

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 908**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2010 PCT/EP2010/004931**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.02.2011 WO11018222**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2010 E 10743045 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2464862**

54 Título: **Aerogenerador con reserva de potencia ajustable**

30 Prioridad:

12.08.2009 DE 102009037239

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

01.08.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

KRÜGER, THOMAS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 627 908 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

Aerogenerador con reserva de potencia ajustable

La invención se refiere a un aerogenerador con un generador accionado por un motor para la generación de potencia eléctrica. Mejor dicho, se refiere a un aerogenerador con un rotor cuyas palas se pueden regular en cuanto a su inclinación y cuyo ángulo de inclinación es controlado por un sistema de control del aerogenerador. El sistema de control determina el ángulo de inclinación en dependencia de un punto de funcionamiento del aerogenerador y de una señal de entrada aplicada para una reserva de potencia a mantener.

Con la creciente propagación de aerogeneradores, éstos se emplean también cada vez más para la regulación y el aseguramiento de la red de transmisión de energía. Por lo tanto, el espectro funcional de los aerogeneradores no se limita sólo a la mera producción de energía eléctrica, sino que se amplía incluyendo la puesta a disposición de los así llamados servicios del sistema que los operadores de la red necesitan para el mantenimiento de un funcionamiento estable de la red. Entre estos servicios del sistema cuentan, además de la alimentación de potencia ciega, la puesta a disposición de una reserva de potencia (la así llamada reserva de potencia). Si en una red la toma de energía sobrepasa la producción de energía, la frecuencia de red baja; a la inversa, la frecuencia de red sube si la energía aportada sobrepasa la extraída. Dado que estas variaciones de frecuencia son algo que no se desea, se reacciona a las mismas mediante la aportación de potencia adicional (en caso de subfrecuencia) o mediante la descongestión de la potencia (en caso de sobrefrecuencia). Para poder reaccionar en breve plazo con rapidez, es necesario mantener permanentemente las correspondientes capacidades de la central eléctrica (la así llamada reserva de segundos). Esto se complementa con capacidades de la central eléctrica que en caso de necesidad se pueden aumentar rápidamente (la así llamada reserva de minutos). La construcción y el funcionamiento de estas centrales eléctricas (especialmente en el ámbito de la reserva de segundos) son relativamente caros. Precisamente en caso de redes alimentadas, además de por las centrales eléctricas convencionales, por un número relativamente elevado de aerogeneradores, surge por lo tanto la necesidad de utilizar los aerogeneradores también para el mantenimiento de la reserva de potencia. Una dificultad especial radica en que los aerogeneradores sí pueden reducir su suministro de potencia (DE 100 22 974 A1), pero, al contrario que las centrales eléctricas convencionales, no pueden aumentar fácilmente su potencia, dado que la máxima potencia disponible queda limitada por el aire disponible y, por lo tanto, varía de forma estocástica.

Para poder recurrir, a pesar de ello, a los aerogeneradores para el mantenimiento de potencia de control, se han dado a conocer diversos planteamientos en el estado de la técnica. En una propuesta divulgada se aprovecha el hecho de que los aerogeneradores se suelen agrupar en parques eólicos. Aquí un aerogenerador (aerogenerador de referencia) funciona a plena potencia determinada por las respectivas condiciones de viento, tomándose la energía eléctrica generada por el mismo como referencia para otros aerogeneradores del parque. En función de la reserva de potencia deseada, estos otros aerogeneradores se hacen funcionar de forma estrangulada de modo que, mediante la anulación de la estrangulación, se puede movilizar en caso de necesidad rápidamente potencia adicional. En principio, este concepto funciona de forma bastante simple, aunque presenta el inconveniente de que las diferencias de la máxima capacidad de rendimiento entre los distintos aerogeneradores del parque eólico respecto a las condiciones encontradas en el aerogenerador de referencia no se tienen en cuenta. Por consiguiente no se puede garantizar que la potencia de control pretendida esté realmente disponible, sino que más bien depende del azar.

También es conocido medir por medio de un anemómetro la velocidad de viento real y determinar, a la vista de una curva característica determinada para el respectivo aerogenerador la potencia disponible con este viento (DE 10 2007 036 446 A1). Este valor representa la potencia disponible, de la que se deduce cierta cantidad como potencia a mantener en reserva (potencia de control). El sistema de control de funcionamiento del aerogenerador ajusta este valor resultante como valor teórico de potencia modificado. El procedimiento puede registrar una alta transparencia como ventaja a su favor, pero presenta el inconveniente de que los errores cometidos en la medición de la velocidad del aire se reflejan plenamente en el resultado. Esta circunstancia adquiere una importancia especial dado que, como es sabido, la medición de la velocidad del aire en el aerogenerador con ayuda de un anemómetro montado en la góndola es inexacta. Por lo tanto se pueden producir inestabilidades, especialmente cuando las diferencias se van acumulando a lo largo de un espacio de tiempo prolongado. Esto se refiere en especial a la regulación secundaria, puesto que se refiere a un horizonte de tiempo más largo que la rápida regulación primaria (definida también como reserva de segundos).

Para la rápida movilización de potencia adicional se conoce además el método de aprovechar la energía cinética que se encuentra en el rotor. Esto se lleva a cabo generando, mediante la subida del par del generador, más energía eléctrica que la que el rotor proporciona dadas las circunstancias. De hecho se puede movilizar muy rápidamente potencia adicional, prácticamente de forma independiente de las condiciones de aire actualmente existentes. Sin embargo, como se tiene que aceptar al mismo tiempo un descenso del número de revoluciones del rotor, sólo es posible hacerlo durante un espacio de tiempo muy corto. El empleo de este procedimiento se limita, por lo tanto, al campo de la regulación primaria.

También se conoce el procedimiento de hacer funcionar los aerogeneradores no con los valores determinados por el sistema de control de funcionamiento para el respectivo punto de funcionamiento, especialmente para el ángulo de inclinación, sino hacerlo aquí con un margen de seguridad (Prillwitz, F. et al.: Regulación primaria con aerogeneradores, Workshop ETG "Nuevas estructuras de suministro descentralizadas", 19 – 20 de febrero de 2003,

Francfort del Meno). Para el caso del ángulo de inclinación esto significa que el aerogenerador funciona con un ángulo de inclinación reducido en valor fijo /margen de seguridad). Dado que de este modo el aerogenerador no funciona con el ángulo de inclinación óptimo, resulta una reserva de potencia que mediante el ajuste del ángulo de inclinación se puede movilizar con el valor óptimo. Un inconveniente de este procedimiento consiste en que, debido a la reducción estática del ángulo de inclinación en un valor fijo, las reservas de potencia varían respectivamente en función del punto de funcionamiento del aerogenerador. Mientras que para la regulación primaria en la gama de segundos esto todavía puede ser aceptable (puesto que el punto de funcionamiento normalmente no cambia o sólo cambia poco a lo largo de unos pocos segundos), un comportamiento de este tipo se considera claramente perjudicial para la regulación secundaria centrada en un horizonte de tiempo más largo.

5
10 Partiendo del estado de la técnica mencionado en último lugar, la invención tiene por objeto perfeccionar un aerogenerador del tipo inicialmente señalado en lo que se refiere a la puesta a disposición de potencia de control, especialmente evitar inestabilidades.

La solución según la invención consiste en las características de las reivindicaciones independientes. Las variantes ventajosamente perfeccionadas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

15 En un aerogenerador con un generador accionado por un rotor para la producción de energía eléctrica y con un sistema de control que presenta un módulo pitch para la variación de un ángulo de inclinación de las hojas de rotor, comprendiendo el sistema de control una entrada para una reserva de potencia a mantener y determinando el mismo en dependencia de un punto de funcionamiento del aerogenerador un ángulo de inclinación teórico, se prevé según la invención un regulador pitch secundario que comprende un detector para una potencia disponible y un
20 módulo offset dinámico, aplicándose al módulo offset dinámico señales de entrada para la reserva de potencia disponible determinada por el detector, la reserva de potencia requerida y la energía eléctrica producida, y configurándose el módulo para determinar un valor para un ángulo de inclinación, previéndose además un elemento de seguimiento para variar el ángulo de inclinación teórico en la medida del ajuste del ángulo de inclinación.

25 La idea principal de la invención es la de determinar un valor para la potencia disponible y emplearlo, mejor dicho, emplear la diferencia respecto a la potencia realmente producida, para el cálculo de un ajuste variable del ángulo de inclinación. Gracias a esta combinación, especialmente a la variabilidad del ajuste del ángulo de inclinación, se puede determinar el ajuste necesario para la potencia de control deseada teniendo en cuenta el punto de trabajo actual del aerogenerador. Esto permite una adaptación óptima del ajuste del ángulo de inclinación a las respectivas condiciones de funcionamiento del aerogenerador. Con esta adaptación optimizada se evita con seguridad el
30 inconveniente inherente a un ajuste estático, en concreto la necesidad de elegirlo innecesariamente grande para que resulte suficiente para cada elección de funcionamiento. En conjunto se consigue así un óptimo aprovechamiento de la potencia del aerogenerador.

Otra ventaja de la invención consiste en la alta estabilidad de la regulación. Sorprendentemente se ha comprobado que al actuar sobre el ángulo de inclinación, en lugar de una variación directa de la potencia teórica requerida, la
35 regulación de hecho se produce sólo de forma indirecta (en concreto a través del ajuste del ángulo de inclinación), pero que los errores de medición y las imprecisiones de medición en las señales de entrada (especialmente a causa de los ruidos de valores de medición inevitables) se notan en una medida mucho menor que en las especificaciones directas de la potencia conocidas por el estado de la técnica. De este modo la regulación de la reserva de potencia es más estable y también más cuidadosa en el funcionamiento, dado que como consecuencia de la menor influencia
40 de los ruidos se reduce la actividad de regulación del accionamiento pitch. Esto se refiere especialmente al empleo como regulación secundaria que hasta ahora ha sido muy problemática para los aerogeneradores. Finalmente conviene mencionar que el esfuerzo adicional es reducido. Los reguladores y detectores necesarios se pueden implementar con poco esfuerzo en el sistema de control de funcionamiento, y gracias a la regulación indirecta cuidadosa el accionamiento de regulación para el ángulo de inclinación tampoco se tiene que reforzar
45 adicionalmente.

Para el detector se prevé preferiblemente un módulo de estimación del viento concebido para determinar la potencia disponible en base a la velocidad del viento estimada. Con una estimación basada en un modelo como éste de la
50 velocidad del viento se evitan imprecisiones y fallos como los que se registran en una medición auténtica por medio de un anemómetro. Sorprendentemente se ha comprobado que los datos obtenidos presentan, gracias a su espectro de ruidos mucho más reducido en comparación con los valores de medición auténticos, una calidad considerablemente mayor para la determinación de la potencia disponible. Siguiendo esta idea, un elemento de determinación para la potencia realmente producida se configura preferiblemente de manera que se base igualmente en modelos, se pueden poner en práctica las mismas ventajas en relación con la potencia realmente
55 producida. Según otro aspecto se prefiere especialmente que el mismo modelo sirva de base para ambas medidas, la estimación de la potencia disponible y la de la potencia realmente producida. Esto ofrece en especial la ventaja de que ciertos errores de modelo (que debido a las simplificaciones necesarias para el modelo son prácticamente inevitables) se corrijan en parte. De este modo se logra una especie de rechazo en modo común, con lo que todo el modelaje gana claramente en estabilidad a largo plazo. Esto permite además trabajar con modelos relativamente sencillos, por lo que se pueden evitar las dificultades que se producen con frecuencia con modelos complicados,
60 especialmente los problemas de estabilidad.

El empleo de una fórmula cerrada se considera conveniente para el modelaje, determinándose la potencia total a partir del grado de eficacia total, de la densidad del aire, de la superficie circular del rotor, del índice de marcha

rápida y del ángulo de inclinación, teniendo en cuenta la tercera potencia de la velocidad del viento estimada. Una fórmula cerrada como ésta permite un cálculo exacto sin recursiones. Sin embargo, alternativamente también se puede prever el empleo de una Look-up-Table (LUT). Esto ofrece especialmente la ventaja de una elevada velocidad de procesamiento.

5 El módulo offset dinámico comprende convenientemente un regulador I. Éste ofrece la ventaja de una alta precisión estacionaria. Cualquier ruido de las señales de entrada se amortigua fuertemente gracias a la integración, por lo que el accionamiento de regulación para el ángulo de inclinación se cuida en la forma debida. Gracias al concepto según la invención del control indirecto a través del ángulo de inclinación, un regulador I de este tipo también es lo
10 suficientemente rápido, por lo que no se necesita ningún elemento P. No obstante, tampoco se debe excluir la posibilidad de dotar al regulador de un componente P adicional, así como de un componente D.

En un parque eólico con varios aerogeneradores, de los que al menos uno presenta la determinación según la invención de la potencia de control, se prevé convenientemente que esta determinación se lleve a cabo por medio del "parkmaster". Esto tiene la ventaja de un procesamiento centralizado, lo que conviene especialmente en el
15 suministro de valores correspondientes para la regulación a varios aerogeneradores. Para ello se prevé en el parkmaster un módulo compensador. El mismo se diseña para distribuir la potencia de control requerida por el parque eólico entre los distintos aerogeneradores. El módulo compensador presenta preferiblemente una unidad de ponderación que sirve para prever el porcentaje del respectivo aerogenerador a la vista de la potencia nominal del aerogenerador individual.

Sin embargo, también se puede prever que el módulo compensador se conciba para accionar distintos
20 aerogeneradores del parque eólico en régimen de barrena y para utilizarlos para la potencia de control. Por funcionamiento en régimen de barrena se entiende que el aerogenerador gire, pero sin producir potencia efectiva o produciendo sólo muy poca potencia efectiva (una potencia de diez menor que las demás). Estos aerogeneradores se emplean después para la reserva de potencia, dado que con ellos se puede incrementar considerablemente la potencia realmente demandada. Este concepto ofrece ventajas especialmente cuando en un parque eólico se
25 producen condiciones de viento muy diferentes a lo largo del parque, por lo que los aerogeneradores de zonas con viento flojo se pueden utilizar perfectamente para la puesta a disposición de la reserva de potencia, minimizándose las mermas de potencia efectiva realmente producida en el funcionamiento normal. Para unificar la carga también se puede prever que la distribución de la potencia de control se lleve a cabo en función de la disponibilidad de los aerogeneradores.

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

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

Figura 2 una vista en bloque que muestra un dispositivo para la regulación de la inclinación;

Figura 3 diagramas que muestran el desarrollo del ángulo de inclinación y de la potencia requerida y la potencia
35 realmente suministrada;

Figura 4 un parque eólico con varios aerogeneradores y con un parkmaster según la invención y

Figura 5 un diagrama en bloque que muestra una regulación de la inclinación según el estado de la técnica.

Un aerogenerador 1 según un ejemplo de realización de la invención comprende una torre 10 en cuyo extremo superior se dispone una góndola 11 que puede girar en dirección acimutal. Por la cara frontal de la góndola 11 se
40 dispone de forma giratoria un rotor eólico 2. Éste impulsa a través de un eje de rotor un generador 13 que transforma la potencia mecánica suministrada por el rotor 2 en energía eléctrica. El generador 13 se configura en el ejemplo de realización representado como máquina asincrónica de doble alimentación que a través de un estator se conecta directamente a una línea de conexión 15 y con su rotor, a través de un convertidor 14, indirectamente a la línea de
45 conexión 15. La línea de conexión 15 conduce a un transformador del aerogenerador 16 dispuesto preferiblemente en la zona de la base de la torre 10. El transformador del aerogenerador 16 se conecta a una red de transmisión de energía, tratándose en la mayoría de los casos de una red interna del parque eólico. En la góndola 11 se dispone además un sistema de control de funcionamiento 3. El mismo sirve para vigilar y controlar todo el funcionamiento del aerogenerador. La góndola comprende un módulo pitch 31 concebido para controlar un ángulo de ataque (ángulo de inclinación Θ) de las palas de rotor 21 del rotor eólico 2. El módulo pitch 31 colabora con un sistema pitch 22
50 dispuesto en el cubo del rotor eólico 2. El sistema comprende un dispositivo de regulación para el ajuste del ángulo de inclinación determinado por el módulo pitch 31 por medio de un accionamiento pitch (no representado) que varía el ángulo de inclinación Θ de las palas de rotor 21.

El sistema de control de funcionamiento 3 con el módulo pitch 31 se diseña para ajustar el ángulo de inclinación Θ respectivamente de manera que se obtenga un valor óptimo para el así llamado índice de marcha rápida λ (la
55 relación entre la velocidad de la punta de la pala y la velocidad del viento). De este modo se puede conseguir un rendimiento de energía máximo del rotor eólico 2 en las respectivas condiciones de viento. El sistema de control de funcionamiento 3 proporciona el índice de marcha rápida óptimo λ_{opt} como parámetro para el módulo pitch 31.

La construcción y el funcionamiento del sistema de control 3 con el módulo pitch 31 se explican a continuación más detalladamente a la vista de la ilustración esquemática de la figura 2. El sistema de control de funcionamiento 3

determina a partir del índice de marcha rápida λ el valor para el ángulo de inclinación Θ_{opt} que, por debajo de una velocidad de viento nominal, conduce a un funcionamiento del rotor eólico 2 con el índice de marcha rápida óptimo λ_{opt} : por encima de la velocidad de viento nominal el sistema de control de funcionamiento determina el ángulo de inclinación Θ_{opt} que da lugar al mantenimiento de la gama de revoluciones admisible. Este ángulo de inclinación óptimo Θ_{opt} se emite y se transmite a una entrada del sistema pitch 22 del rotor eólico 2, mejor dicho, a un regulador de inclinación 23 del sistema pitch 22. El regulador de inclinación 23 activa un motor de regulación 24 del sistema pitch 22 que varía el ángulo de ataque Θ de las palas de rotor 21. Este mecanismo de activación en sí conocido se ha ampliado en el estado de la técnica (véase figura 5), con lo que el valor teórico Θ_{opt} para el ángulo de inclinación óptimo se cambia en el valor de una diferencia del valor de inclinación $\Delta\Theta$ que se puede preestablecer, y que se suma al valor calculado para un ángulo de inclinación óptimo. Con un valor estático preestablecido como éste para la diferencia $\Delta\Theta$ del ángulo de inclinación se puede lograr un funcionamiento del aerogenerador en la gama subóptima, como se ha explicado como introducción en un debate acerca del estado de la técnica y que, por razones de claridad, se representa sólo esquemáticamente en la figura 5.

El concepto básico con la indicación del ángulo de inclinación óptimo al regulador de inclinación 23, que a su vez regula las palas de rotor 21 a través de un accionamiento de regulación 24, es el que se representa en el ejemplo de realización de la invención en la figura 2. No obstante, la determinación de un offset para el ángulo de inclinación se produce de manera completamente distinta, como se explicará a continuación de forma más detallada. El regulador de inclinación secundario dinámico identificado en su conjunto con el número 4 comprende un módulo de estimación de viento 41, un elemento de determinación para una energía eléctrica producida 42, un detector para una energía eléctrica disponible 43 y un dispositivo de control secundario 44. El módulo de estimación de viento 41 se diseña para calcular a partir de los datos existentes en el sistema de control de funcionamiento 3 un valor estimado para la velocidad del viento actual. Una particularidad del módulo de estimación de viento 41 radica en que no se necesitan sensores independientes, sino que puede funcionar simplemente con los datos de medición existentes de por sí en el sistema de control de funcionamiento 3 (o sea, de forma pasiva). El valor determinado por el módulo de estimación de viento 41 para la velocidad del viento estimada v_E se aplica al detector 43 para la potencia disponible como uno de los valores de entrada. Como otro valor de entrada se aplica al detector 43 el valor facilitado por el sistema de control de funcionamiento para un ángulo de inclinación óptimo Θ_{opt} . El detector 43 calcula a partir del mismo la energía eléctrica teóricamente disponible que con una regulación óptima se extrae del viento a través del rotor eólico 2 en las condiciones de viento actuales y que se podría transferir a través del generador/sistema de conversión 13, 14. Para el cálculo del valor para la potencia disponible P_v el detector 43 presenta preferiblemente un modelo 45 para el aerogenerador. El modelo 45 es preferiblemente un modelo no lineal simplificado. Esto permite una determinación tanto exacta como rápida de la potencia disponible, dado que resulta inmediata y, por consiguiente, estable. La potencia disponible se determina mediante aplicación de la fórmula

$$P_v = \frac{\eta \rho A}{2} c_{P(\lambda, \Theta_{opt})} v_E^3 ,$$

siendo η el grado de eficacia total, ρ la densidad del aire, A la superficie circular del rotor, λ el índice de marcha rápida y Θ_{opt} el ángulo de ajuste de pala óptimo, y correspondiendo el valor v_E a la velocidad del viento estimada como parámetro de entrada del modelo 45. Basándose en un valor estimado apoyado en un modelo de este tipo, el detector 43 calcula un valor para la potencia disponible P_v , emitiéndolo en su salida y aplicándolo a una entrada del dispositivo de control secundario 44.

Por medio del módulo de determinación para la potencia realmente producida 42 se determina la potencia realmente producida y transmitida por el generador/sistema de rotor 13, 14. En el caso más sencillo se disponen a estos efectos sensores para la tensión y la corriente 17, 18 en la línea de conexión 15, conectando sus valores al elemento de determinación 42. El elemento de determinación 42 realiza una multiplicación y determina la potencia realmente producida de P_R . Este caso sencillo con empleo de los sensores 17, 18 se representa con líneas de puntos en la figura 2.

En una forma de realización preferida de la invención, la determinación de la potencia realmente producida P_R se puede llevar a cabo con referencia al valor para la velocidad del viento estimada v_E proporcionado por el módulo de estimación de viento 41. Para ello el elemento de determinación para la potencia realmente producida 42 presenta también un modelo 47 del aerogenerador. Preferiblemente el modelo 47 se configura de acuerdo con el modelo 45 para el detector 43. Al elemento de determinación 42 se aplica además, por parte del sistema pitch 22, un valor para el ángulo de inclinación realmente ajustado Θ_R (véanse las líneas discontinuas de la figura 2). A partir de estos valores se determina, por medio del modelo y según la siguiente fórmula

$$P_R = \frac{\eta \rho A}{2} c_{P(\lambda, \Theta_R)} v_E^3$$

la potencia realmente producida P_R , siendo P_R la potencia realmente producida y Θ_R el ángulo de pala realmente ajustado. También es posible determinar la potencia realmente producida P_R por medio de sensores o de datos del sistema de control de funcionamiento 3.

La potencia realmente transmitida P_R así determinada se aplica a través de la salida del elemento de determinación 42 a una entrada del dispositivo de control secundario 44. A otra entrada del dispositivo de control secundario 44 se

aplica un valor para la cantidad de reserva de potencia P_D a mantener. El dispositivo de control secundario 44 presenta en el ejemplo de realización representado un antefiltro 48 y un núcleo de regulación 49. Al antefiltro 48 se aportan, como señales de entrada, los dos valores para la potencia realmente producida P_R y la potencia disponible P_V . A partir de los mismos se determina un valor diferencial para el exceso de potencia P_B que se compara con el valor aplicado para la potencia de control P_D requerida. El antefiltro determina, como señal de salida, un valor para una diferencia de potencia P_Δ . El valor se aplica como magnitud de entrada para el antefiltro 48 al propio núcleo de regulación. El núcleo de regulación se diseña para determinar a partir de este valor un valor para el ángulo de error de inclinación Θ_Δ . Este valor lo emite el dispositivo de control secundario 44 y se añade a través de un elemento sumador 40, con el signo correcto, al valor proporcionado por el sistema de control de funcionamiento para el ángulo de inclinación óptimo Θ_{opt} . Como consecuencia se obtiene un valor modificado para el ángulo de inclinación exigido que se aplica como valor de entrada al regulador de inclinación 23 en sí conocido.

Así se consigue que a partir de los valores determinados por el elemento de determinación a la vista de la velocidad de viento estimada para la potencia disponible y la potencia realmente producida, se pueda calcular como diferencia una potencia de control realmente disponible que se compara con la reserva de potencia requerida. Si se produce una diferencia, el núcleo de regulación 49 del dispositivo de control secundario 44 genera un ángulo de inclinación adicional Θ_Δ que se suma al ángulo de inclinación óptimo Θ_{opt} proporcionado por el sistema de control de funcionamiento. Con el accionamiento de regulación 24 del sistema pitch 22 se ajusta este nuevo ángulo de regulación, con lo que la potencia realmente producida cambia de forma correspondiente. El bucle de regulación se cierra.

Se han obtenido buenos resultados al realizar el regulador contenido en el núcleo de regulación 49 del dispositivo de control secundario 44 preferiblemente como simple regulador integral. Se logra así una precisión estacionaria excelente, habiéndose comprobado sorprendentemente que la velocidad alcanzable también es lo suficientemente grande. La invención se ha dado cuenta de que, a pesar del empleo de un simple regulador integral, también se mantiene la estabilidad dado que, gracias al empleo de un valor estimado para la velocidad del aire, los elementos de determinación para la potencia realmente producida y disponible se desacoplan de los ruidos de medición por lo demás inevitables en la medida necesaria para poder emplear el regulador integral sin peligro en caso de pérdida de estabilidad. Conviene hacer constar que el regulador también se puede realizar de otra manera, por ejemplo, como PI o como regulador PID o como regulador de estado.

Para completar se añade que la señal para la reserva de potencia requerida P_D se sigue aportando al sistema de control de funcionamiento para reducir el valor teórico de potencia aplicando este valor. Esto se conoce por lo que no es necesario explicarlo en detalle.

El efecto de la invención se explica a continuación con referencia a la figura 3. La figura representa un simulacro de una curva de potencia en caso de una rápida reducción de la reserva de potencia requerida. La figura 3a muestra el ángulo de inclinación Θ y la figura 3b muestra con una línea continua la reserva de potencia requerida y con la línea discontinua la reserva de potencia realmente existente, mostrando la figura 3c la energía eléctrica P_R realmente producida. Se supone que en el momento $T=5$ la reserva de potencia requerida se reduce de 200 kW a 0 kW. La base la constituye un aerogenerador con una potencia nominal de 2000 kW que a una velocidad del viento de 9 ms en funcionamiento a carga parcial produce una potencia de aprox. 850 kW. En estas condiciones se consigue un funcionamiento óptimo cuando el ángulo de inclinación Θ presenta un valor de -1° .

Al principio la reserva de potencia requerida es de 200 kW. Para facilitarla se elige para el ángulo de ajuste Θ de las palas de rotor 21 no el ángulo óptimo de -1° , sino un ángulo de $+4^\circ$. Con este ángulo se producen en las condiciones indicadas realmente unos 850 kW de energía eléctrica. Con la reducción de la reserva de potencia requerida a 0 kW, comenzando en el momento $T=5$ ms, se reduce el ángulo de ajuste de la pala Θ a la máxima velocidad ($1^\circ / \text{seg.}$) del accionamiento de regulación 24 hasta alcanzar finalmente el óptimo ángulo de inclinación Θ_{opt} de -1° . Debido a la velocidad de regulación de inclinación finita se dispone todavía durante cierto tiempo (aprox. 3 s) de una potencia de reserva que no se requiere (véase la línea discontinua de la figura 3b). La potencia realmente producida aumenta de forma constante al activar el accionamiento de inclinación 24 hasta alcanzar, al llegar al ángulo de inclinación óptimo, un máximo de 1200 kW y ajustarse después a un valor de unos 1050 kW. A la vista de la diferencia entre los aprox. 1050 kW y el valor inicial de 850 kW se puede comprobar que el aerogenerador ha proporcionado realmente la potencia de reserva de 200 kW originalmente requerida. La superación de un máximo de potencia mostrado en la figura 3c se puede evitar en la regulación por medio de un módulo de limitación de gradientes de potencia 25 que limita la velocidad de regulación de inclinación en dependencia de la velocidad medida o estimada del aumento de potencia. De este modo se consigue que no se aporte potencia excesiva a la red y que se evite cualquier riesgo de desestabilización de la red a causa de fenómenos transitorios.

En los diagramas se puede ver que la regulación en relación con el ángulo de inclinación se produce de manera muy armónica y que está libre de sobreoscilaciones y de permanentes accionamientos que implican el desgaste del material. En especial no se producen inestabilidades. La invención ofrece así la ventaja de que con medios relativamente sencillos y sin necesidad de un hardware adicional se pueda proporcionar una reserva de potencia según las necesidades. Por lo tanto el aerogenerador se puede emplear junto con la red en el marco de servicios del sistema, especialmente de la regulación secundaria. La solución según la invención es sencilla y se puede emplear de forma descentralizada en el aerogenerador, siendo únicamente necesaria una simple señal de regulación emitida por un puesto de control de la red o por un parkmaster. Como se puede ver en la ilustración de la figura 3c, la

5 reserva de potencia requerida se puede mantener según la invención con bastante exactitud en todos los puntos de servicio gracias a los dos elementos de determinación. La regulación según la invención tampoco tiende a desestabilizarse. Esto se considera ventajoso no sólo para el comportamiento del aerogenerador durante el funcionamiento, sino también en relación con el cuidado del accionamiento de regulación de inclinación 24, por lo que no hace falta reforzarlo.

10 En la forma de realización representado en la figura 4 la invención se muestra en el ejemplo de un parque eólico. El mismo se compone de varios aerogeneradores 1, 1' unidos entre sí a través de una red de suministro interna 51 y conectados a la red pública 9. El parque eólico comprende además un parkmaster 5 que asume la función de control de los aerogeneradores 1, 1' con sus sistemas de control de funcionamiento y que está conectado a los mismos a través de una red de señalización 52. El parkmaster 5 comprende en este ejemplo de realización el dispositivo de control secundario 4 para los distintos aerogeneradores 1, 1' del parque eólico. El parkmaster 5 comprende además un módulo compensador 54 que sirve para distribuir una reserva de potencia P_{DP} requerida por el operador de la red entre los distintos aerogeneradores 1, 1'. Los valores de salida correspondientes para los diferentes valores se conectan al dispositivo de control secundario 4 para los distintos aerogeneradores 1. El módulo compensador 54 puede interactuar con un módulo de ponderación 55 configurado para recurrir preferiblemente a los aerogeneradores 1, 1' que en este momento producen poca potencia y que por lo tanto presentan todavía una reserva para proporcionar la reserva de potencia. También se puede prever un módulo de barrena 56 que emplee determinados aerogeneradores 1', que sólo producen una décima parte o menos de la potencia media de los demás aerogeneradores, para la puesta a disposición de la potencia de regulación.

20 El parkmaster 5 puede presentar adicionalmente un módulo estático 58 así como una entrada de señales 57. Si a la entrada de señales se aplica una señal para la regulación de frecuencia f-Ctrl, se activa una potencia de reserva P_{DP} predeterminable para los aerogeneradores. En el módulo estático 58 se almacena una función para determinar con qué reducciones o aumentos de potencia tiene que reaccionar el parque eólico a las diferencias de la frecuencia real f_i respecto a la frecuencia teórica f_s y se deben modificar los datos de potencia y/o la potencia de reserva de acuerdo con la función en los aerogeneradores 1.

25

REIVINDICACIONES

- 5 1. Aerogenerador con un generador accionado por un rotor para la producción de energía eléctrica y con un sistema de control (3) que presenta un módulo pitch (31) para la regulación de un ángulo de inclinación de palas (21) del rotor (2), presentando el sistema de control (3) una entrada para una reserva de potencia requerida y determinando el mismo en dependencia de un punto de funcionamiento del aerogenerador un ángulo de inclinación teórico, previéndose además un regulador de inclinación secundario que comprende un módulo offset dinámico y que se diseña para determinar un valor para un ajuste del ángulo de inclinación, estando el sistema de control dotado de un elemento sumador (40) que varía el ángulo de inclinación teórico en un ajuste de ángulo de inclinación, caracterizado por que el regulador de inclinación secundario comprende un detector (43) para una potencia disponible y por que al módulo offset dinámico se aplican señales de entrada para la potencia disponible determinada por el detector, la reserva de potencia requerida y la energía eléctrica producida.
- 10
- 15 2. Aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado por que el detector (43) presenta un módulo de estimación de viento (41) configurado para determinar a base de la velocidad del viento estimada la potencia disponible por medio de un modelo.
- 20 3. Aerogenerador según la reivindicación 2, caracterizado por que se prevé un elemento de determinación (42) para la energía eléctrica producida que se basa en un modelo.
- 25 4. Aerogenerador según la reivindicación 3, caracterizado por que el elemento de determinación (42) se basa en el mismo modelo que el detector (43).
- 30 5. Aerogenerador según una de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado por que el modelo se basa en una fórmula.
- 35 6. Aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el módulo offset dinámico (44) presenta un regulador I.
- 40 7. Aerogenerador según la reivindicación 6, caracterizado por que el modelo offset dinámico (44) presenta una salida a la que se acopla la potencia de regulación y que como señal de corrección se aplica al sistema de control de funcionamiento (3).
- 45 8. Parque eólico con varios aerogeneradores según la reivindicación 1, caracterizado por que un módulo compensador (54) que se encarga de una distribución de la potencia de regulación entre los aerogeneradores por medio de su potencia nominal se dispone en un parkmaster (5) al que se conecta el aerogenerador.
- 50 9. Parque eólico según la reivindicación 8, caracterizado por que el módulo compensador (54) se concibe para hacer funcionar algunos de los aerogeneradores (1') del parque eólico en régimen de barrena y para recurrir preferiblemente a éstos para la potencia de regulación.
10. Parque eólico según la reivindicación 8 ó 9, caracterizado por que en el parkmaster (5) se prevé además el módulo offset dinámico (44).
11. Parque eólico según una de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado por que el módulo compensador (54) interactúa con un módulo de ponderación (55) que sirve para distribuir la potencia de regulación según la disponibilidad de los aerogeneradores.
12. Parque eólico según una de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizado por que se prevé un módulo estático (58) que en dependencia de una diferencia entre una frecuencia de red real y una frecuencia de red teórica aumenta o reduce la potencia de regulación.

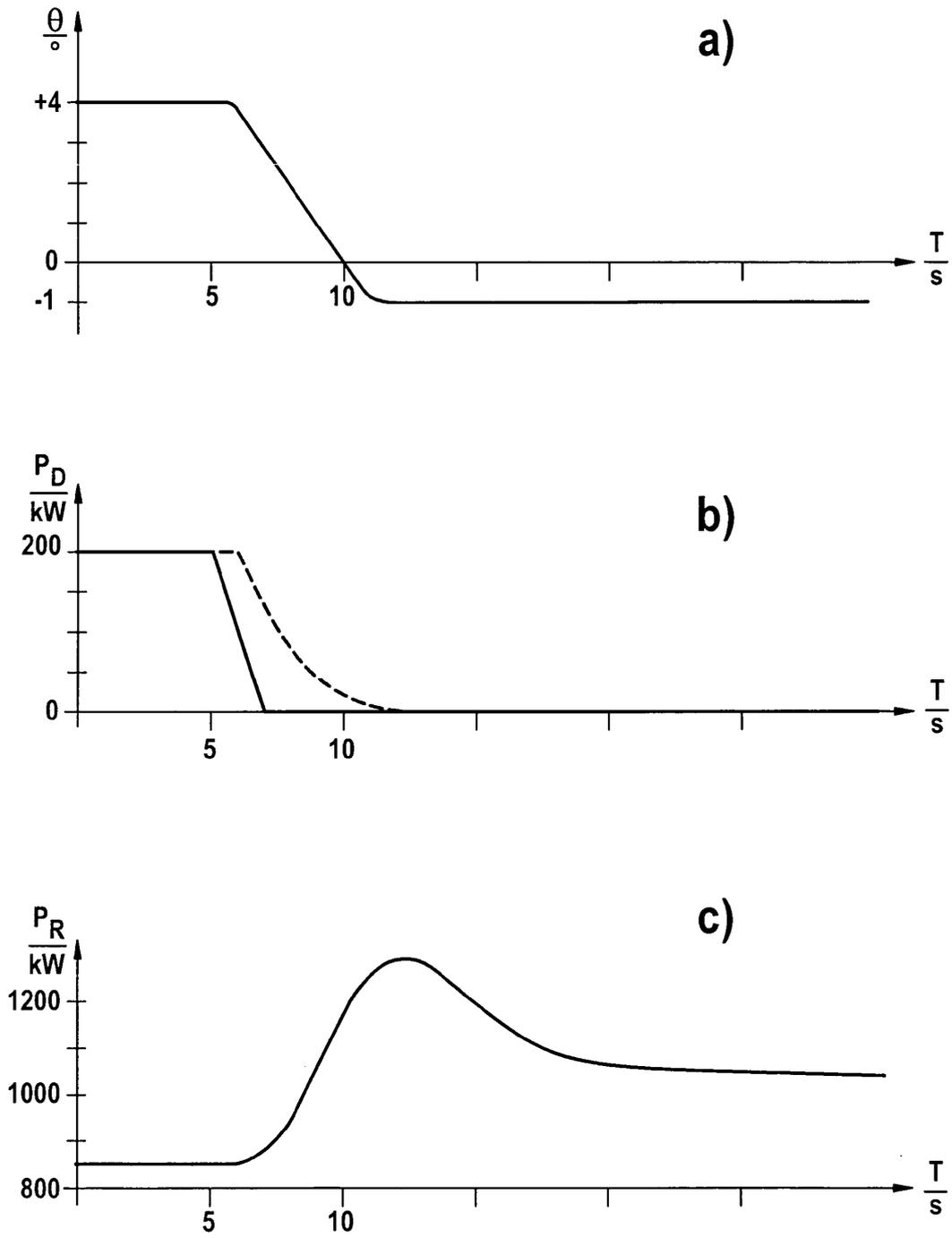


Fig. 3

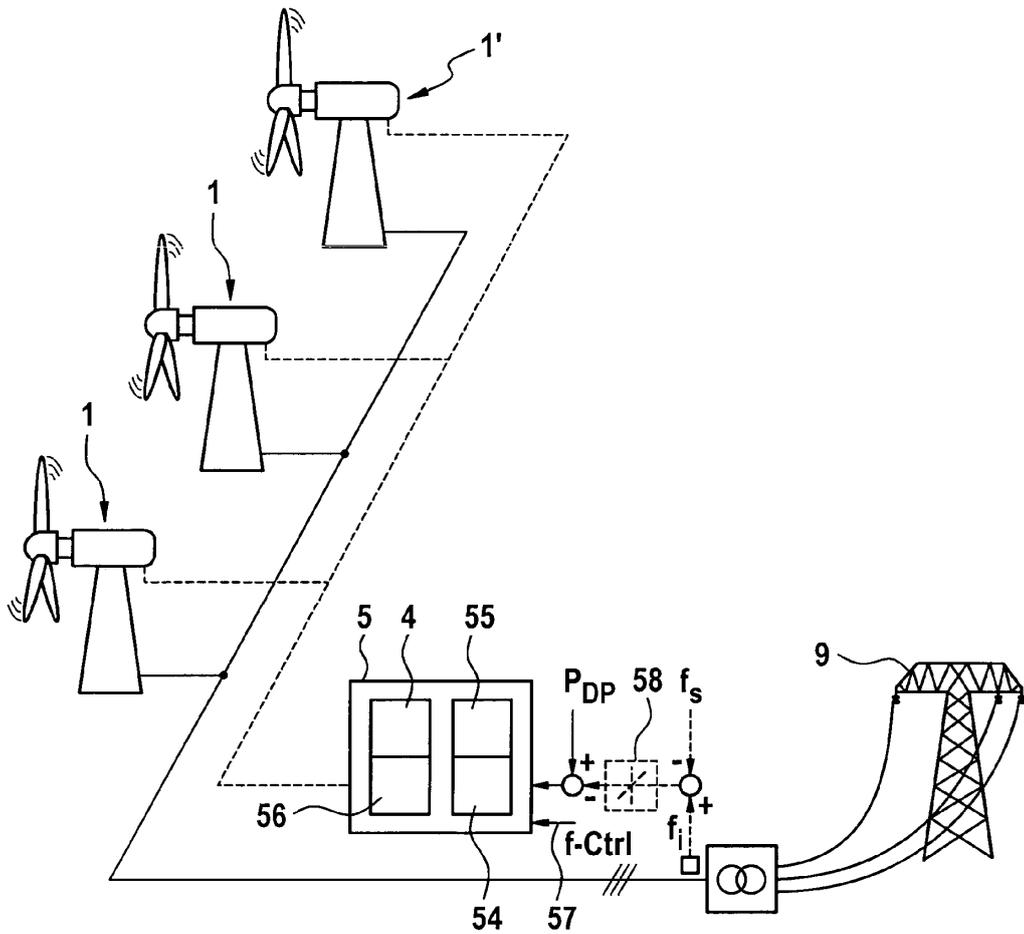


Fig. 4

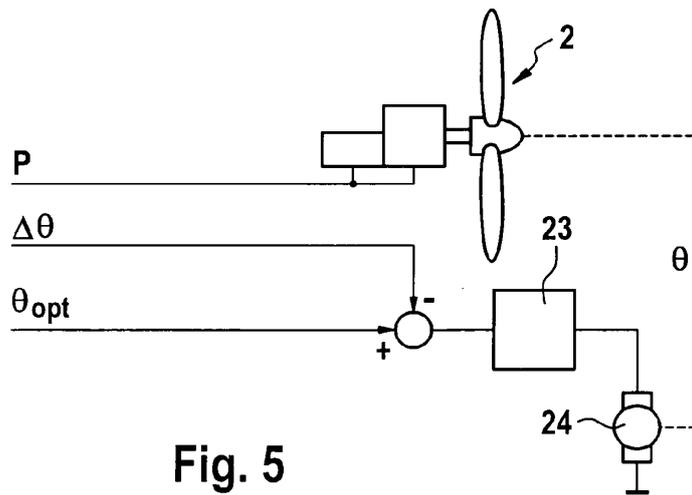


Fig. 5