

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 335**

51 Int. Cl.:

**F03D 9/00** (2006.01)

**H02J 3/40** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04764766 .4**

96 Fecha de presentación: **03.09.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1665494**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.06.2006**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento o regulación de un aerogenerador y procedimiento para la facilitación de una potencia reguladora primaria con los aerogeneradores**

30 Prioridad:  
**03.09.2003 DE 10341057**  
**05.09.2003 DE 10341504**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**11.10.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**11.10.2012**

73 Titular/es:  
**REpower Systems SE**  
**Überseering 10**  
**22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:  
**Fortmann, Jens**

74 Agente/Representante:  
**López Bravo, Joaquín Ramón**

ES 2 388 335 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el funcionamiento o regulación de un aerogenerador y procedimiento para la facilitación de una potencia de regulación primaria con los aerogeneradores.

5 La invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de al menos un aerogenerador con un rotor, un generador eléctrico acoplado con el rotor para el suministro de potencia eléctrica a una red de distribución de energía con la ayuda de un dispositivo de regulación.

La invención se refiere además a un procedimiento para la facilitación de una potencia de regulación o potencia de regulación primaria para una red de generación y distribución de energía eléctrica, con la que están conectadas una pluralidad de centrales eléctricas, inclusive aerogeneradores, y consumidores.

10 La invención se refiere además a un procedimiento para la regulación de un aerogenerador que presenta al menos un tren de potencia, que comprende un rotor y un generador, y un dispositivo de regulación, presentando el aerogenerador una velocidad de rotación mínima condicionada por el tipo constructivo para la alimentación de la red.

Finalmente la invención se refiere también a aerogeneradores.

15 Cambios del suministro de potencia activa de un generador de energía, tal y como son habituales en aerogeneradores, conducen a cambios de la frecuencia de red en una red de distribución de energía, cuando no se garantiza por la regulación de otras centrales eléctricas, que a la red se le alimente tanta energía como se extrae también por los consumidores conectados. Debido al porcentaje creciente de aerogeneradores en la red de distribución de energía aumentan los costes de los operadores de redes por la regulación de las fluctuaciones de la potencia de alimentación provocadas por la energía eólica.

20 Se conoce un procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador con un generador eléctrico accionable por un rotor para el suministro de potencia eléctrica a una red eléctrica (DE 100 22 974 A1). En este caso la potencia suministrada a la red por el generador se regula o ajusta en función de la frecuencia de la red eléctrica, regulándose hacia abajo la potencia suministrada con un aumento de la frecuencia de red. No obstante, en este caso no se trata de la facilitación de potencia de regulación y las medidas propuestas tampoco serían apropiadas para ello.

25 Del documento EP 0 569 556 B se conoce que en el caso de fluctuaciones de la velocidad del viento no deben coincidir la potencia suministrada y la potencia activa. La diferencia de potencia viene del cambio de la velocidad de rotación del rotor unido con un cambio de la energía cinética del rotor.

30 En el documento DE 197 56 777 A1 la red debe ser apoyada en el caso de fallos con la ayuda de un cambio de funcionamiento del aerogenerador. En este caso de este documento se clarifica de forma implícita que esto se debe hacer por un cambio del punto de funcionamiento, por ejemplo, por una modificación del ángulo de pala. Entonces se realiza una intervención dirigida para conseguir una potencia de suministro modificada, en particular aumentada.

35 En una dirección similar va el documento "Primärregelung mit Windkraftanlagen, (*Regulación primaria con aerogeneradores*)" del Dr. Fred Prillwitz, Ing. Dipl. Axel Holst, Prof. Dr. Harald Weber; publicado por el Institut für Elektrische Energietechnik de la Universidad de Rostock. También aquí se hace funcionar el aerogenerador en un punto de funcionamiento que no extrae la potencia máxima de la energía eólica disponible. En el caso de una necesidad de potencia de la red de suministro de energía se modifica el punto de funcionamiento, modificándose el ángulo de pala, velocidad de rotación y suministro de potencia, para convertir la potencia del viento posible máxima en potencia eléctrica. Mediante una regulación especialmente dinámica, los aerogeneradores que trabajan conforme a este procedimiento pueden participar en la regulación primaria.

40 Durante el funcionamiento normal de una red sin aerogeneradores la regulación no presenta problemas ya que sólo cambia la carga o la potencia extraída. Pero en una red con centrales convencionales y con aerogeneradores se deben llevar a cabo los procesos de regulación necesarios. Es claramente diferente la situación cuando aparecen fallos imprevisibles en una red mixta con aerogeneradores, así por ejemplo, una caída de potencia o caída de tensión como consecuencia de un contacto a tierra o cortocircuito. Los aerogeneradores, tal y como se hacen funcionar hasta ahora, 45 no pueden facilitar en este caso una potencia adicional tal y como pueden hacerlo las centrales convencionales, a fin de reducir de esta manera la necesidad de regulación primaria del operador de la red. No obstante, el aerogenerador se podría hacer funcionar de forma estrangulada, o sea con una potencia que se encuentra por debajo de aquella que podría extraer el aerogenerador cuando estuviese ajustado de forma óptima a las condiciones de viento presentes. Esto debería suceder en efecto teniendo siempre en cuenta las condiciones cambiantes de la red, localmente y 50 transnacionalmente, así como las necesidades de los operadores de las redes, pero también conforme a las condiciones del viento que ahora no ahora son algo diferente a constantes y no se pueden prever de forma suficientemente exacta.

La potencia de regulación primaria, por ejemplo en el caso de un fallo en la red, se debe activar rápidamente para

5 poder contrarrestar la caída de frecuencia introducida por el fallo, antes de que la frecuencia haya caído a un valor crítico. Pero además de la activación rápida también se debe mantener una reserva de potencia suficiente. En las centrales térmicas el mantenimiento de la potencia de regulación primaria se realiza por estrangulamiento de las válvulas de entrada de las turbinas, garantizando el operador de la red que el estrangulamiento sólo está limitado temporalmente y que la potencia de regulación secundaria presente puede reemplazar a tiempo a la potencia de regulación primaria. Un estrangulamiento semejante no representa una pérdida considerado energéticamente, ya que se consume menos combustible que está disponible en un instante posterior.

10 En un aerogenerador también se podría poner a disposición una reserva de regulación mediante un “estrangulamiento” semejante del aerogenerador, de modo que el aerogenerador se hiciera funcionar con una potencia menor que lo permitido por las condiciones del viento. Pero esto significa al considerarlo energéticamente que la energía eólica disponible no se usa cuando esto fuese posible, es decir, el viento pasa durante este funcionamiento de forma inutilizada a lo largo del aerogenerador.

15 Este estrangulamiento de un aerogenerador es entonces una medida muy costosa ya que la parte no usada de la energía del viento no se acumula. En el caso de una turbina de gas se conserva por el contrario la energía primaria durante un funcionamiento de estrangulamiento y se puede utilizar en un instante posterior.

20 Las condiciones en tales sistemas de distribución de energía mixtos son realmente de modo que los aerogeneradores con sus sistemas alimentados por convertidores en el modo de trabajo convencional no contribuyen a la estabilidad de la red y la inercia de masas de la red. Aun cuando los aerogeneradores con convertidores se hiciesen funcionar en la red con una potencia constante, esto todavía provocaría el aumento de la necesidad de regulación precisa, lo que se debería compensar con centrales convencionales con su potencia de regulación primaria.

Mediante la presente invención una red se debe hacer funcionar con centrales convencionales y aerogeneradores o un aerogenerador, de modo que el aerogenerador pone a disposición la potencia de regulación primaria y en particular el aerogenerador se debe utilizar para la facilitación de la potencia de regulación.

Esto se consigue mediante las características indicadas en la parte caracterizadora de las reivindicaciones.

25 Un procedimiento para el funcionamiento de al menos un aerogenerador según la invención se refiere a un aerogenerador con al menos un rotor con palas de rotor, un generador que alimenta a una red de distribución de energía y un dispositivo de regulación que regula la alimentación de potencia según las condiciones de funcionamiento, y está caracterizado porque el dispositivo de regulación aumenta de forma apreciable el suministro de potencia a la red durante un intervalo de tiempo en función de los cambios de un parámetro de la red, mientras que una parte de la energía cinética de las partes rotativas (del tren de potencia) se utiliza adicionalmente para la alimentación.

30 Pero también la velocidad de rotación, la potencia y también el ángulo de pala de las palas del rotor vienen al caso como un parámetro semejante. Un aerogenerador que puede trabajar conforme a este procedimiento según la invención se hace funcionar en un rango de trabajo determinado. Por eso se entiende los parámetros correspondientes a las condiciones de funcionamiento actuales, como por ejemplo, la velocidad de rotación, la potencia, el ángulo de pala. Se habla de un rango de trabajo y no de un punto de trabajo ya que las condiciones exteriores para un aerogenerador están sometidas a fluctuaciones constantes y por consiguiente hacen necesaria una así denominada regulación dinámica.

35 Si se cambia un parámetro de funcionamiento (por ejemplo, la frecuencia de red) en un valor predeterminado definido en un intervalo de tiempo determinado, entonces esto es según la invención un criterio para hacer funcionar el aerogenerador o varios aerogeneradores de modo que alimente o alimenten una potencia en exceso a la red, e independientemente de si en este instante está a disposición en realidad la energía eólica correspondiente o necesaria.

Solo como ejemplo y no como limitación se cita aquí un aerogenerador con 1,5 MW de potencia, en el que en el caso de una reducción de la velocidad de rotación de 1800 rpm a 1600 rpm en 10 s se puede alimentar adicionalmente aproximadamente el 11% de la potencia nominal o en 1 s aproximadamente el 100%.

45 Según la invención se detecta un cambio semejante del funcionamiento de la red y por ello se genera una señal que se utiliza con finalidades de control o regulación en el o los aerogeneradores.

50 Los cambios de los parámetros de funcionamiento se podrían detectar según la invención en cualquier lugar de la red, pudiéndose utilizar la señal derivada de ello también a distancia, y según las condiciones y las propiedades de la red y también con respecto a las propiedades de los aerogeneradores individuales, poner a disposición más o menos potencia de regulación. Aquí se podría proceder según la invención de modo que un ordenador central de la red calcule las señales de manera que los aerogeneradores individuales se utilicen de forma diferente para la alimentación de la potencia de regulación, a fin de hacer funcionar la red en conjunto de manera óptima. En este caso según la invención se piensa en una detección del valor límite por un sensor en un aerogenerador o una supervisión centralizada del parque eólico o también en una supervisión central de la red del operador de la red o del suministrador de energía.

- Según la invención se usa un parámetro de funcionamiento apropiado y se usa su cambio temporal o velocidad de cambio, preferentemente esto será el cambio o velocidad de cambio de la frecuencia, tomándose como base valores límite convenientes, por ejemplo, 0,2 Hz en una red a 50 Hz y/o 0,05 Hz/s. Dependiendo de la estabilidad de la red es necesario un rango muerto suficientemente elevado para evitar que la señal de fallo se desencadene con demasiada frecuencia lo que provocaría una pérdida de rendimiento apreciable. El valor límite deseable para una red muy rígida de 0,01 Hz/s puede conducir, por ejemplo, en una red débil a un desencadenamiento muy frecuente de la señal de fallo.
- La invención se puede aplicar también para la amortiguación de las oscilaciones de la frecuencia de red. Para ello de manera correspondiente se dan señales a los aerogeneradores que, no obstante, se entregan continuamente durante un intervalo de tiempo más largo de forma diferente entre sí a los aerogeneradores individuales. Para ello se puede utilizar herramientas de pronóstico que pueden predecir de forma suficientemente precisa que necesidad de potencia de regulación primaria será necesaria en un instantes de tiempo y en un lugar de la red.
- En función del sistema de conversión y regulación utilizado en el aerogenerador puede ser necesario realizar el diseño del convertidor y del regulador con otra curva característica de velocidad de rotación / potencia para el uso de todo el potencial presente mecánicamente de energía de regulación, y mantener como hasta ahora habitualmente o también reservas adicionales para la alimentación de potencia. La "distribución" de la potencia de regulación a poner a disposición en conjunto por un parque eólico en las instalaciones individuales se puede realizar por un control central de la red que puede ser en este caso, por ejemplo, también sólo un control del parque eólico. Alternativamente también cada instalación puede generar de forma selectiva señales de control en su unidad de regulación propia, que se corresponden con el estado actual individual de la instalación.
- Según la invención se prevé para ello un algoritmo de regulación que prevé como objetivo de regulación la facilitación de una cantidad predeterminable de energía de regulación. Esta cantidad se puede determinar en función de la energía eólica alimentada a la red (desde localmente en un aerogenerador hasta europeamente) o también en función de las especificaciones del suministrador de energía y puede estar sujeta a cambios continuos. También el aerogenerador (o el parque eólico) puede determinar individualmente la cantidad de energía eólica a proporcionar con la ayuda de un algoritmo predeterminado a partir de los parámetros de funcionamiento (tensión de red, frecuencia de red, velocidad del viento, velocidad de rotación del rotor, etc.), eventualmente con ayuda de procedimientos de pronóstico. Esto significa de forma práctica que un aerogenerador con una velocidad de rotación del rotor mínima de 10 rpm se hace funcionar, por ejemplo, con 14 rpm, aunque el rendimiento de energía óptimo sería 12 rpm, ya que la cantidad predeterminada de necesidad de energía de regulación se corresponde con una diferencia de la velocidad de rotación de 10 a 14 rpm.
- Según la invención también se crea un procedimiento para la facilitación de la potencia de regulación o potencia de regulación primaria para una red de generación o de distribución de energía eléctrica, en la que están conectadas una pluralidad de centrales eléctricas, inclusive aerogeneradores, y en la que la potencia de regulación se deriva de la energía cinética de las masas rotativas de los aerogeneradores.
- Es esencial para la presente invención que para la potencia primaria en situaciones especiales de la red "se ha aprovechado una fuente de energía" que hasta ahora no se consideró. Un aerogenerador que funciona según la invención puede producir la potencia suministrada en exceso dado que se utiliza la energía cinética de sus masas móviles. Esto sólo se puede hacer brevemente ya que por lo demás reduciría demasiado la velocidad de rotación y se podría temer por la desconexión del aerogenerador.
- En aerogeneradores alimentados con un convertidor la potencia suministrada no depende directamente de la velocidad de rotación. Ya que el diseño del sistema generador / convertidor no se realiza a la potencia nominal, sino que están previstas ciertas reservas para sobrecargas breves, a corto plazo es posible alimentar algo más de potencia a la red que lo que permiten las condiciones del viento. La energía se toma entonces de las masas rotativas (palas, buje, tren de potencia, generador), es decir, conforme a la inercia de masa de la energía de rotación según la ecuación  $\Delta E = \frac{1}{2} \theta (\omega_1^2 - \omega_2^2)$ .
- La reducción de la velocidad de rotación depende por consiguiente de la energía que se alimenta a la red. La reducción de la velocidad de rotación permitida, y por consiguiente la energía disponible que se puede alimentar se debe determinar mediante las condiciones de la instalación y del entorno. La forma en que se llama la energía se puede determinar en función de las necesidades del operador de la red.
- Así se puede realizar un suministro de energía proporcional a la desviación de la frecuencia de red, pero también se puede predeterminar por ejemplo, un comportamiento diferencial que alimente más en el caso de cambios rápidos de la frecuencia.
- Para la regulación de los fallos de la red se puede determinar, por ejemplo, un umbral, por ejemplo, si la frecuencia disminuye con una cierta velocidad o ha sobrepasado un cierto límite desde el que se reacciona.
- La energía cinética almacenada en las masas rotativas de un aerogenerador está limitada. Pero la frecuencia es una

magnitud de una red que se puede medir en toda la red con un pequeño retraso. Por consiguiente también los aerogeneradores que están alejadas a varios cientos de kilómetros del punto de fallo pueden contribuir a la regulación. Debido al gran número de aerogeneradores también una pequeña contribución a la suma de cada aerogenerador puede tener un efecto apreciable en la red.

- 5 En parques eólicos se puede realizar una alimentación de la potencia de regulación respecto a los aerogeneradores individuales. Los aerogeneradores situados detrás desde la perspectiva de la dirección del viento pueden realizar una mayor contribución a la potencia de regulación ya que en general están menos utilizados. La información sobre la velocidad del viento de los aerogeneradores situados por delante se puede usar para ser capaces de utilizar mejor los límites disponibles del sistema (banda de velocidad de rotación permitida en función de la velocidad del viento a esperar a corto plazo). Es razonable un uso en combinación con un pronóstico del viento para garantizar que, por ejemplo, esté presente viento suficiente durante las 24 horas siguientes, para que los rotores de todos los aerogeneradores roten y puedan mantener una potencia de regulación suficiente.

Cuando sea necesario la velocidad de rotación de los aerogeneradores se puede aumentar con velocidades del viento bajas a fin de situarse siempre sobre la velocidad de rotación mínima del rango de trabajo.

- 15 Las propiedades especiales del procedimiento según la invención son:

1. Reducción de la reserva de regulación en la red necesaria para la regulación de los fallos de red
2. Reducción de los cambios de frecuencia en la red (o de la potencia de regulación necesaria para evitar los cambios de frecuencia)
3. Menor excitación de los cambios de frecuencia en la red por el aerogenerador
- 20 4. Pequeñas pérdidas de rendimiento o sin pérdidas durante el funcionamiento como reserva en caso de emergencia
5. Pequeñas pérdidas de rendimiento durante el uso continuo para la amortiguación de cambios de frecuencia

- 25 Es esencial para la realización de la presente invención que los aerogeneradores se puedan hacer funcionar de manera que pueden reaccionar a señales de control. Esto significa que el aerogenerador está preparado en este funcionamiento y el operador de la red puede contar con la reacción de los aerogeneradores al aparecer una señal de fallo, para que puedan aparecer los efectos recíprocos correspondientes.

En la realización con una señal de fallo enviada por una central, la invención se basa también en una comparación consabida de los operadores de los aerogeneradores y de la red. El operador de la red debe detectar los fallos que aparecen y transmitirlos en forma de la señal de fallo a los operadores de los aerogeneradores.

- 30 Para la transmisión de esta señal de fallo se consideran todos los caminos de transmisión posible, estén estos unidos ahora por un cable o no.

La invención no sólo se puede utilizar ahora de forma ventajosa para poner a disposición una reserva de regulación para la compensación de deficiencias de potencia activa después de defectos en la red, sino que también cuando se trata de realizar amortiguaciones de las oscilaciones de la frecuencia en las redes de distribución de energía eléctrica.

- 35 En una primera aproximación el cambio de la frecuencia de red es una medida para la diferencia de potencia alimentada respecto a la extraída. La dimensión de las magnitudes de ajuste necesarias depende de la inercia de las masas rotativas presentes en la red. Si en una red de distribución de energía eléctrica se sustituyen los generadores con elevada inercia de masas por aquellos con baja inercia de masas, se debe realizar una reacción más rápida del sistema de regulación para evitar un cambio de la frecuencia de red. Si no es posible una reacción rápida, entonces se debe permitir una desviación de frecuencia mayor, o se procura reducir por una magnitud de ajuste mayor la desviación de la frecuencia. Pero esto tiene con frecuencia la desventaja de una sobreoscilación y por consiguiente tiempos de ajuste más largos hasta que la frecuencia está nuevamente en la banda de frecuencia deseada.

- 45 Para evitar una desviación duradera de la frecuencia de red, la regulación de la frecuencia de red pertenece a las tareas habituales de las centrales eléctricas: en el caso de una frecuencia por encima de la frecuencia nominal se reduce la potencia alimentada a la red y en el caso de una frecuencia por debajo de la frecuencia nominal se aumenta la energía alimentada. La reducción o aumento de la potencia eléctrica se realiza en general por una regulación del suministro de energía o del combustible en la central eléctrica.

- 50 La regulación de la frecuencia de red es uno de los requerimientos centrales de las redes de distribución de energía eléctrica. Si la frecuencia de red se desvía por encima de un umbral consabido de la frecuencia nominal se conectan o desconectan gradualmente los consumidores y generadores.

Para la regulación de los cambios de frecuencia que se producen rápidamente como consecuencia de los cambios de carga, pero en particular no sólo debido a una reducción de la potencia disponible de los generadores, se necesita energía de regulación que debe estar disponible hasta que

- 5 a) se pueda compensar de nuevo el déficit de potencia temporal originado, o
- b) se pueda aumentar la potencia de los generadores regulables lentos.

En general es posible de una forma más sencilla una reducción de la potencia alimentada por los aerogeneradores que un aumento de la potencia alimentada. En el caso de una reducción transitoria de la potencia alimentada por debajo de la potencia puesta a disposición por el viento o la potencia máxima habitual conduce durante la duración de la reducción de potencia a un retroceso del rendimiento, sin que se le oponga, tal y como es posible por ejemplo en centrales hidráulicas o térmicas, un ahorro de energía primaria.

Se conocen procedimientos para el aumento del rendimiento energético de un aerogenerador por la influencia de la velocidad de rotación, a fin de conseguir lo más rápidamente posible el punto de trabajo óptimo de las palas del rotor.

Un desacoplamiento de la potencia alimentada y velocidad de rotación es un procedimiento habitual para la regulación de aerogeneradores, por ejemplo

- 15 a) para obtener una homogenización de la potencia de alimentación,
- b) para obtener una reducción de las cargas, por ejemplo, para reducir las fluctuaciones del momento durante el funcionamiento en un punto de trabajo seleccionado de la velocidad de rotación para la regulación del ángulo de pala,
- c) para obtener una potencia de alimentación constante o predeterminada, y
- 20 d) para almacenar energía cinética en el rotor en particular durante un funcionamiento con alimentación constante en la proporción limitada, a fin de obtener un rendimiento energético más elevado o cargas reducidas.

La modificación de la velocidad de rotación de un aerogenerador es un procedimiento habitual, por ejemplo, para

- a) aumentar el rendimiento energético por un mejor uso aerodinámico de las palas,
- 25 b) obtener una reducción de las cargas, entre otras cosas también para evitar la excitación de oscilaciones de la frecuencia propia,
- c) conseguir una reducción de las emisiones de ruido, y para
- d) garantizar que un aerogenerador tampoco abandone el rango de funcionamiento en el caso de fuertes turbulencias.

30 Para aumentar la potencia respecto a un punto de trabajo dado, una parte de la potencia disponible se debe mantener como reserva. Por ejemplo, en el caso de centrales térmicas o hidráulicas esto no conduce en general a pérdidas financieras o sólo a pequeñas pérdidas.

La invención se explica por ejemplo a continuación mediante los dibujos.

Figura 1 muestra una curva característica de un aerogenerador.

35 Figura 2 muestra una representación del coeficiente de potencia de la pala del rotor de un aerogenerador en función del ángulo de pala y la relación entre la velocidad periférica y la velocidad del viento.

Figura 3 muestra una representación temporal de las oscilaciones de la frecuencia de red como consecuencia de una caída de cargas.

40 Las condiciones aerodinámicas en un aerogenerador conducen a que para cada velocidad del viento haya una velocidad de rotación óptima con la que se debería hacer funcionar el aerogenerador para obtener el rendimiento máximo. Esto está representado en el ejemplo para las velocidades del viento de 8 m/s, 10 m/s y 12 m/s en la figura 1 como potencia en función de la velocidad de rotación. Si se unen los máximos de estas curvas individuales se produce la curva característica óptima para el funcionamiento de un aerogenerador ("curva característica óptima") con la pala de rotor dada. En la práctica el rango de la velocidad de rotación disponible está limitado (en el ejemplo dado a las velocidades de rotación del generador de 1000 a 2000 rpm), de modo que en el funcionamiento estacionario sólo se seleccionan puntos de trabajo sobre la curva rotulada con "mejor curva característica utilizable" que sigue en primer la curva característica óptima y desde la velocidad de rotación de 1780 rpm asciende con la velocidad de rotación fija

hasta la potencia nominal.

Si en el punto de trabajo dibujado AP1 (1780 rpm, 1050 kW) se realiza una activación de la reserva de energía, entonces la velocidad de rotación del aerogenerador desciende con una velocidad del viento constante adoptada de 10 m/s al punto de trabajo AP2 (1580 rpm, 975 kW), ya que (por tiempo limitado) se alimenta más potencia a la red de la que se puede absorber por el viento.

En la realización de la invención (véase la figura 1) se debe atender a que la energía utilizable almacenada en el aerogenerador esté limitada (el aerogenerador no debe abandonar el límite inferior del rango de la velocidad de rotación) y a que una fuerte reducción de la velocidad de rotación lleve al funcionamiento a un punto de trabajo peor. Con una reducción de 200 rpm el punto de trabajo de AP1 se desplaza a AP2. Allí con las mismas condiciones del viento y con el ángulo de pala no modificado se puede obtener aproximadamente un 5% menos de potencia del viento. Una reducción subsiguiente de la velocidad de rotación eventualmente puede reducir claramente a corto plazo la potencia de alimentación disponible después del final de la alimentación de potencia adicional (en este ejemplo después de 10 segundos).

Mediante una modificación del ángulo de pala en el nuevo punto de trabajo AP2 se puede optimizar la ganancia de energía. Independientemente de ello por los diseños de palas modificados se puede obtener en el futuro un rendimiento más elevado en los puntos de trabajo aparte del punto nominal.

La energía almacenada en el rotor se puede supervisar de forma continua. En este caso se considera en general la velocidad de rotación de la instalación, la velocidad del viento y la alimentación posible restante después de una reducción de la velocidad de rotación. No obstante, es suficiente supervisar sólo la velocidad de rotación actual y si existe una señal de fallo alimentar una potencia en exceso hasta que la velocidad de rotación del rotor caiga a la velocidad de rotación mínima permitida. Si hay especificaciones para una energía de regulación mínima a mantener, se predetermina correspondientemente la velocidad de rotación mínima del aerogenerador, y si lo permiten las condiciones del viento, también se satisface. A petición (por ejemplo, reducción de la tensión de más del 10% en el intervalo de 100 ms o cambio de frecuencia rápido de más de 100 mHz en 1 s o una señal transmitida externamente) se activa una energía de reserva. Una potencia a definir se alimenta a la red adicionalmente a la energía disponible según la curva característica del aerogenerador.

El desarrollo temporal exacto de la alimentación de la energía de reserva se puede realizar de acuerdo con el operador de la red: poco tiempo mucha energía, más tiempo poca energía o el desarrollo se puede modificar temporalmente, por ejemplo, en principio mucha y luego poca energía.

La cantidad de energía a alimentar se puede predeterminar directamente o definir indirectamente (por ejemplo, a través de la duración o según la reducción a una velocidad de rotación determinada).

Después de alcanzar el final de la alimentación de energía adicional el aerogenerador retorna de nuevo al antiguo punto de trabajo. En el centro sólo se alimenta como máximo tanta energía como se puede disponer del viento.

Los casos especiales siguientes se pueden tomar en consideración:

A petición se puede realizar un aumento de la velocidad de rotación de la instalación respecto al punto de funcionamiento normal para poder facilitar una energía adicional para un fallo posible.

Cuando lo permiten las condiciones del viento (por ejemplo, poca turbulencia) este aumento de la velocidad de rotación de la instalación también se puede realizar por encima del punto de trabajo nominal del aerogenerador.

Con velocidades del viento sobre el viento nominal se utiliza un procedimiento de dos etapas.

a) a petición se realiza en primer lugar de forma inmediata una alimentación de energía adicional

b) por ajuste de las palas hacia el punto de trabajo óptimo se aumenta la absorción de potencia del aerogenerador (si lo permiten las condiciones del viento) de manera que no se produce otra reducción de la velocidad de rotación de la instalación y se llega de nuevo al punto de trabajo original.

Si un aerogenerador se encuentra cerca (espacialmente) de un cortocircuito, entonces puede ser razonable emplear en primer lugar una (gran) parte de la corriente disponible (o la potencia) del aerogenerador (como corriente reactiva o potencia reactiva) para el apoyo de la tensión de la red (por ejemplo, hasta que la tensión de red haya alcanzado de nuevo el 90% de la tensión anterior). La alimentación de la potencia de reserva se realiza entonces sólo en unión con la restauración de la tensión de red.

El procedimiento mencionado arriba es útil, por ejemplo, para superar la caída a corto plazo de la potencia de alimentación después de un defecto (cortocircuito) en la red. Los aerogeneradores del tipo constructivo actual se separan de la red después de un defecto semejante. En el tiempo que tales aerogeneradores necesitan para conmutar

de nuevo a la red, una alimentación adicional de energía puede impedir o al menos reducir la reducción de la frecuencia de red, de modo que se puede evitar la gestación de una situación crítica en la red.

5 Si se alimenta menos potencia a la red de que la que se le extrae por los consumidores desciende la frecuencia de la red. Como consecuencia de la caída de la potencia que alimenta, por ejemplo, después de un cortocircuito en la red se puede producir un descenso notable de la frecuencia de red.

También los aerogeneradores alejados de un lugar de defecto pueden detectar el cambio de frecuencia y reaccionar a él. Si la frecuencia de red baja, por ejemplo, en más de 50 mHz por 1 segundo, entonces se debería alimentar potencia adicional a la red.

10 Si la frecuencia de red aumenta entonces de nuevo, entonces se producen oscilaciones y hace necesaria eventualmente una alimentación adicional de energía de reserva, es decir, una amortiguación de la oscilación.

Fluctuaciones típicas de la frecuencia de red como consecuencia de oscilaciones a lo largo de la red ("Inter Area Oscillations") se sitúan en Europa (red UCTE) actualmente entre 0,2 y 0,8 Hz. En el caso dado en la figura 3 (0,22 Hz = duración de periodo 4,5 s), entonces el aerogenerador debe alimentar durante 2,25 segundos potencia adicional a la red y durante 2,25 segundos reducir la alimentación de potencia a la red para poder amortiguar la oscilación.

15 Si la velocidad de rotación del aerogenerador se debe cambiar (con velocidad de rotación nominal), por ejemplo, en no más de 50 rpm, se podría usar por ejemplo el 5% de la potencia instantánea para una amortiguación de la frecuencia propia de la red.

Los conceptos convencionales de la regulación de la frecuencia usan un estrangulamiento (por ajuste del ángulo de pala en los aerogeneradores) a fin de mantener reservas de potencia para las tareas de la regulación.

20 Mediante el uso de la energía almacenada se puede obtener una reducción del coste de regulación con una reducción mínima del rendimiento. En el caso de una regulación de frecuencia con el 2% de la potencia nominal se puede aumentar de nuevo la potencia, por ejemplo, durante el funcionamiento por encima del viento nominal por una adaptación del ángulo de pala (el aerogenerador está estrangulado ya para limitar la potencia). En este caso se deben tener en cuenta naturalmente los límites de diseño del aerogenerador (dado el caso en función de las condiciones ambientales actuales). Bajo el viento nominal se puede alimentar más (en el caso de frecuencia descendente) o menos (en el caso de frecuencia creciente) energía a la red durante hasta 30 segundos sin que sea necesario un funcionamiento con el aerogenerador estrangulado (y por consiguiente claras pérdidas de rendimiento).

25

30 Se sabe que la potencia de regulación disponible en una red, facilitada por las centrales convencionales sólo se puede activar con un retardo temporal. Una especificación habitual es que en 5 segundos se deba activar el 50% de la energía de regulación primaria disponible y sólo en 30 segundos se deba poner a disposición toda la energía de regulación primaria facilitada. Aquí se encuentra una ventaja de la invención que permite cerrar estos huecos en límites consabidos, ya que la activación de la energía de reserva de los aerogeneradores es posible en menos de 100 ms después del reconocimiento de la caída de frecuencia.

La energía disponible en conjunto está limitada, no obstante es apropiada para franquear el tiempo hasta que

- 35
- a) las centrales convencionales faciliten la potencia de regulación adicional, y
  - b) los aerogeneradores que se han separado de la red, por ejemplo, debido a una caída de tensión, alimenten de nuevo potencia.

40 Según se ve en la figura 1, la activación de la energía de reserva, por ejemplo, en un aerogenerador de 8 m/s también con un descenso de la velocidad de rotación en 200 rpm sólo conduce a un descenso mínimo de la potencia que se puede alimentar debido a la aerodinámica de las palas de rotor.

45 La situación en el caso de velocidades del viento elevadas es diferente. Aquí un descenso de la velocidad de rotación en 200 rpm conduce a un punto de trabajo peor. La potencia que se puede alimentar a la red en este punto de trabajo (AP2) se encuentra claramente por debajo de la potencia que se puede alimentar con la velocidad de rotación nominal (AP1). Esto actúa en primer lugar como una desventaja del procedimiento ya que después de la finalización de la alimentación de la energía de reserva se puede alimentar menos potencia que antes de la activación. No obstante, con una observación más exacta se muestra que la velocidad del viento es diferente temporal y localmente. Si se hace funcionar un número mayor de aerogeneradores en la red, en el caso de una velocidad del viento elevada en el centro dará también un número apreciable de aerogeneradores en los que la velocidad del viento se sitúa sobre la velocidad del viento nominal. Estos aerogeneradores se hacen funcionar ya de forma estrangulado, es decir, las condiciones del

50 viento permitirían una alimentación mayor que la que se alimenta por los aerogeneradores. Estos aerogeneradores no sólo pueden limitar el descenso de la velocidad de rotación después la activación de la energía de reserva por un cambio del ángulo de pala, siempre y cuando estén en condiciones de alimentar de forma limitada más de la potencia

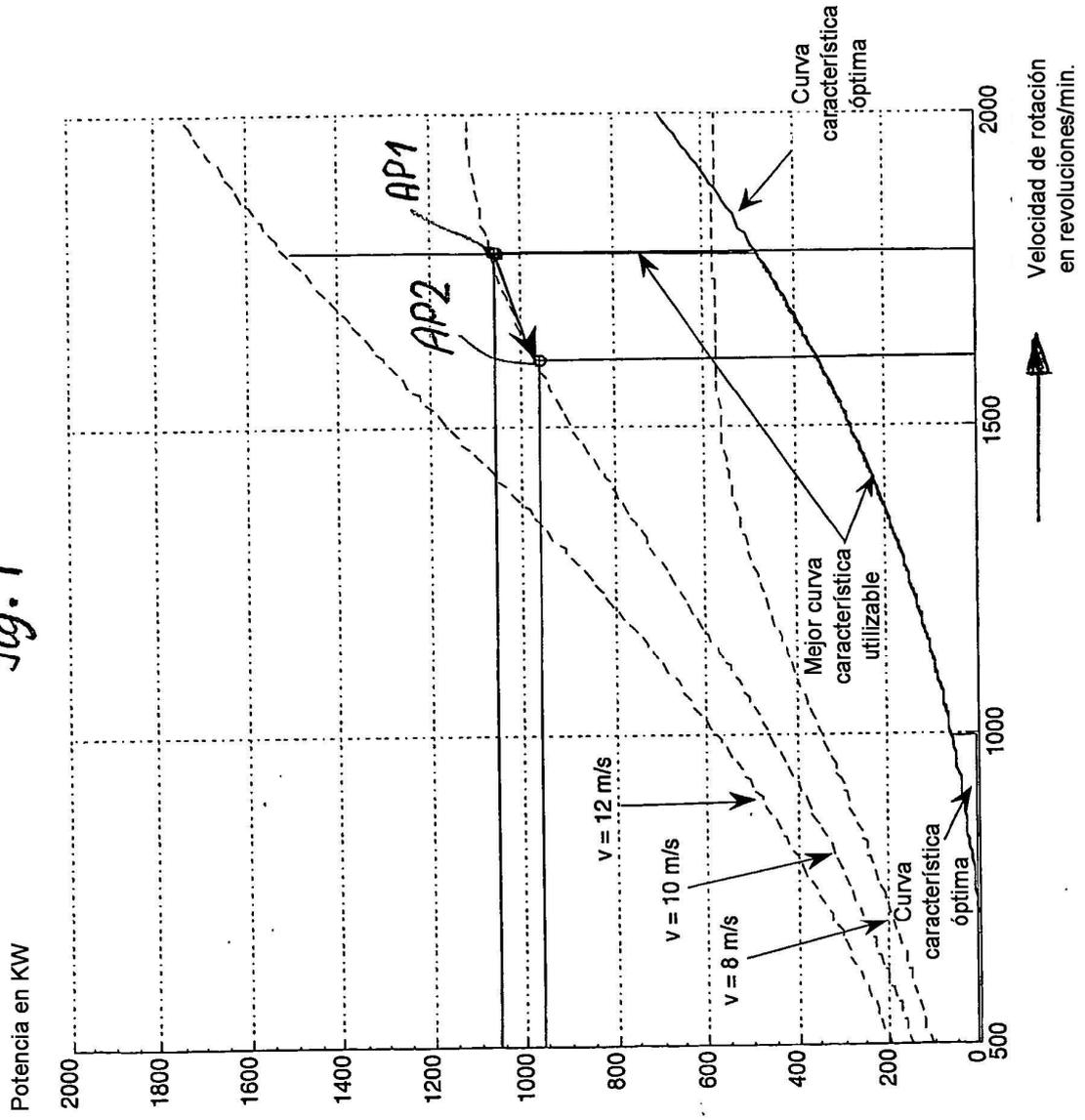
- nominal a la red, sino que la velocidad de rotación se regula incluso de nuevo a su valor original. Si el diseño del aerogenerador lo permite pueden alimentar incluso a largo plazo (por ejemplo, de 30 – 60 segundos en lugar de sólo en 5 s – 10s) el 10% más de potencia en la red. Por consiguiente pueden alimentar, por ejemplo, más energía el tiempo suficiente hasta que los aerogeneradores que se hacen funcionar después de la finalización de la alimentación de energía de reserva en un punto de trabajo desfavorable han llegado de nuevo a su punto de trabajo original.
- 5
- Como ejemplo de un diseño en el caso de defecto se toma por base un aerogenerador con 1,5 MW de potencia nominal y 70 m de diámetro del rotor:
- La inercia de masas del aerogenerador es de aproximadamente  $450 \text{ kgm}^2$ , la velocidad de rotación nominal es de 1780 rpm y por consiguiente se produce una energía almacenada cinéticamente de 7,6 MWs.
- 10
- Con una velocidad de rotación nominal está a disposición en el caso de un descenso de la velocidad de rotación de 200 rpm entonces una energía de 760 kW. Por consiguiente se puede alimentar adicionalmente, por ejemplo, durante 10 segundos hasta 163 kW de potencia (hasta el 11% de la potencia nominal) o durante 5 segundos hasta el 22% de la potencia nominal.
- 15
- En la figura 2 está representado el coeficiente de potencia como función del ángulo de pala y relación entre la velocidad periférica y la velocidad del viento, es decir, la relación de la velocidad periférica de la punta de la pala respecto a la velocidad del viento que afluye. El coeficiente de potencia describe la parte de la energía que se puede extraer del viento por las palas de rotor. Por ello se deben pretender valores mayores.
- 20
- Mediante el descenso de la velocidad de rotación como consecuencia de la activación de la energía de reserva se modifica el punto de trabajo de AP1 en la dirección AP2a. Se empeora el factor de potencia y por consiguiente baja la potencia que puede obtener el aerogenerador del viento. Mediante una modificación del ángulo de pala se puede reducir el efecto pretendiéndose un funcionamiento en el punto de trabajo AP2b. Se debe mencionar que durante el funcionamiento de un aerogenerador no hay puntos de trabajo verdaderamente estacionarios. Realmente varían las condiciones de funcionamiento (por ejemplo, velocidad del viento) constantemente de modo que mediante una regulación dinámica se lleva el aerogenerador a un rango de trabajo. Esto se ha aclarado por el desarrollo indistinto del ángulo de pala en la figura 2.
- 25
- Si hay especificaciones para una energía a mantener mínima, el número de rotación mínimo del aerogenerador se predetermina correspondientemente, y siempre y cuando lo permitan las condiciones del viento, también se satisface.
- Si la frecuencia de red desciende en un segundo más de 0,05 Hz se activa la energía de reserva. La potencia alimentada a la red por el aerogenerador se aumenta a corto plazo en el 10% respecto a la potencia disponible actualmente gracias al viento según la curva característica del aerogenerador.
- 30
- La activación de la energía de reserva se realiza durante como máximo 10 segundos. Si entre tanto aumenta la frecuencia de red de nuevo al valor de la frecuencia nominal se finaliza la alimentación de energía de reserva (antes de tiempo). Después de la finalización de la alimentación de energía retorna el aerogenerador de nuevo al punto de trabajo antiguo. En el centro sólo se alimenta como máximo tanta energía según se pueda disponer por el viento.
- 35
- La figura 3 muestra un ejemplo (caída de carga el 16 de diciembre de 1997 en España: 500 MW. Mediciones de las oscilaciones interárea de 0,22 Hz en Francia y Alemania) para una oscilación medida de la frecuencia de la red de suministro de energía, tal y como se puede amortiguar según la presente invención. La curva inferior muestra el desarrollo temporal de la potencia (escala derecha). Las curvas superiores muestran las frecuencias medidas en dos lugares (escala izquierda), y en Cantegrit (Francia), así cerca del lugar del fallo, y en Uchtelfangen (Alemania), así más alejado del lugar del fallo. Fluctuaciones típicas de la frecuencia de red debido a oscilaciones de la red ("Inter Area Oscillations") se sitúan en Europa (red UCTE) en este momento entre 0,2 y 0,8 Hz. Estas oscilaciones están poco marcadas en su amplitud y sólo están amortiguadas parcialmente débilmente. Por su periodicidad es posible debido a una supervisión de la red central o no central, generar una señal de regulación antifase sincronizada con la oscilación, con la que el dispositivo de control reacciona para la facilitación de la energía de regulación cinética. En el caso indicado arriba (0,22 Hz = duración del periodo 4,5 s) el aerogenerador debe alimentar entonces durante 2,25 s potencia adicional en la red y durante 2,25 s reducir la alimentación de potencia a la red a fin de reducir la oscilación. Por su periodicidad, en la selección de un filtro apropiado es razonable un umbral de reacción claramente menor del procedimiento de regulación que es en el caso de una fallo de la red. Así puede ser razonable generar ya desde una amplitud de 0,001 Hz una señal de ajuste cuando la oscilación está presente durante un tiempo más prolongado (por ejemplo, más de 5 – 10 periodos).
- 40
- 45
- 50

**REIVINDICACIONES**

- 5 1.- Procedimiento para el funcionamiento de al menos un aerogenerador con un rotor y un generador eléctrico acoplado con el rotor para el suministro de potencia eléctrica a una red de distribución de energía con la ayuda de un dispositivo de regulación, que garantiza el funcionamiento del aerogenerador en su rango de trabajo determinado por los parámetros para el ángulo de pala, potencia activa de suministro y velocidad de rotación del rotor, en el que se realizan los pasos siguientes por el dispositivo de regulación:
- 10 a. Funcionamiento del aerogenerador en el rango de trabajo no estrangulado según la mejor curva característica utilizable del aerogenerador, entendiéndose por no estrangulado según la mejor curva característica utilizable la potencia activa de suministro máxima en las condiciones de viento correspondientes;
- 15 b. Detección de cambios de un parámetro de funcionamiento de la red de distribución de energía;
- 20 c. Modificación del funcionamiento del aerogenerador cuando se produce un cambio imprevisto del parámetro de funcionamiento de la red, de manera que el rango de trabajo no estrangulado se abandona por la reducción de la velocidad de rotación del rotor y en este caso se alimenta una potencia activa a la red de distribución de energía que es mayor en una potencia en exceso que la potencia activa de suministro máxima correspondiente a las condiciones de viento correspondientes, extrayéndose la potencia en exceso de la energía cinética del rotor.
- d. Retorno al funcionamiento en el rango no estrangulado según la mejor curva característica utilizable del aerogenerador por la elevación de la velocidad de rotación del rotor cuando ha finalizado la alimentación de la potencia en exceso.
- 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se determina una velocidad de rotación mínima y el suministro de la potencia en exceso se finaliza automáticamente al alcanzar la velocidad de rotación mínima.
- 25 3.- Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque el funcionamiento del aerogenerador se modifica debido a una señal de valor límite o de fallo y porque la señal de valor límite o de fallo se genera localmente en el aerogenerador o a distancia de éste en la red de distribución de energía.
- 4.- Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque una pluralidad de aerogeneradores se controlan a través de una pluralidad de señales diferentes, pudiéndose generar estas señales por un control de red central.
- 30 5.- Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque como parámetros de funcionamiento de la red se utilizan la frecuencia de red y/o la tensión de red y/o su velocidad de cambio .
- 6.- Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 3 a 5, caracterizado porque la señal de fallo se genera con una caída de frecuencia en el intervalo por debajo de 0,2 Hz y/o con un decrecimiento superior a aproximadamente 0,05 Hz en 1 s.
- 35 7.- Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la potencia en exceso se alimenta durante un intervalo de tiempo predeterminado de aproximadamente 0,05 a 60 s, preferentemente durante algunos segundos.
- 8.- Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 3 a 7, caracterizado porque las señales se entregan continuamente en los aerogeneradores en base a mediciones y/o estadísticas y/o datos empíricos.
- 40 9.- Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque la alimentación de la potencia en exceso se realiza durante un tiempo predeterminado o hasta la reducción a una velocidad de rotación determinada.
- 10.- Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque el dispositivo de regulación predetermina una cantidad de energía de regulación a tener preparada que se debe alimentar mediante la potencia en exceso.
- 45 11.- Procedimiento para el funcionamiento de una pluralidad de aerogeneradores, caracterizado porque los aerogeneradores individuales se hacen funcionar según una de las reivindicaciones 1 a 8.
- 12.- Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque al superar un valor límite predeterminado se entregan señales de valor límite o de fallo correspondientes de forma continua en los aerogeneradores, a fin de amortiguar las oscilaciones o fluctuaciones de frecuencia de red suprarregionales.

- 13.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 ó 12, caracterizado porque se utilizan herramientas de pronóstico que extrapolan la oferta a esperar de energía eólica para cada aerogenerador individual, en base a mediciones y/o estadísticas y/o datos empíricos.
- 5 14.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado porque con la reducción de la velocidad de rotación por introducción de la potencia en exceso, el ángulo de ajuste de pala se regula de manera que permite la absorción de potencia óptima del viento para las condiciones presentes del viento y de la velocidad de rotación.
- 15.- Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado porque una señal de fallo se genera con una caída de frecuencia en el intervalo entre 0,01 Hz y 0,2 Hz en 1 s, preferentemente con 0,05 Hz por s.
- 10 16.- Aerogenerador con un rotor, un generador eléctrico acoplado con el rotor y un convertidor para el suministro de potencia eléctrica a una red de distribución de energía con la ayuda de un dispositivo de regulación, en el que el dispositivo de regulación está configurado para:
- 15 a. hacer funcionar el aerogenerador en el rango de trabajo no estrangulado según la mejor curva característica utilizable del aerogenerador, determinándose el rango de trabajo por parámetros para el ángulo de pala, potencia activa de suministro y velocidad de rotación del rotor, y entendiéndose por no estrangulado según la mejor curva característica utilizable la potencia activa de suministro máxima en las condiciones de viento correspondientes;
- b. detectar los cambios en un parámetro de funcionamiento de la red de distribución de energía;
- 20 c. modificar el funcionamiento del aerogenerador al producirse un cambio imprevisto del parámetro de funcionamiento de la red, de manera que el rango de trabajo no estrangulado se abandona por reducción de la velocidad de rotación del rotor y en este caso se alimenta una potencia activa a la red de distribución de energía que es mayor en una potencia en exceso que la potencia activa de suministro máxima correspondiente a las condiciones de viento correspondientes, extrayéndose la potencia en exceso de la energía cinética del rotor;
- 25 d. retornar al funcionamiento en el rango de trabajo no estrangulado según la mejor curva característica utilizable del aerogenerador por la elevación de la velocidad de rotación del rotor cuando ha finalizado la alimentación de la potencia en exceso.
- 17.- Aerogenerador según la reivindicación 16, caracterizado porque el dispositivo de regulación está configurado además para operar según una de las reivindicaciones 2 a 15.
- 30

Fig. 1



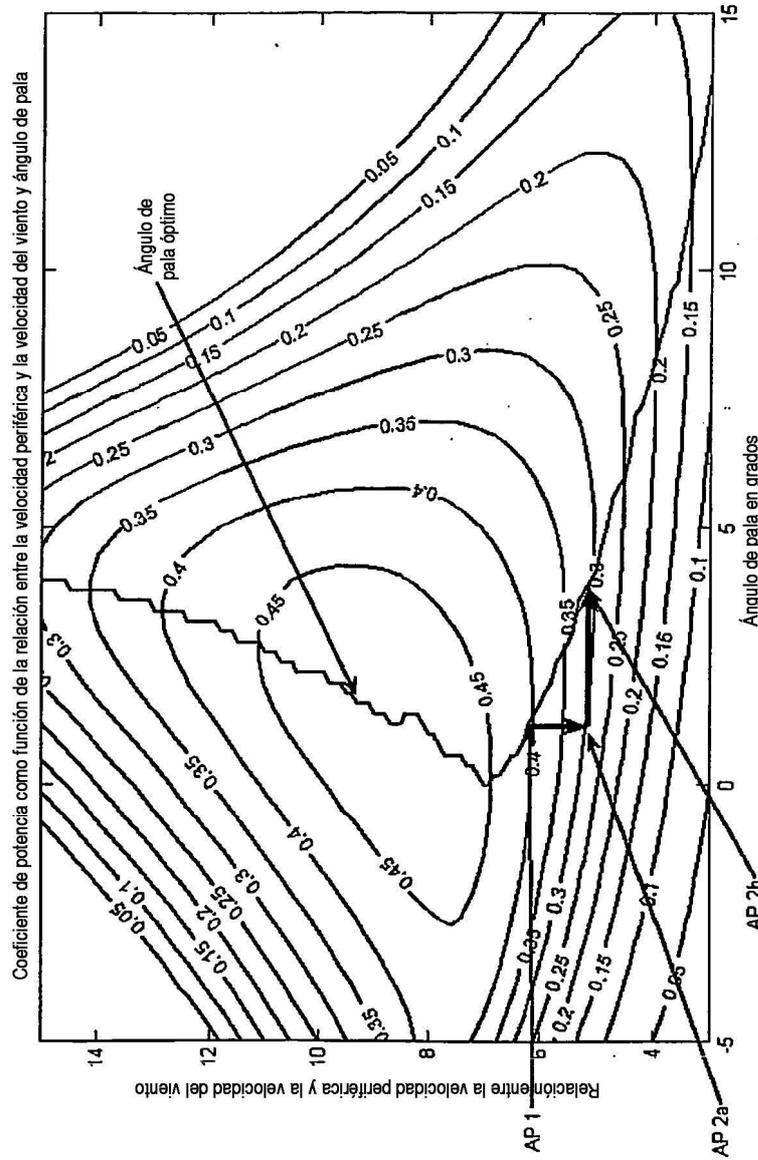


Fig. 2

