en una dirección, que afecta a una potencia de salida generada desde la central eólica con el viento soplando desde esa dirección.

50 Por ejemplo, en caso de que de las turbinas eólicas estén dispuestas por ejemplo en una línea, el valor de potencia de salida desde una dirección del viento perpendicular a esta línea puede ser mayor que el valor de potencia de salida desde una dirección del viento paralela a esta línea.

En una realización preferida, la matriz 700 se crea para la totalidad de la central eólica.

En otra realización, la matriz 700 se crea para cada turbina eólica de la central eólica. Esto puede proporcionar una

mejor comprensión de qué turbinas eólicas se ven afectadas principalmente por variaciones geográficas, y en qué caso puede aplicarse el control de potencia o par, o control del ángulo de paso o regulación activa por pérdida aerodinámica individualmente a cada turbina eólica para un mejor control.

5 La figura 8 es un diagrama de bloques de una central eólica según una realización de la invención. La central eólica 814 comprende una pluralidad de turbinas eólicas 800, un sensor de dirección del viento 808, un sensor de velocidad del viento 802, un controlador 804, y un componente de almacenamiento 806.

10 El sensor de dirección del viento 808 y el sensor de velocidad del viento 802 pueden alojarse dentro de un dispositivo, tal como un anemómetro. El sensor de dirección del viento 808 y el sensor de velocidad del viento 802 miden la dirección del viento y la velocidad del viento. El sensor de dirección del viento 808 puede proporcionarse en una subestación que pertenezca a la central eólica 814 y que conecta la central eólica a la red eléctrica.

15 Esta información se proporciona entonces al controlador 804, que puede ubicarse también en la misma subestación. El controlador puede recuperar información almacenada previamente del componente de almacenamiento 806 sobre una potencia de salida de límite superior para la velocidad del viento y la dirección del viento medidas. El controlador 802 puede estar dispuesto también para recibir valores de potencia de salida deseados desde una fuente externa tal como un TSO. Una unidad de control 826 puede conectarse al controlador 802, recibir información del sensor de dirección del viento 808 y sensor de velocidad del viento 802. La unidad de control 826 puede cuantificar la velocidad del viento y la dirección del viento medidas tal como se describió con referencia a la figura 4. En una realización, la unidad de control 826 puede comprenderse dentro del sensor de velocidad del viento 802 o dentro del sensor de dirección del viento 808.

20 En respuesta a una potencia de salida deseada recibida, el controlador 804 puede enviar señales de control a la pluralidad de turbinas eólicas 800 para controlar su potencia de salida instantánea según la potencia de salida deseada. Esto implica controlar o regular la salida por medio de por ejemplo el control de potencia o par, y/o el control del ángulo de paso o regulación activa por pérdida aerodinámica de rotores de las turbinas eólicas 800 y/o la detención de al menos una de las turbinas del parque.

25 Por consiguiente, los datos almacenados en el componente de almacenamiento 806, que pueden comprender la matriz descrita en la figura 7, pueden usarse para reducir la potencia de salida de la central eólica 814, por ejemplo como porcentaje de la potencia real en el viento. Consecuentemente, un acumulador de potencia puede preverse en el que la central eólica 814 tiene la posibilidad de inyectar más potencia a la red eléctrica si es necesario. En una realización, un anemómetro puede preverse para cada turbina eólica 800.

30 La figura 9 es un diagrama de bloques de una central eólica según una realización de la invención. La central eólica 914 comprende una pluralidad de turbinas eólicas 900, un sensor de dirección del viento 908, un sensor de velocidad del viento 902, un controlador 904, y un componente de almacenamiento 906. Los números de referencia corresponden a los números de referencia correspondientes descritos con referencia a la figura 8. La central eólica 914 comprende además una pluralidad de sensores de potencia de salida 912, estando cada sensor de potencia de salida 912 asociado con una turbina eólica 900, y una unidad de control 926.

35 Cuando ventajosamente cada turbina eólica 900 funciona a una capacidad de límite superior, cada sensor de potencia de salida 912 proporciona información al controlador 904 sobre el valor de potencia de salida de la turbina eólica 900 con la que se asocia. Por tanto, la velocidad del viento medida mediante el sensor de velocidad del viento 902 y la dirección del viento medida mediante el sensor de dirección del viento 908 puede asociarse con un valor de potencia de salida medido bajo esas condiciones.

40 Puede asociarse la velocidad del viento medida con un intervalo de velocidad del viento, tal como se describió anteriormente, y puede asociarse la dirección del viento con un sector de viento, en el que el valor de potencia de salida medido puede almacenarse en el componente de almacenamiento 906 de manera que por ejemplo la potencia de salida se asocia con la velocidad del viento y el sector de viento.

45 El componente de almacenamiento puede comprender una estructura de datos tal como una matriz tal como se describió con referencia a la figura 7. El componente de almacenamiento 906 puede comprender una pluralidad de matrices, por ejemplo una para cada turbina eólica 900 y/o una para la central eólica 914 completa en la que cada valor de salida de potencia almacenado es una potencia de salida total de la central eólica, es decir una suma de la potencia de salida de todas las turbinas eólicas 900. Esto puede proporcionar mejor control de una turbina eólica 900 individual si se va a controlar una potencia de salida individual.

50 La potencia de salida medida desde los sensores de potencia de salida 912 puede almacenarse en el componente de almacenamiento 906. El controlador puede recuperar información almacenada previamente del componente de almacenamiento 906 sobre una potencia de salida de límite superior para la velocidad del viento y la dirección del viento medidas. Los valores de potencia de salida proporcionados por los sensores de potencia de salida 912 se almacenan ventajosamente en el componente de almacenamiento 906 cuando las turbinas eólicas 900 funcionan a una capacidad de límite superior (es decir en un modo no restringido), es decir cuando suministran la energía total que pueden tomar del viento.

El controlador 904 también está dispuesto en una realización para recibir una potencia de salida deseada de una fuente externa tal como un TSO.

5 La unidad de control 926 puede cuantificar la velocidad del viento y la dirección del viento medidas tal como se describió con referencia a la figura 4. En una realización, la unidad de control 926 puede comprenderse dentro del sensor de velocidad del viento 902 o dentro del sensor de dirección del viento 908.

10 En respuesta a una potencia de salida deseada recibida, el controlador 904 puede enviar señales de control a la pluralidad de turbinas eólicas 900 para controlar su potencia de salida instantánea según la potencia de salida deseada. Esto implica regular la salida por medio de por ejemplo el control de potencia o par, y/o el control del ángulo de paso y/o la regulación activa por pérdida aerodinámica de rotores de las turbinas eólicas 900 y/o la detención de cualquier turbina eólica. Consecuentemente, un acumulador de potencia puede proporcionarse y la central eólica 914 tiene la posibilidad de inyectar más potencia a la red eléctrica si es necesario.

La figura 10 muestra centrales eólicas según una realización de la invención, conectadas a una red de energía eléctrica. Las centrales eólicas 1014a y 1014b se conectan a una red eléctrica 1020, que solo se ilustra parcialmente.

15 Cada central eólica 1014a-b comprende turbinas eólicas 1000, un sensor de velocidad del viento (no mostrado), un sensor de dirección del viento (no mostrado), donde cada dispositivo de este tipo puede incorporarse por ejemplo dentro de un anemómetro. Cada central eólica 1014a-b comprende además componentes de almacenamiento (no mostrados) y controladores (no mostrados). En otra realización estos componentes de almacenamiento y/o los controladores pueden compartirse entre las centrales eólicas 1014a-b.

20 Durante el proceso de llenado de la estructura de datos de la invención, ventajosamente cuando las centrales eólicas 1014a-b funcionan a una capacidad de límite superior (es decir en un modo no restringido), cada uno de los sensores de potencia de salida (no mostrados) puede medir un valor de potencia de salida de cada una de las centrales eólicas 1014a-b (en otra realización de cada una de las turbinas eólicas 1000) y esta información puede almacenarse en cada uno de los componentes de almacenamiento junto con la velocidad del viento y la dirección del viento medidas que proporcionan tal valor de potencia de salida, tal como se describió anteriormente.

25 Durante el proceso de hacer funcionar cualquier central eólica en un modo controlado, notablemente en un modo restringido, se miden la velocidad del viento y la dirección del viento y es posible entonces recuperar un valor de potencia de salida almacenado previamente correspondiente a tal velocidad del viento y dirección del viento: puede determinarse una potencia de salida de límite superior esperada a la misma velocidad del viento y dirección del viento.

30 En las proximidades de la central eólica 1014a hay una montaña 1022, y en las proximidades de la central eólica 1014b hay un bosque 1024. Por tanto, incluso si las centrales eólicas 1014a y 1014b tienen las mismas especificaciones de potencia de salida de fábrica, por ejemplo tienen el mismo número de turbinas eólicas idénticas 1000 del mismo fabricante, la potencia de salida de límite superior para una velocidad del viento específica puede ser diferente dependiendo de la dirección del viento.

35 Si los árboles 1024 crecen, su influencia sobre la central eólica 1014b se actualizará en la estructura de datos ya que el proceso de llenado de la estructura de datos se realizará de vez en cuando.

40 Una central 1018, tal como una central nuclear, también se conecta a la red eléctrica 1020 ya que son usuarios 1016 de energía eléctrica. No se muestran las estaciones de transformación en la figura 10. El consumo de los usuarios 1016 puede cambiar y por tanto puede cambiar la potencia necesaria de la red eléctrica 1020.

45 Una diferencia entre la central 1018 y las centrales eólicas 1014a-b es que para la central 1018 es mucho más fácil controlar la potencia de salida que puede inyectar a la red eléctrica 1020 en cualquier momento del tiempo (y gestionar un acumulador de potencia para compensar un aumento del consumo de los usuarios 1016), mientras para las centrales eólicas 1014a-b, hay varios factores impredecibles que decidirán qué potencia de salida de límite superior pueden suministrar estas centrales, tal como la velocidad del viento y la dirección del viento.

La figura 11 muestra un ejemplo de un gráfico 1130 que ilustra la potencia en el viento en relación con una potencia de salida controlada de una central eólica según una realización de la invención. El eje y (ordenadas) indica potencia en vatios, por ejemplo, y el eje x (abscisas) indica tiempo en segundos, por ejemplo.

50 Una curva superior C1 muestra la potencia en el viento, es decir la posible potencia disponible que la central eólica puede extraer del viento y convertir en energía eléctrica que puede inyectarse a la red eléctrica (la potencia de salida de límite superior posible). La curva superior C1 no es constante, ya que la potencia en el viento varía con la velocidad del viento y la dirección del viento. Una curva inferior C2 muestra la potencia de salida instantánea de una central eólica según las realizaciones descritas anteriormente cuando se restringe la central eólica.

55 En este ejemplo, las flechas entre las dos curvas indican que puede haber una diferencia constante entre la potencia en el viento, que es por tanto el 100% de la potencia disponible (potencia de salida de límite superior), y la curva C2,

que es la salida controlada (o restringida) de la central eólica. En este ejemplo C2 sigue una curva de energía del 90% de la potencia en el viento C1.

Por tanto, si es necesario, es posible inyectar más potencia a la red eléctrica según la demanda, ordenando a la central eólica que funcione en su potencia de salida de límite superior desde su funcionamiento restringido.

- 5 Puede apreciarse que la central eólica proporciona un acumulador de energía, con potencia que puede inyectarse a la red eléctrica según la demanda. Además, puede también ser posible saber cuánta potencia puede inyectarse a la red eléctrica en cualquier momento dado.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para controlar la potencia de salida instantánea de una central eólica, comprendiendo el método:  
determinar una velocidad del viento y una dirección del viento (403) caracterizado por  
5 proporcionar una estructura de datos (406) que comprende al menos un valor de potencia de salida determinado previamente de la central eólica a dicha velocidad del viento en dicha dirección del viento,  
determinar una potencia de salida de límite superior (409) por medio del al menos un valor de potencia de salida determinado previamente, y  
controlar la potencia de salida instantánea (412) basándose en dicha potencia de salida de límite superior determinada.
- 10 2. Método según la reivindicación 1, que comprende determinar una humedad del aire en el viento, y proporcionar una estructura de datos que comprende al menos un valor de potencia de salida determinado previamente de la central eólica a dicha velocidad del viento en dicha dirección del viento a dicha humedad.
- 15 3. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende determinar una temperatura del aire en el viento, y proporcionar una estructura de datos que comprende al menos un valor de potencia de salida determinado previamente de la central eólica a dicha velocidad del viento en dicha dirección del viento a dicha temperatura.
- 20 4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende determinar una masa móvil de aire en el viento que afecta a la central eólica, y proporcionar una estructura de datos que comprende al menos un valor de potencia de salida de la central eólica determinado previamente a dicha velocidad del viento en dicha dirección del viento cuando dicha masa móvil de aire en el viento afectaba a la central eólica.
- 25 5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:  
determinar un primer valor de potencia de salida de la central eólica asociado con la velocidad del viento y la dirección del viento,  
almacenar la potencia de salida determinada en la estructura de datos.
- 30 6. Método según la reivindicación 5, que comprende:  
determinar un segundo valor de potencia de salida de la central eólica asociado con la velocidad del viento y la dirección del viento,  
determinar un valor promedio de potencia de salida basándose en el primer valor de potencia de salida determinado y el segundo valor de potencia de salida determinado,  
almacenar el valor promedio determinado en la estructura de datos.
- 35 7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 5-6, en el que se determinan valores de potencia de salida para una primera turbina eólica dispuesta en la central eólica teniendo en cuenta un estado de funcionamiento de una segunda turbina eólica dispuesta en la central eólica.
- 40 8. Central eólica que comprende:  
un sensor de velocidad del viento (802, 902) y un sensor de dirección del viento (808, 908) dispuestos para determinar una velocidad del viento y una dirección del viento, caracterizado por  
un componente de almacenamiento (806, 906) dispuesto para almacenar los valores de potencia de salida determinados de la central eólica, generándose cada valor de potencia de salida mediante la central eólica, estando asociado cada valor de potencia de salida con la velocidad del viento y la dirección del viento,  
un controlador (804, 904) dispuesto:  
45 para recuperar, desde el componente de almacenamiento, un valor de potencia de salida de límite superior asociado con una velocidad del viento y una dirección del viento, determinándose dicho valor de potencia de salida de límite superior a partir de al menos un valor almacenado de potencia de salida medido asociado con la velocidad del viento y la dirección del viento, y  
para controlar una potencia de salida instantánea basándose en el valor de potencia de salida de límite superior.

9. Central según la reivindicación 8, que comprende un sensor de humedad dispuesto para determinar una humedad del aire en el viento, en la que el componente de almacenamiento está dispuesto para almacenar los valores de potencia de salida determinados asociados con dicha humedad.
- 5 10. Central según una cualquiera de las reivindicaciones 8-9, que comprende un sensor de temperatura dispuesto para determinar una temperatura del aire en el viento, en la que el componente de almacenamiento está dispuesto para almacenar los valores de potencia de salida determinados asociados con dicha temperatura.
11. Método para recopilar datos de viento local para el control de potencia de salida de una central eólica, comprendiendo el método:
- 10 determinar una velocidad del viento y una dirección del viento (403), representando la velocidad del viento y la dirección del viento la velocidad del viento y la dirección del viento a las que se somete la central eólica, caracterizado por
- determinar un intervalo de dirección del viento asociado que comprende dicha dirección del viento,
- 15 determinar un valor de potencia de salida de la central eólica asociado con el intervalo de velocidad del viento y dirección del viento, y
- almacenar el valor de potencia de salida en un elemento de una estructura de datos de matriz, estando el elemento asociado con el intervalo de velocidad del viento y dirección del viento determinado.
12. Método según la reivindicación 11, que comprende determinar una humedad del aire en el viento, y asociar el elemento con dicha humedad.
- 20 13. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 ó 12, que comprende determinar una temperatura del aire en el viento, y asociar el elemento con dicha temperatura.
14. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 11-13, que comprende determinar una masa móvil de aire en el viento que afecta a la central eólica, y asociar el elemento con dicha masa móvil.
- 25 15. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 11-14, que comprende además controlar, restringiendo notablemente, la central eólica basándose en el valor de potencia de salida determinado.

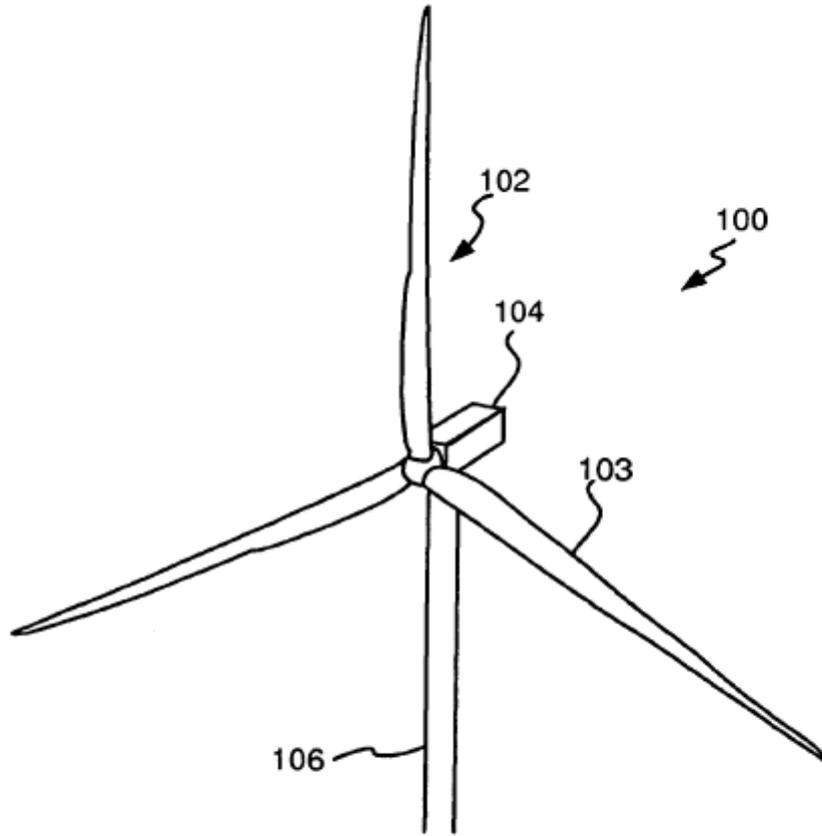


Fig. 1

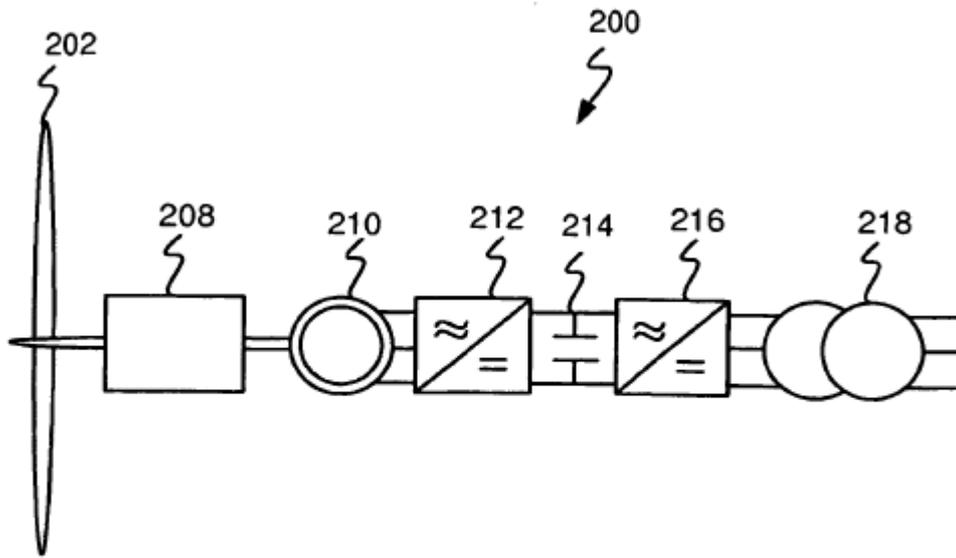


Fig. 2

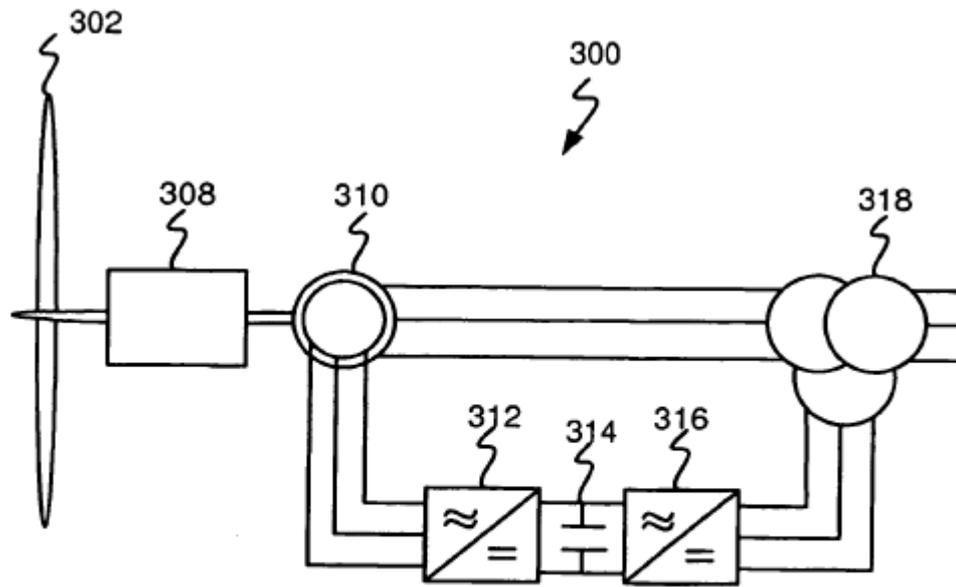
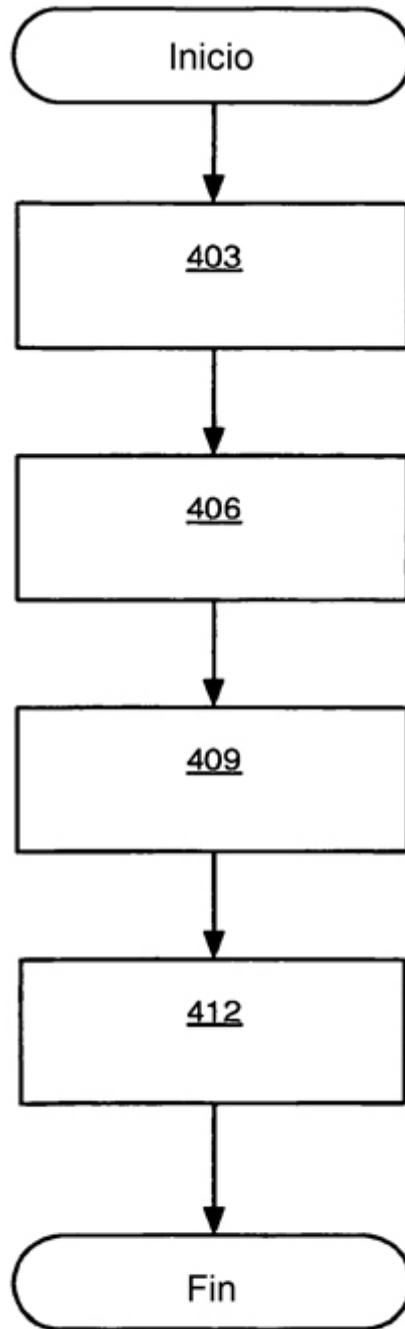


Fig. 3



**Fig. 4**

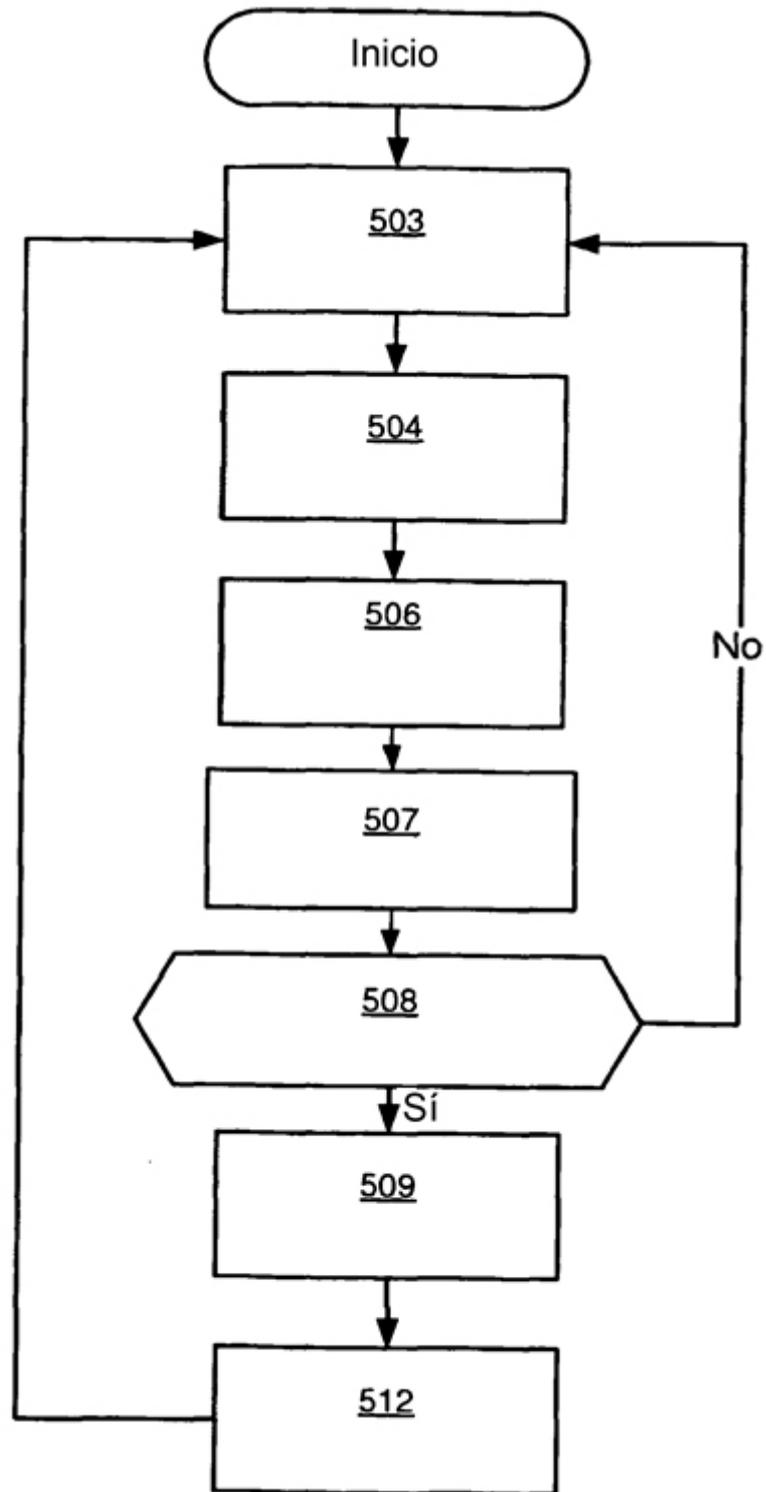


Fig. 5

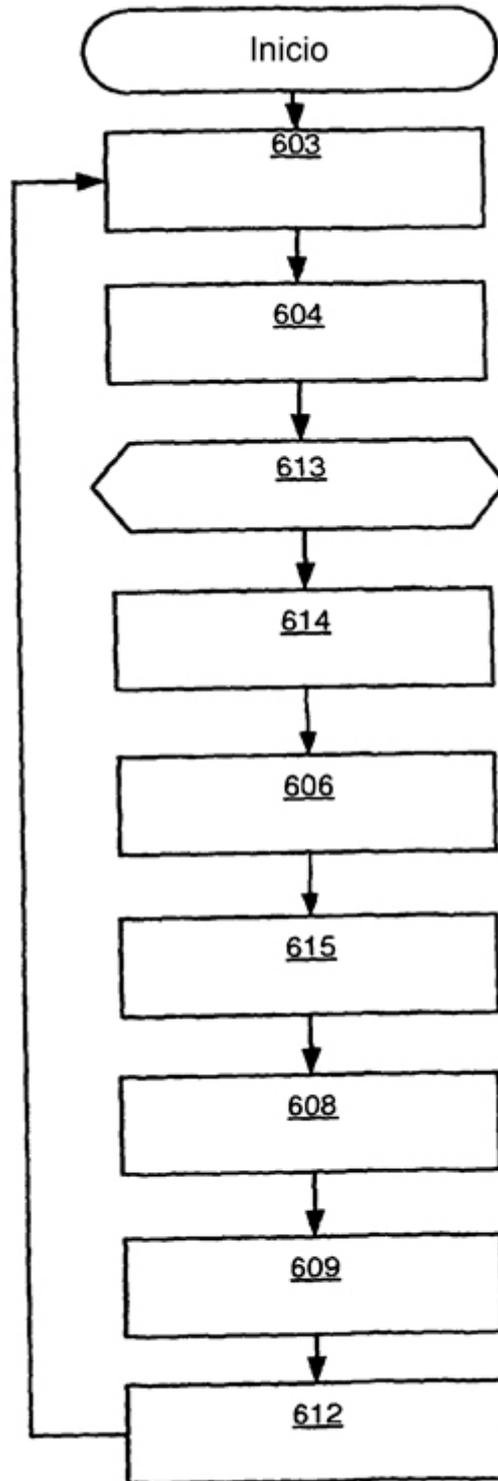


Fig. 6

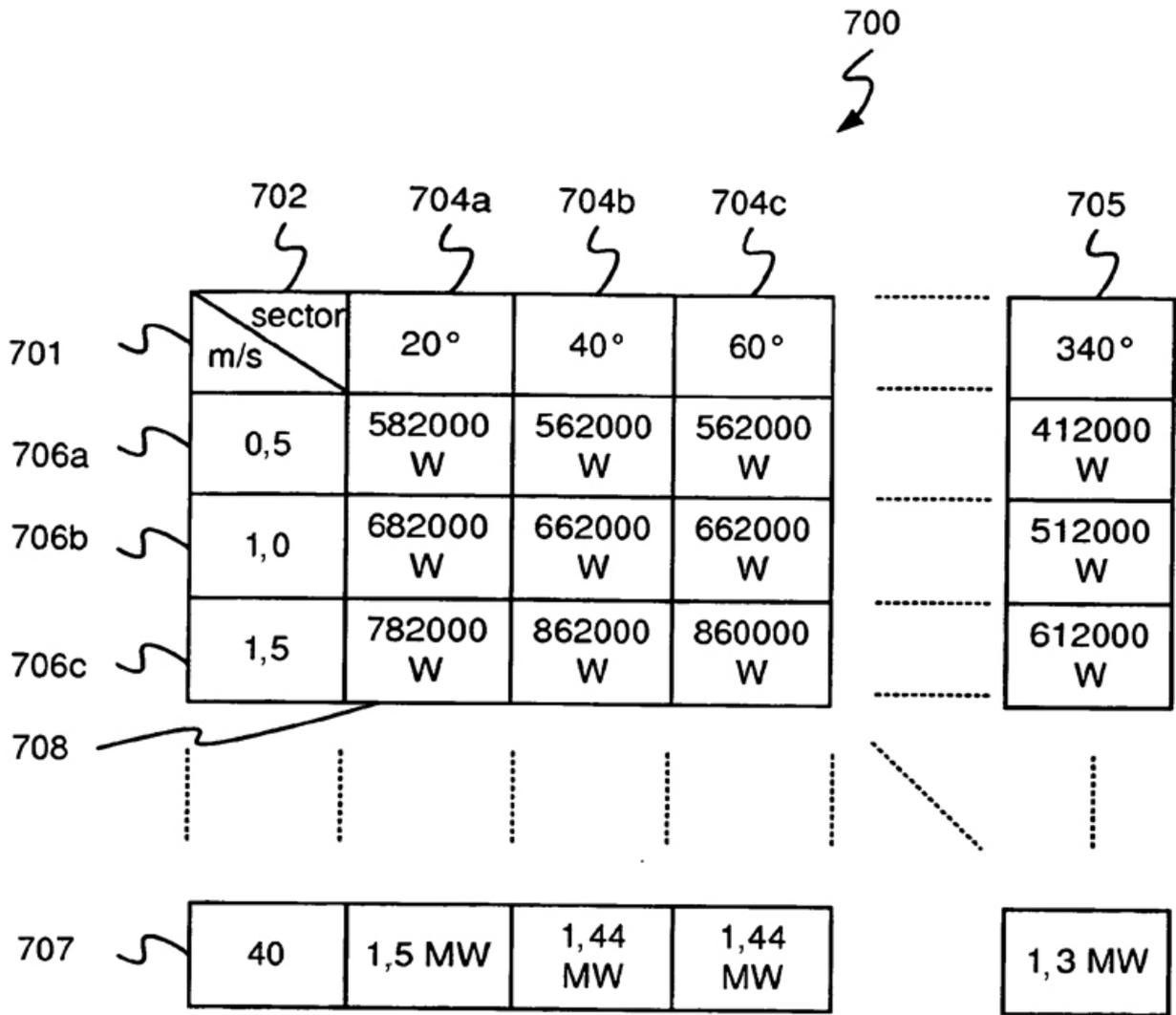


Fig. 7

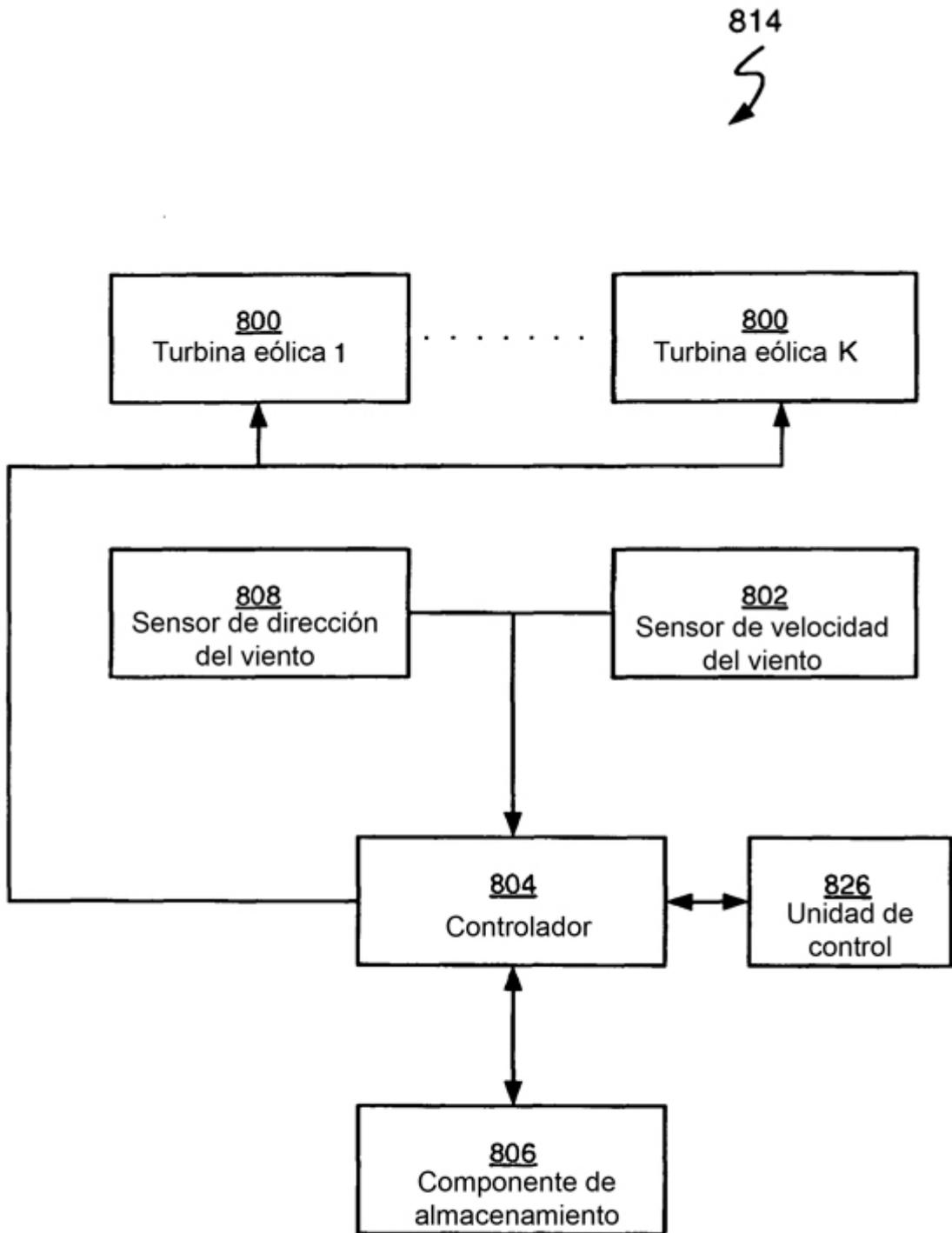


Fig. 8

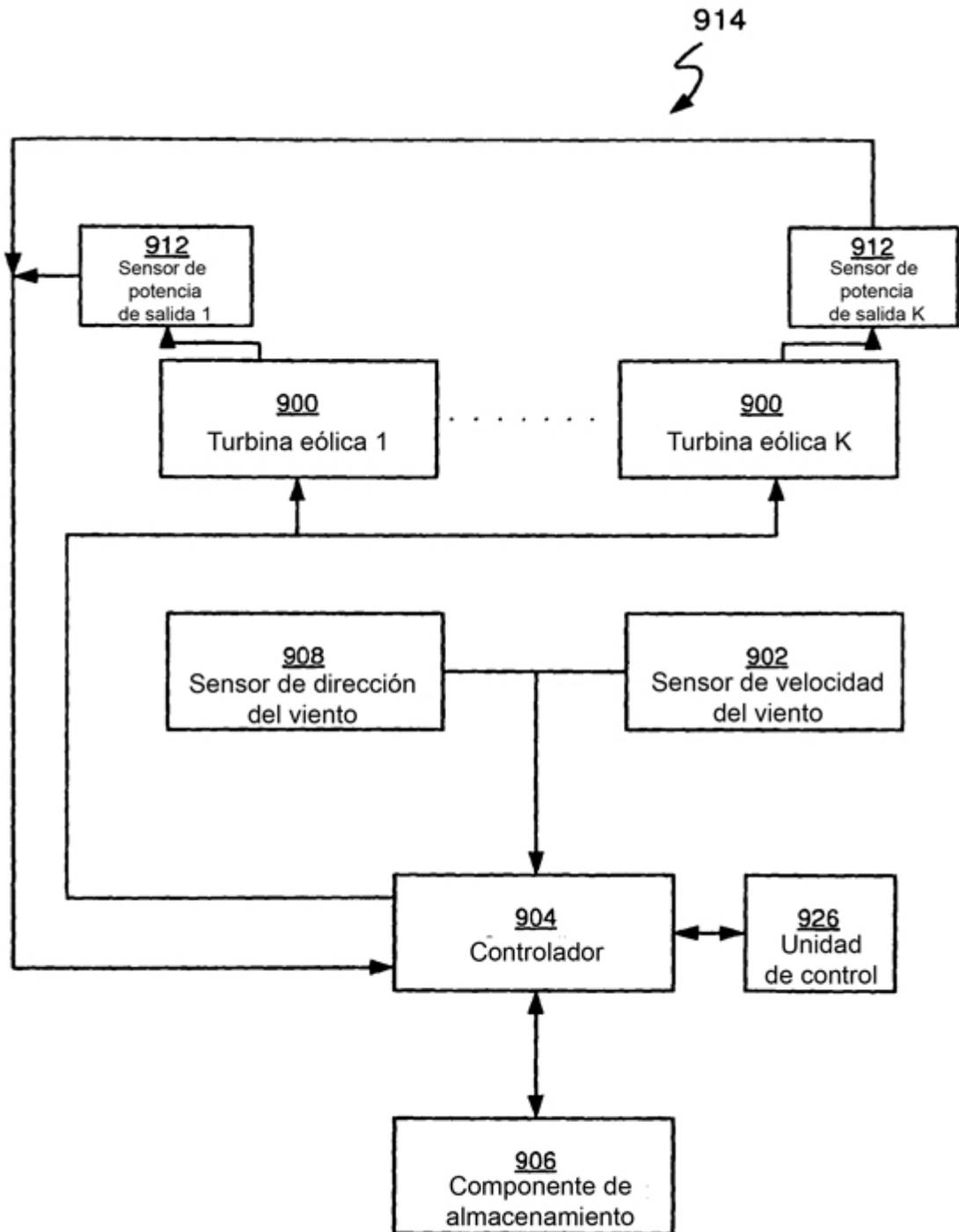


Fig. 9

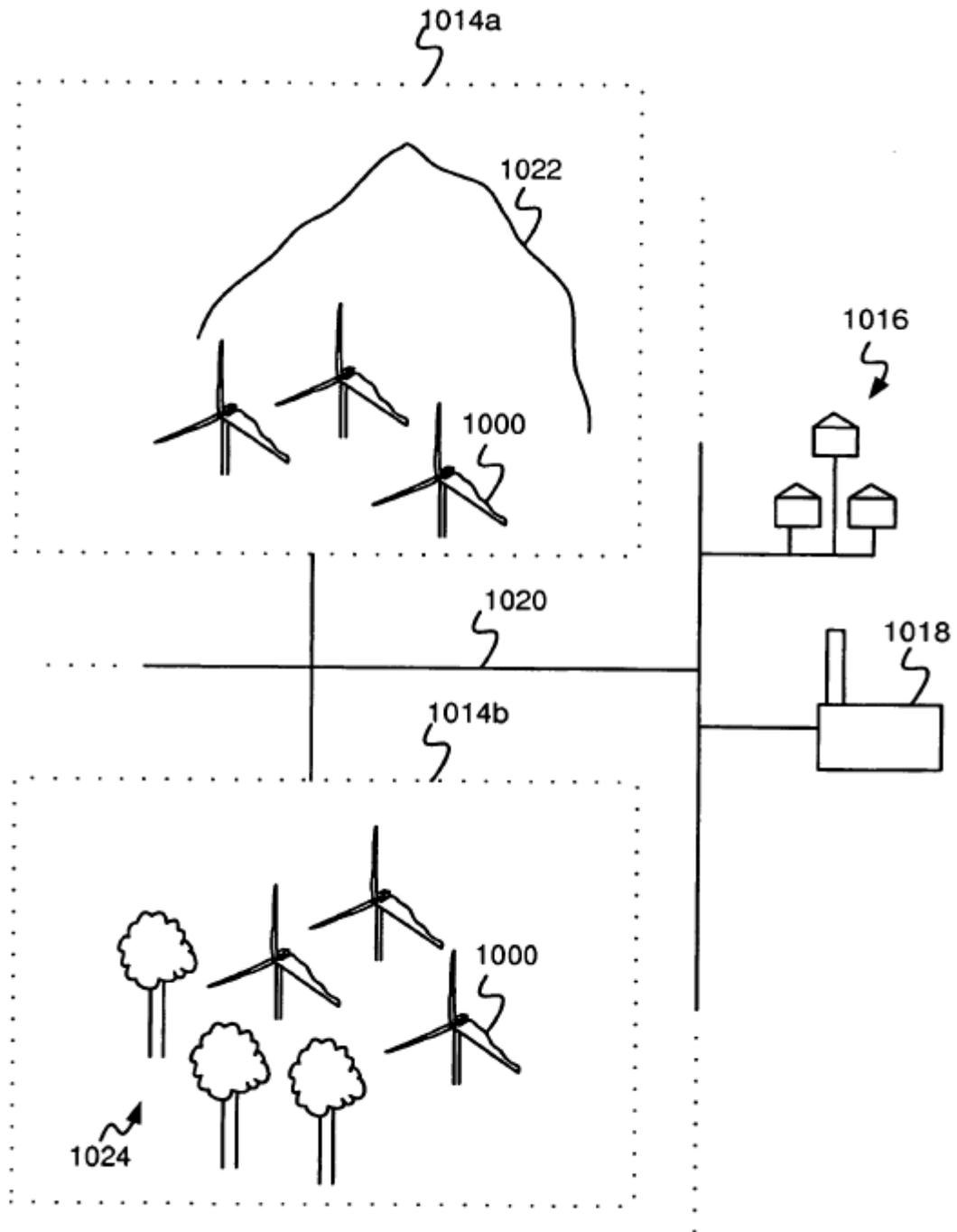


Fig. 10

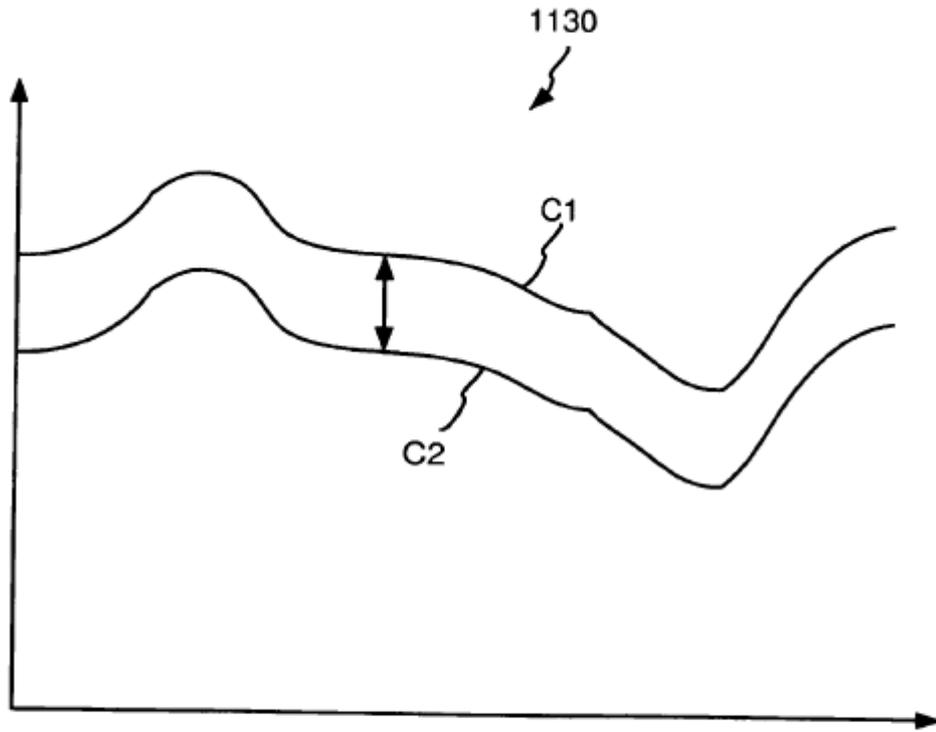


Fig. 11