

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 528**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2014 PCT/EP2014/053832**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.09.2014 WO14131831**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2014 E 14706852 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 2961981**

54 Título: **Aerogeneradores con puesta a disposición de una reserva de potencia mejorada**

30 Prioridad:

**01.03.2013 DE 102013203540**

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

**25.04.2019**

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)  
Überseering 10  
D-22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**GEISLER, JENS;  
SCHRADER, STEFAN;  
BLUHM, ROMAN y  
PETSCHKE, MARC**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 710 528 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

Aerogeneradores con puesta a disposición de una reserva de potencia mejorada

5 La invención se refiere a un aerogenerador y a un procedimiento para la puesta a disposición de una reserva de potencia. Un aerogenerador accionado por un rotor eólico suministra energía eléctrica. Su funcionamiento es controlado por un controlador que presenta una entrada para una reducción de potencia deseada.

10 Con la cada vez mayor importancia de los aerogeneradores en la generación de energía eléctrica en una red eléctrica también aumentan los requisitos que se plantean a los aerogeneradores para proporcionar servicios de sistema para la red eléctrica. Además de proporcionar potencia reactiva, estos servicios de sistema también incluyen la puesta a disposición de potencia de reserva, a fin de poder aportar energía adicional a la red a corto plazo a demanda del operador de la red. En el caso de los aerogeneradores existen dos dificultades especiales. Por lo general, los aerogeneradores ya funcionan de manera que generan la máxima energía posible a partir del viento disponible. Por otra parte, la generación de energía del aerogenerador depende de la fuerza aleatoria del viento, por lo que no se puede modificar ni aumentar de forma específica. La dependencia de la fuerza del viento tiene un efecto especial en el funcionamiento de carga parcial del aerogenerador, ya que en este caso todo el viento disponible ya se transforma en energía eléctrica, no siendo posible un aumento con unas condiciones de viento sin cambios.

15 Por el contrario, en el funcionamiento a plena carga, sopla un viento suficientemente fuerte, lo que en su caso permitiría más potencia, pero el aerogenerador ya suministra su potencia nominal y, por este motivo, no puede aumentar la potencia de salida.

20 Sin embargo, ya se conocen diversos enfoques para utilizar aerogeneradores que también proporcionen energía de reserva adicional. Un primer enfoque consiste en utilizar la energía cinética almacenada en el rotor eólico y en la pieza giratoria del ramal de accionamiento para proporcionar la así llamada potencia de control con efectos a muy corto plazo. En concreto, el rotor se ralentiza de manera que la energía cinética que se libera pueda suministrarse como energía eléctrica adicional (WO 2005/025026 A1). No obstante, este concepto sólo funciona para la puesta a disposición de energía adicional a muy corto plazo, dado que el rotor eólico pierde rápidamente velocidad y, como consecuencia, el aerogenerador suministra menos energía que antes.

25 Además se conoce la posibilidad de mejorar los aerogeneradores para el suministro permanente de energía adicional funcionando de un modo normal con un ajuste subóptimo (Prillwitz, F. et al.: Primärregelung mit Windkraftanlagen, ITG-Workshop "Neue dezentrale Versorgungsstrukturen", febrero 2003, Frankfurt/Meno). Por ejemplo, se propone dotar el ángulo de pala de un offset, de manera que quede el valor óptimo, especialmente en el funcionamiento con carga parcial en el que el aerogenerador funciona convencionalmente con un ángulo de pala óptimo para la generación de una potencia máxima. De este modo, el aerogenerador genera menos energía de la que podría generar con las condiciones de viento existentes (funcionamiento reducido). Si, en caso necesario, es preciso emitir una potencia de reserva adicional, se reduce el offset y se ajusta el ángulo de pala a su valor óptimo. Este concepto ofrece la ventaja de que, en principio, está permanentemente en funcionamiento continuo y, por lo tanto, los aerogeneradores pueden proporcionar una potencia de reserva continua. Una extensión de este concepto consiste en la implementación de una curva característica propia para las distintas potencias de reserva previstas (DE 10 2011 081 795 A1). Sin embargo, el concepto descrito no proporciona ninguna indicación de cómo puede diseñarse favorablemente el comportamiento de transición entre el funcionamiento reducido y el funcionamiento no reducido y que es importante para un funcionamiento estable.

30 En el documento WO 2010/000648 A2 se describe otro concepto para la puesta a disposición permanente de potencia de reserva mediante un ángulo de pala subóptimo. La potencia de salida del aerogenerador se puede limitar en un valor seleccionable. En el caso del valor seleccionable se puede tratar de un valor de potencia fijo o de un porcentaje. El documento no trata el aspecto de la mejora del comportamiento de transición. Si se debe determinar un ángulo de paso para la reducción específica de la potencia de salida partiendo de un suministro de energía determinado en tiempo de ejecución, el primer problema consiste en determinar el suministro de energía con la suficiente precisión. Además, el "ángulo de paso de reducción" así determinado varía en el mejor de los casos de forma continua. Sin embargo, de este modo resultaría una actividad continua del actuador de paso. Como consecuencia resulta un desgaste considerablemente mayor del actuador de paso. Se conoce otro ejemplo del estado de la técnica por el documento EP2270332.

35 Partiendo de este último estado de la técnica citado, la invención se basa en la tarea de proponer un aerogenerador y un procedimiento para su funcionamiento que logre una mejora de la puesta a disposición de potencia de reserva, en especial con respecto a una protección del aerogenerador.

40 La tarea se resuelve según la invención con las características de las reivindicaciones independientes. Los perfeccionamientos ventajosos son objeto de las reivindicaciones dependientes.

45 Se prevé un procedimiento para la puesta a disposición de una reserva de potencia durante el funcionamiento de aerogeneradores que presentan un generador accionado por un rotor eólico para el suministro de energía eléctrica, así como un controlador que presenta una primera curva característica para una relación entre el índice de marcha

- rápida del rotor eólico y el ángulo de pala de las palas de rotor, así como una entrada para una reducción de potencia deseada, previéndose para el ángulo de pala, según la invención, una implementación de una segunda curva característica con valores diferentes para un funcionamiento subóptimo, de manera que se alcance una reducción de potencia predeterminada, previéndose un uso de la segunda característica para el controlador si se pretende poner a disposición la potencia de reserva (funcionamiento de puesta a disposición), y previéndose un cálculo del ángulo de paso mediante una mezcla de la primera curva característica y de la segunda curva característica en caso de demanda de potencia de reserva (funcionamiento activo). En este caso, la fusión se lleva a cabo de manera que los valores calculados mediante las dos curvas características se ponderen de forma no lineal entre sí, dependiendo la ponderación no linealmente de la potencia de reserva requerida.
- Así se consiguen ventajas que van mucho más allá de una simple fusión gradual. Esto se debe a que la dependencia no lineal de la ponderación de la potencia de reserva requerida tiene en cuenta el hecho de que el coeficiente de potencia del rotor también depende no linealmente del ángulo de pala. Preferiblemente, la relación entre la potencia de reserva y la ponderación debería ser lo más inversa posible a la relación entre el ángulo de pala y la potencia del rotor. Por lo tanto, es posible incluso aproximarse a cualquier punto del campo característico no lineal de la potencia del rotor utilizando sólo dos curvas características y una función de ponderación. La invención también conlleva ventajas con respecto a una reducción del espacio de almacenamiento necesario y al tiempo de cálculo. Además esto se puede combinar con una rápida puesta a disposición de potencia de reserva.
- Este procedimiento se basa en la idea de diseñar óptimamente el aerogenerador para el funcionamiento de reserva por medio de la segunda curva característica y mejorar aún más el comportamiento de transición entre un funcionamiento reducido y un funcionamiento no reducido por medio de una mezcla especial de curvas características, a fin de garantizar un funcionamiento cuidadoso con el material del aerogenerador. De este modo, en la configuración de la segunda curva característica no es necesario tener en cuenta el comportamiento de transición, ya que sólo se puede optimizar para el funcionamiento continuo. Para un comportamiento de transición uniforme, por ejemplo, en el caso del requisito de potencia de reserva en el rango activo, la invención prevé una mezcla de ambas curvas características. Así es posible lograr una transición gradual, con lo que resulta una fusión armoniosa y continua.
- El mejor comportamiento de transición da lugar a un funcionamiento más silencioso, con lo que también puede resultar una reducción de la actividad de paso, especialmente durante la transición del funcionamiento reducido al funcionamiento no reducido. El funcionamiento más suave para el ramal de accionamiento en virtud del comportamiento de transición mejorado resulta especialmente ventajoso para las centrales de alto rendimiento como las previstas normalmente en alta mar. Por una parte, estas centrales son propensas a cargas parasitarias adicionales debido a su alto rendimiento, y por otra parte, estas centrales suelen ser difíciles de mantener a causa de su difícil acceso. Por este motivo, precisamente para estas centrales resulta de especial importancia una protección gracias al comportamiento mejorado según la invención.
- Otra ventaja de la invención consiste en que logra el efecto ventajoso con poco esfuerzo, no siendo necesarios en especial ningún hardware adicional ni modelos de computación complicados de parametrizar. En la mayoría de los casos es suficiente ampliar de forma correspondiente el control de programa existente. De este modo, la invención también abre el camino para el reequipamiento de aerogeneradores más antiguos ya existentes.
- Una forma de realización especialmente conveniente para la fusión no lineal consiste en una función raíz, especialmente una función raíz cuadrada. Esto se explica con un ejemplo: si, por ejemplo, se requiere una puesta a disposición del 50% de la potencia de reserva disponible, el ángulo de paso a ajustar para ello se calcula a partir de la raíz cuadrada de 0,5 que corresponde a 0,707 veces la segunda curva característica (funcionamiento de reserva) y del valor complementario de 1 - (raíz cuadrada de 0,5) que corresponde a 0,293 veces la primera curva característica (funcionamiento no reducido).
- El valor para la reducción de potencia se puede transmitir como una proporción, especialmente como un porcentaje de la potencia suministrada. De este modo se garantiza que la reserva de potencia se encuentre en una proporción controlada y adecuada con respecto a la potencia eólica disponible del aerogenerador. Así se contrarresta el riesgo de una sobrecarga mediante la especificación de una reserva de potencia demasiado alta con unas condiciones de viento débil. Alternativamente, también se puede proporcionar un valor fijo para la reserva de potencia.
- Convenientemente se prevé además generar una reducción de potencia deseada excesiva, entendiéndose por "excesiva" un valor de al menos el 50% de la potencia nominal del aerogenerador. Así es posible ajustar el aerogenerador mediante una reducción de potencia correspondientemente excesiva, en especial en caso de una sobrefrecuencia.
- En principio, la segunda curva característica se determina en función de la magnitud de la reserva de potencia prevista. Esto se puede llevar a cabo de manera que se determine una curva característica propia adicional para cada reserva de potencia ajustada. No obstante, resulta más sencillo y perfectamente suficiente si sólo se determina una curva característica para una de las distintas reservas de potencia y se lleva a cabo de forma correspondiente una interpolación para las demás reservas de potencia. Así se puede reducir el esfuerzo en la posición de la segunda curva característica para el funcionamiento de reducción, y aun así, conseguir con el procedimiento según la invención, gracias a la fusión no lineal, un procedimiento de funcionamiento suficientemente tranquilo y un comportamiento de transición armonioso.

Las curvas características se implementan preferiblemente en forma de tabla de consulta. Aquí, sólo unos pocos puntos de muestreo pueden ser suficientes para reproducir la función de ponderación no lineal prevista según la invención. Es posible realizar una interpolación en su caso lineal entre los puntos de muestreo sin perder la relación no lineal de la ponderación en su conjunto. No obstante, también se puede prever un cálculo directo de las funciones en lugar de la tabla de consulta.

El procedimiento prevé ventajosamente que se aplique una señal para la demanda de potencia de reserva de una fuente externa, especialmente de un parque maestro. Así es posible un control centralizado de la potencia de reserva. Esto resulta especialmente ventajoso para el funcionamiento de aerogeneradores en un parque eólico. Sin embargo, dado que también puede producirse un fallo de comunicación, de manera que no se apliquen parámetros externos para la potencia de reserva requerida, resulta preferible prever localmente un almacenamiento de valores. De este modo, el procedimiento puede continuar incluso si la comunicación falla en base al último valor. Convenientemente se almacenan varios de los valores anteriores, de manera que se pueda formar ventajosamente una señal de valor medio a partir de los mismos. Esto permite, en caso de un fallo de la comunicación, un funcionamiento más suave gracias al cálculo de un promedio.

El sistema de control para el suministro de la potencia de reserva se puede realizar de forma centralizada, de manera que una señal correspondiente (como ya se ha mencionado) se aplique externamente al aerogenerador. Esto resulta particularmente ventajoso en caso de un funcionamiento del aerogenerador en un parque eólico. Precisamente con respecto a un parque eólico, se han obtenido buenos resultados cuando no todos los aerogeneradores del parque, sino sólo una parte de los aerogeneradores en el parque están preparados para el suministro de potencia de reserva.

Preferiblemente, al sistema de control se le aplica además un valor para una potencia máxima. En el caso de este valor puede tratarse, en especial, de una limitación de potencia como la que se preestablece dentro del parque eólico. Convenientemente se tiene en cuenta una limitación de potencia como ésta adicionalmente a la reducción para la reserva de potencia a mantener. En su caso, el valor teórico para la potencia resultante de la limitación de potencia se compara con un valor teórico aplicado externamente, utilizándose el mínimo de ambos valores.

Alternativa o adicionalmente también se puede prever preestablecer externamente un valor máximo, en especial en la estación de control de nivel superior o en la estación de control de red. En este caso se trata especialmente de los así llamados "valores teóricos de parque reducidos", preestableciendo la estación externa (en especial la estación de control de red) al parque un límite de potencia. La especificación de una reserva de potencia no se ve afectada por ello, por lo que se puede consultar si es necesario. En este caso, el valor teórico para la potencia del parque se reduce adicionalmente en el valor para la reserva de potencia a mantener, de manera que, en caso necesario, se pueda aportar una potencia de reserva adicional. Por regla general, se mantiene la reducción de potencia preestablecida externamente. No obstante, no hay que descartar que, en caso necesario, la reducción de potencia externa pueda anularse para aumentar aún más la potencia de reserva que debe ponerse a disposición. En caso de una limitación de potencia resulta aconsejable que sólo una parte de los aerogeneradores del parque eólico funcionen a una potencia reducida correspondiente, preferiblemente los que ya están en funcionamiento a plena carga. Así se evita una carga innecesaria de los aerogeneradores que funcionan a carga parcial con esta función de control.

Preferiblemente se prevé un módulo estático que determina un valor para la reserva de potencia a mantener en base a una frecuencia de red. El punto de partida es un valor para la reserva de potencia a mantener con una frecuencia de red nominal. En caso de una subfrecuencia, este valor se reduce de forma continua si la frecuencia supera el límite inferior de una banda de tolerancia en la frecuencia de red nominal y, en concreto, hasta una reserva de potencia de cero. Por el contrario, en caso de una sobrefrecuencia, es decir, de una frecuencia por encima de un valor límite superior para la banda de tolerancia, la reserva de potencia a mantener aumenta considerablemente y, en concreto, hasta valores superiores al 50% de la potencia nominal de los aerogeneradores, a fin de lograr una reducción efectiva de la potencia en caso de que se produzcan sobrefrecuencias. Si la frecuencia sigue aumentando a pesar de la considerable reducción de la potencia, es conveniente desconectar el aerogenerador de la red.

La invención incluye además un procedimiento para el funcionamiento de un parque eólico que comprende varios aerogeneradores como se ha descrito anteriormente. Se hace referencia a explicaciones más detalladas o a la descripción anterior.

La invención también se refiere a un aerogenerador o a un parque eólico dotado de aerogeneradores correspondientes. En relación con la explicación más detallada se hace referencia a la descripción del procedimiento.

La invención se explica a continuación con más detalle haciéndose referencia al dibujo adjunto en el que se representa un ejemplo de realización ventajoso. Se muestra en la:

Figura 1 una vista esquemática de un aerogenerador según un ejemplo de realización de la invención;

Figura 2 una vista en bloque de un módulo de reducción de potencia para el aerogenerador según la figura 1;

Figura 3 una vista detallada de un módulo de fusión del módulo de reducción de potencia según la figura 2;

Figura 4 un diagrama con dos curvas características para el ajuste del paso;

Figura 5 un diagrama para la visualización del potencial de la reducción de potencia; y

Figura 6 un diagrama que representa un caso práctico de la reducción de potencia.

Según un ejemplo de realización de la invención, un aerogenerador, que se identifica en su conjunto con el número de referencia 1, comprende una torre 10, en cuyo extremo superior se dispone una góndola 13 de forma que pueda girar en dirección acimutal. En un lado frontal de la góndola 13 se prevé de forma giratoria un rotor eólico 11 con varias palas de rotor 12 dispuestas en el mismo. A través de un eje de rotor, dicho rotor eólico acciona un generador 14 con un convertidor 15 para la generación de energía eléctrica. En la góndola 13 se prevé además un controlador 2 para el funcionamiento del aerogenerador 1. El aerogenerador 1 se dispone preferiblemente en un parque eólico con varios otros aerogeneradores de 1, 1', 1" que se conectan entre sí y a un parque maestro 5 a través de una red interna del parque 9. En este caso, el aerogenerador individual 1 se conecta a través de una potencia de conexión 19 a la red interna del parque 9. A través de la misma se suministra la energía eléctrica, así como las señales de comunicación desde y al aerogenerador 1 o al parque maestro 5.

El rotor eólico 11 presenta varias palas de rotor 12. Éstas se disponen de forma regulable en un cubo del rotor eólico 11, de manera que se puedan ajustar con respecto a su ángulo de pala  $\varphi$ . El ajuste se realiza girando las palas de rotor 12 sobre su eje longitudinal (representado en la figura 1 con una línea discontinua) por medio de un sistema de paso 21.

El controlador 2 sirve para el funcionamiento del aerogenerador mediante parámetros preestablecidos que se aplican directamente al aerogenerador 1 o que se conectan al aerogenerador 1 o al parque eólico por parte del parque maestro 5 o de una instancia superior, por ejemplo, un operador (no representado) de una red de transmisión. Según la invención se prevé para el controlador 2 una unidad de limitación 3. Alternativamente a la disposición descentralizada en el aerogenerador 1, la unidad de limitación 3 también se puede prever en el parque maestro 5 (véase la representación con una línea discontinua de la unidad de limitación 3').

Para la explicación de la estructura y del funcionamiento de la unidad de limitación 3 se hace referencia a la figura 2. Se prevé un elemento de determinación 31 que fija una reserva de potencia en base a parámetros de entrada determinados. En el ejemplo de realización representado, la determinación de la reserva se realiza en función de una frecuencia de red en la red 9. En este caso se aplica un valor para la frecuencia realmente reinante en la red 9 como parámetro  $f_i$  y un valor para la frecuencia nominal  $f_N$  como parámetro de referencia. Además se aplica un valor para una reserva de potencia a poner a disposición en la frecuencia nominal  $f_N$  (valor de reducción  $R_0$ ). En el ejemplo de realización representado, esto se lleva a cabo como una tabla de consulta. Ésta comprende varias modalidades que se caracterizan por sus respectivos valores de referencia. Un primer modo consiste en una reducción lineal hasta un valor de reducción  $R_0$ , comenzando con un valor de frecuencia claramente inferior a la frecuencia nominal  $f_N$  (punto de muestreo A), y todavía sin ningún tipo de reducción, es decir, a plena potencia (punto de muestreo A), disminuyendo a un valor de reducción  $R_0$  que se puede ajustar previamente y que se alcanza con una subfrecuencia reducida (punto de muestreo B). El punto de muestreo B marca el límite inferior de una banda de tolerancia que se extiende hasta un valor de frecuencia ligeramente superior a la frecuencia nominal  $f_N$  con un grado de reducción constante (punto de muestreo C). En caso de frecuencias más altas se inicia un rango de sobrefrecuencia en el que el aerogenerador 1 reduce aún más la potencia de salida hasta el valor de reducción  $R_1$  (punto de muestreo D). Si se alcanza este valor, se produce una sobrefrecuencia tan significativa que el aerogenerador finalmente se desconecta.

Por último se emite un valor determinado por el elemento de determinación 31 para la potencia de reducción  $R_P$  y se aplica a un punto de adición 32. Al punto de adición 32 se le aplica además una señal para una limitación de potencia requerida  $R_D$  (del parque maestro 5 o de una fuente externa), concretamente por medio de una línea de señal 30. Combinando ambos valores, el punto de adición 32 emite un valor para una potencia de reserva actual que se denomina grado de reducción  $r$ . Este valor  $r$  no se utiliza directamente para la reducción de la potencia mecánica obtenida del viento por medio del rotor eólico 11, sino que, según la invención, se aporta a un módulo de mezcla no lineal 4.

El módulo de mezcla 4 sirve para determinar un valor de teórico para un ángulo de pala  $\varphi$  de las palas de rotor 12 por medio de varias señales de entrada, en el ejemplo de realización representado por medio de dos señales de entrada, así como por medio de una señal de control. Normalmente se determina, en función de un índice de marcha rápida  $\lambda$ , un ángulo de pala  $\varphi$  de las palas de rotor 12 a ajustar por el dispositivo de ajuste de paso. El índice de marcha rápida  $\lambda$  se define como una relación entre la velocidad de giro de las palas de rotor 12 (medida en la punta de la pala) y la velocidad del viento que actúa sobre el rotor eólico 11. Normalmente, el ángulo de pala  $\varphi$  se mantiene constante comenzando con el accionamiento del aerogenerador a velocidades de viento relativamente bajas hasta una velocidad de rotor determinada (velocidad nominal), de manera que, como consecuencia, la velocidad del rotor eólico 11 sea proporcional a la velocidad del viento  $v$ . Por encima de la velocidad nominal, el ángulo de pala  $\varphi$  se ajusta de forma continua, de manera que la velocidad  $n$  del rotor eólico 11 permanezca fundamentalmente constante (concretamente a la velocidad nominal). Por lo tanto, la velocidad del rotor eólico 11 ya no aumenta proporcionalmente a la velocidad del viento  $v$ . Por este motivo, el índice de marcha rápida  $\lambda$  disminuye a medida que aumenta la fuerza del viento.

La curva característica correspondiente para la relación entre el ángulo de paso  $\varphi$  y el índice de marcha rápida  $\lambda$  se representa en la figura 4 (con una línea continua) y se implementa en el bloque 36 (figura 2). Al bloque 36 se

conecta previamente un elemento de estimación 33 para el índice de marcha rápida  $\lambda$ . Éste determina un valor suavizado para el índice de marcha rápida  $\lambda$ , por ejemplo, por medio de parámetros para la potencia suministrada P, la velocidad n del rotor eólico 11, así como una medida para el ángulo de pala  $\phi$  ajustado en ese momento. A partir del índice de marcha rápida  $\lambda$  suavizado por el elemento de estimación 33 y que se aplica a una entrada 34 del bloque de curva característica 36, se determina, de un modo en sí conocido, un valor teórico  $\phi'$  para el ángulo de pala de las palas de rotor 12. Éste se pone a disposición en una salida 38 del bloque de curva característica 36 y se aplica a una entrada del módulo de mezcla 4.

Según la invención, por medio del mismo valor  $\lambda$  se determina para el índice de marcha rápida suavizado un segundo valor teórico  $\phi^*$  y, en concreto, por medio de una segunda curva característica. En el caso de la segunda curva característica se trata de una curva característica de reducción en la que se suministra una potencia menor que la de la primera curva característica, concretamente menor en el valor de la reserva de potencia deseada (expresada a través del grado de reducción  $R_0$ ). La segunda curva característica, reducida en el grado de reducción  $R_0$ , se representa en la figura 4 con una línea discontinua. Por medio del mismo valor para el índice de marcha rápida  $\lambda$  se determina, mediante el bloque 37, un segundo valor de teórico  $\phi^*$  tomando como base la segunda curva característica representada con una línea discontinua, se emite a su salida 39 y se aplica a la segunda entrada del módulo de mezcla 4. En la figura 4 se representa la curva característica implementada en el bloque 37 (con una línea discontinua). Los valores teóricos  $\phi'$  y  $\phi^*$  según la primera o la segunda curva característica son los dos valores que mezcla el módulo de mezcla 4 y, en concreto, mediante el valor r que se le aplica para el grado de reducción actual. A partir de éstos, el módulo de mezcla 4 A determina un valor teórico  $\phi_S$  para el ángulo de pala que se encuentra entre los dos valores  $\phi'$  y  $\phi^*$ .

El módulo de mezcla 4 se representa con más detalle en la figura 3. El valor para el grado de reducción r, que determina la proporción de mezcla, se aplica a su entrada de control 40. Como ya se ha mencionado antes, en este caso los dos desarrollos de curva (según la figura 4) se mezclan, como se representa a través de la primera curva característica válida para el funcionamiento normal en el bloque 36 y a través de la segunda curva característica válida para el funcionamiento reducido con reserva de potencia en el bloque 37. En este caso, el módulo de mezcla 4 se configura de manera que las dos curvas características se mezclen en una relación no lineal entre sí. Con esta finalidad se prevé un bloque de raíz cuadrada 41 que determina un valor de raíz cuadrada para el grado de reducción r. Este valor de raíz cuadrada se aplica mediante una primera línea de señal 45 a un multiplicador que actúa como un primer elemento de ponderación 47, y a su otra entrada, a la que se aplica el valor teórico para el ángulo de paso reducido  $\phi^*$  proporcionado por el bloque de curva característica 37 de acuerdo con la segunda curva característica reducida. Este valor teórico se pondera con el factor aplicado a través de la línea de señal 45. Este valor ponderado se aplica a una entrada de un elemento de adición 48. Además, el valor de raíz cuadrada determinado por el bloque 41 aplica la relación de reducción r a un elemento complementario 42 que forma un valor complementario mediante un cálculo de la diferencia respecto a 1. Este valor complementario se aplica a través de una línea de señal 44 a otro multiplicador que actúa como segundo elemento de ponderación 46. Éste pondera el valor proporcionado por el primer bloque de curva característica 36 para un ángulo de paso  $\phi'$  según la primera curva característica. El valor así ponderado se aplica a otra entrada del elemento de adición 48. El valor acumulativo  $\phi_S(r)$  formado por el elemento de adición 45 se emite a la salida 49 del módulo de mezcla 4 y finalmente se aplica, como valor teórico a ajustar, al control de paso 21 del rotor eólico 11.

De este modo, el módulo de mezcla 4 provoca una fusión no lineal que sigue concretamente a una función raíz entre la curva característica para el funcionamiento normal con plena potencia (sin reserva), por una parte, y la segunda curva característica para el funcionamiento con potencia reducida, es decir, con reserva puesta a disposición, por otra parte. Si para la reserva de potencia se prevé, por ejemplo, un valor de reducción  $R_0$  del 4% (definido por el punto de muestreo B en el elemento de determinación 31), la curva característica en el bloque de curva característica 37 se configura de forma correspondiente. Si la frecuencia en la red 9 se encuentra en el rango de la banda de tolerancia (entre los puntos de muestreo B y C en el elemento de determinación 31), el grado de reducción para la potencia procedente del aerogenerador es del mismo 4%, de manera que esté disponible toda la reserva. En este caso, el grado de reducción r es 1 y el ángulo de paso correspondiente a la segunda curva característica se utiliza solamente para determinar el valor teórico  $\phi_S$ . No obstante, si, por ejemplo, se produce una situación que requiere una movilización parcial de la reserva, por ejemplo, una subfrecuencia exactamente entre los dos puntos de muestreo A y B, la reducción se reduce a la mitad según el elemento de determinación 31. El grado de reducción r es, por lo tanto, de 0,5. Según la invención, a continuación se lleva a cabo una fusión entre las dos curvas características implementadas en los bloques 36 y 37, concretamente por medio de la función raíz en la forma de realización representada. Aquí, el ángulo de paso se determina según la curva característica de reducción implementada en el bloque 37 con  $\sqrt{0,5} = 0,707$  de la curva característica de reducción según el bloque 37 y de forma correspondiente complementariamente con  $1 - \sqrt{0,5} = 0,293$  de la primera curva característica según el bloque 36. Con esta fusión no lineal utilizando la función raíz, se consigue una transición suave que tiene en cuenta especialmente el hecho de que el aerogenerador reacciona de forma menos sensible a pequeños ángulos de ajuste.

El valor teórico para el ángulo de paso  $\phi_S$  así determinado mediante la fusión según la invención utilizando el módulo de mezcla 4, se aplica al control de paso 21 que ajusta adecuadamente los ángulos de paso  $\phi$  de las palas de rotor 12 de un modo en sí conocido.

El comportamiento operativo logrado con la invención se representa en las figuras 5 y 6. En la figura 6 se representa con una línea continua un valor de reducción  $R_0$  requerido. Éste varía a lo largo del tiempo comenzando desde el 0%

5 con  $T = 50s$  y aumentando hasta el 2,5% con  $T = 320s$  aproximadamente y disminuyendo de nuevo desde este valor con  $T = 400s$  y disminuyendo de nuevo a 0 con  $T = 700s$ . El grado de reducción  $r$  realmente alcanzado se visualiza mediante la línea continua. Se puede ver cómo éste sigue el grado de reducción establecido con ciertas desviaciones, pero en promedio con bastante exactitud: resulta especialmente llamativo que en caso de pequeños

10 El concepto básico de reducción de potencia para la puesta a disposición de potencia de reserva se explica en la figura 5. Aquí se representa la alimentación de potencia  $P$  de un aerogenerador a lo largo del tiempo  $t$  que no puede planificarse y que depende del viento. Se puede ver cómo la potencia que se puede generar a partir del viento y que se debe aportar (representada con una línea continua) varía enormemente a lo largo del tiempo. Se requiere la puesta a disposición de potencias de reserva para respectivamente dos períodos de tiempo identificados mediante líneas discontinuas en la figura 5. Esto significa que el aerogenerador suministra menos potencia (véase línea discontinua) de la que podría suministrar en virtud de las condiciones del viento (línea continua). La zona intermedia (sombreada) está disponible como potencia de reserva y puede estar disponible en cualquier momento a petición o

15 cuando se produzcan determinados parámetros (por ejemplo, una subfrecuencia), independientemente de si el viento es fuerte o débil.

20 En el parque maestro 5 se prevé además una entrada para una reducción solicitada de la potencia del parque  $R_E$ . De este modo, una instancia superior como, por ejemplo, el operador de la red de transmisión, puede imponer al parque eólico una reducción de potencia externa. En tal caso, el parque maestro 5 puede controlar de forma correspondientemente reducida los distintos aerogeneradores 1, 1', 1" del parque eólico, o simplemente emitir a los aerogeneradores 1, 1', 1" las correspondientes señales de reducción internas concretamente a través de su entrada  $R_D 30$ . A continuación, se lleva a cabo la reducción de potencia del modo antes descrito.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para la puesta a disposición de una reserva de potencia durante el funcionamiento de aerogeneradores (1, 1', 1'') que presentan un generador (14) accionado por un rotor eólico (11) para el suministro de energía eléctrica, así como un controlador (2) que presenta una primera curva característica (36) para una relación entre el índice de marcha rápida del rotor eólico (11) y el ángulo de pala de sus palas de rotor (12), así como una entrada (30) para una reducción de potencia deseada, con los pasos
  - implementación de una segunda curva característica (37) con ángulos de pala diferentes para un funcionamiento subóptimo, de manera que se alcance una reducción de potencia predeterminada, y
  - 10 - uso de la segunda curva característica (37) para el controlador (2) si se pretende poner a disposición la potencia de reserva (funcionamiento de puesta a disposición), caracterizado por que
    - en caso de demanda de potencia de reserva (funcionamiento activo) se calcula el ángulo de pala mediante una mezcla de la segunda curva característica (37) y de la primera curva característica (36), concretamente por medio de un módulo de mezcla (4),
    - 15 - llevándose a cabo la mezcla mediante una fusión entre los dos valores para los ángulos de pala de manera que los valores calculados para los ángulos de pala se ponderen de forma no lineal entre sí, dependiendo la ponderación no linealmente de la potencia de reserva requerida.
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la ponderación no lineal de los dos ángulos de pala se realiza por medio de una función raíz, especialmente por medio de una función raíz cuadrada.
- 25 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la segunda curva característica (37) se determina en dependencia de una reserva de potencia que se puede ajustar.
- 30 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que para cada reserva de potencia ajustada se determina otra curva característica propia.
5. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que, en caso de varias reservas de potencia, sólo se determina una curva característica para una de las distintas reservas de potencia, llevándose a cabo una interpolación para las demás reservas de potencia.
- 35 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en caso de una sobrefrecuencia se lleva a cabo una reducción de potencia excesiva.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la reserva de potencia se determina como una proporción de la potencia del aerogenerador (1) suministrada en ese momento.
- 40 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la determinación de la reserva de potencia y de la fusión se realiza de forma centralizada para varios aerogeneradores (1, 1', 1''), preferiblemente en un parque maestro (5).
- 45 9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que el parque maestro (5) sólo controla de forma correspondiente una parte de los aerogeneradores (1, 1', 1'') de un parque eólico.
- 50 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se tiene en cuenta un límite superior para la potencia suministrada.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que el límite superior se determina externamente.
- 55 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las curvas características se implementan en forma de tabla de consulta.
- 60 13. Procedimiento para el funcionamiento de un parque eólico que comprende un parque maestro (5) y una serie de aerogeneradores (1, 1', 1'') que presentan un generador (14) accionado por un rotor eólico (11) para el suministro de energía eléctrica, así como un controlador (2) que presenta una primera curva característica (36) para una relación entre el índice de marcha rápida del rotor eólico (11) y el ángulo de pala de sus palas de rotor (12), así como una entrada (30) para una reducción de potencia deseada, con los pasos
  - implementación de una segunda curva característica (37) con ángulos de pala diferentes para un funcionamiento subóptimo, de manera que se alcance una reducción de potencia predeterminada, y
  - uso de la segunda curva característica (37) para el controlador (2) si se pretende poner a disposición la potencia de reserva (funcionamiento de puesta a disposición), caracterizado por que



- en caso de demanda de potencia de reserva (funcionamiento activo) se calcula el ángulo de pala mediante una mezcla de la segunda curva característica (37) y de la primera curva característica (36), concretamente por medio de un módulo de mezcla,
  - llevándose a cabo la mezcla mediante una fusión entre los dos valores para los ángulos de pala de manera que los valores calculados para los ángulos de pala se ponderen de forma no lineal entre sí, dependiendo la ponderación no linealmente de la potencia de reserva requerida.
- 5
14. Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado por que el mismo se perfecciona según una de las reivindicaciones 2 a 12.
- 10
15. Aerogenerador con un generador (14) accionado por un rotor eólico (11) para el suministro de energía eléctrica, así como con un controlador (2) que presenta un primer bloque de curva característica (36) con una primera curva característica para una relación entre el índice de marcha rápida del rotor eólico (11) y el ángulo de pala de sus palas de rotor (12), así como una entrada para una reducción de potencia deseada,
- 15
- presentando el controlador (2) además un bloque (37) para una segunda curva característica que implementa ángulos de pala diferentes para un funcionamiento subóptimo, caracterizado por que
- comprende un módulo de mezcla (4) al que se conectan el primer bloque de curva característica (36), así como el segundo bloque de curva característica (37) y que se configura para, en caso de una demanda de potencia de reserva, calcular los ángulos de pala por medio de una fusión entre la segunda curva característica y la primera curva característica, implementándose la fusión de modo que los valores para los ángulos de pala determinados de acuerdo con la primera y la segunda curva característica se ponderen de forma no lineal entre sí, dependiendo la ponderación no linealmente de la potencia de reserva demandada.
- 20
16. Aerogenerador según la reivindicación 15, caracterizado por que el controlador (2) se perfecciona según una de las reivindicaciones 2 a 12.
- 25
17. Parque eólico que comprende un parque maestro (5), así como una serie de aerogeneradores (1, 1', 1''), caracterizado por que los aerogeneradores (1, 1', 1'') se configuran según una de las reivindicaciones 15 o 16.

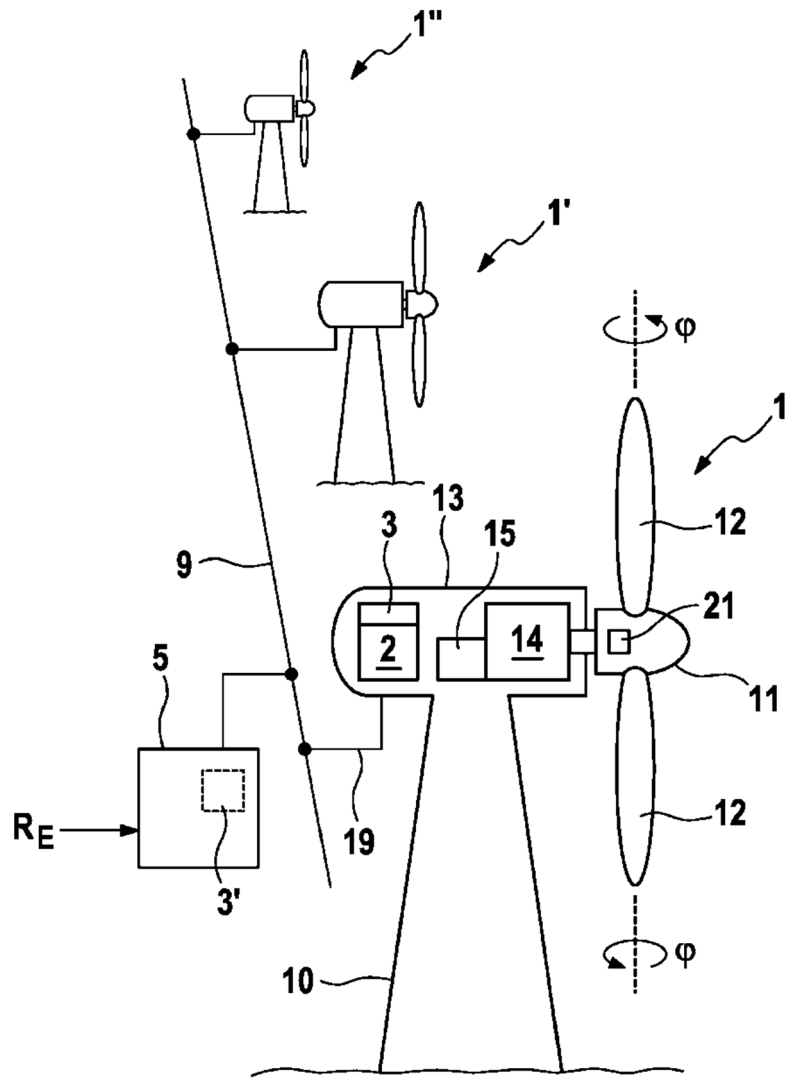


Fig. 1

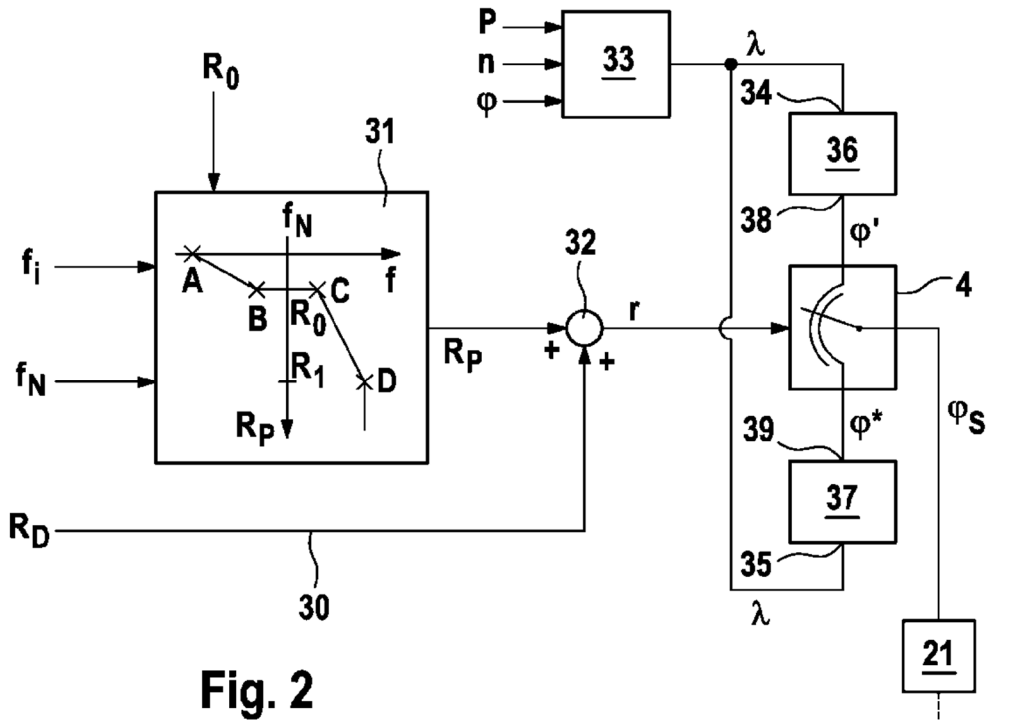


Fig. 2

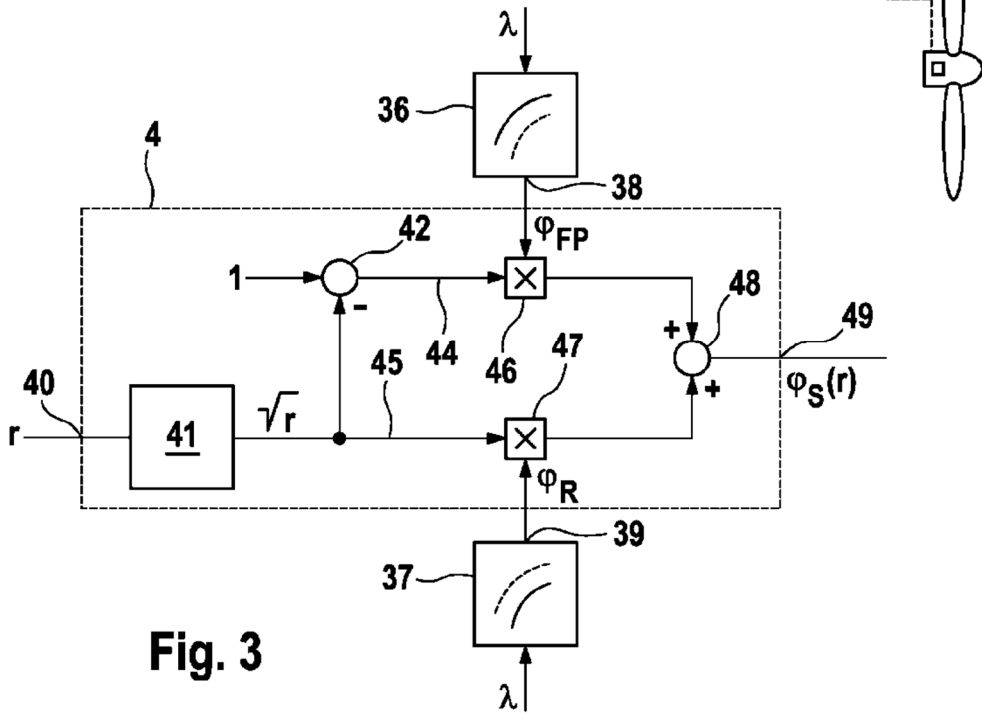
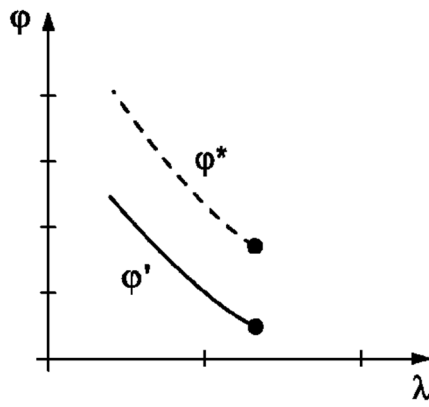
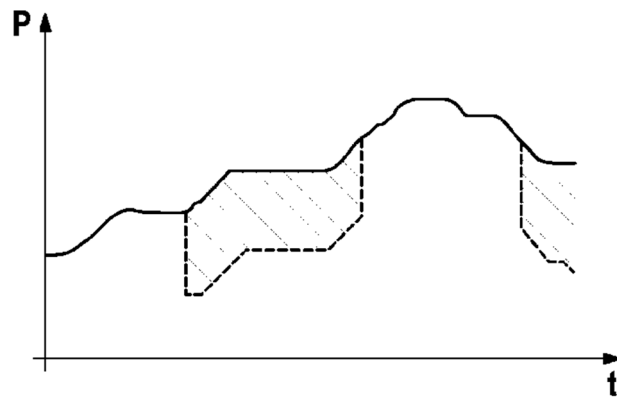


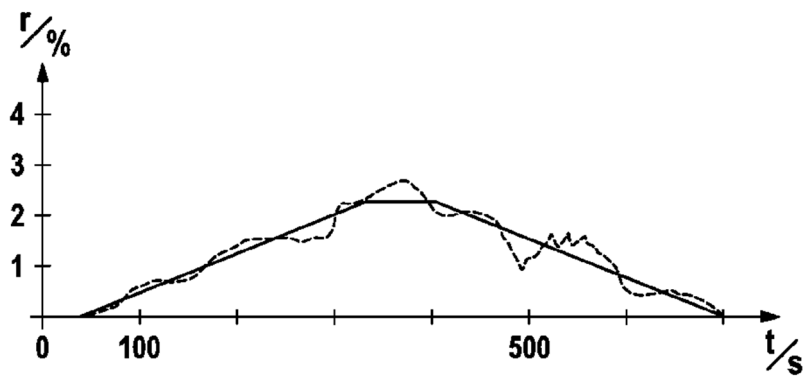
Fig. 3



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**