

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 982**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

G01W 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.09.2012 PCT/EP2012/003791**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.03.2013 WO13041192**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2012 E 12769905 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 2758659**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador**

30 Prioridad:
22.09.2011 DE 102011083178

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.05.2018

73 Titular/es:
**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:
**BÖHME, SEBASTIAN y
GOLLNICK, BERT**

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 669 982 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 de un aerogenerador

5 La invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador con al menos una pala de rotor, cuyo ángulo de pala se puede ajustar, haciéndose funcionar el aerogenerador con un rendimiento energético teórico reducido que se puede preestablecer.

10 Durante el funcionamiento de aerogeneradores puede suceder que el rendimiento de los aerogeneradores tenga que reducirse debido a requisitos externos, por ejemplo, del proveedor de red, o debido a fallos de funcionamiento. En caso de una reducción de la potencia del aerogenerador no provocada por el operador del aerogenerador, sino, por ejemplo, por el proveedor de red, es necesario cuantificar el rendimiento energético perdido, dado que, por regla general, alguien tiene que hacerse cargo de los pagos de compensación por este rendimiento no conseguido.

15 Si existe una torre de medición de viento en las proximidades del aerogenerador o de un parque de aerogeneradores, el potencial de rendimiento del aerogenerador podría calcularse en virtud de la curva de rendimiento existente del aerogenerador durante el funcionamiento normal optimizado del aerogenerador, midiendo una velocidad real del viento y transfiriéndola a la curva de potencia o a la curva de rendimiento energético del aerogenerador si el aerogenerador funciona con un rendimiento energético teórico reducido. Con esta finalidad habría que medir el rendimiento energético real que se obtiene como consecuencia de la reducción deseada o preestablecida. Si se conoce la fuerza real del viento, el potencial de rendimiento se determina a través de la curva de potencia o la curva de rendimiento energético del aerogenerador durante el funcionamiento normal a una potencia optimizada y se establece de forma correspondiente la diferencia entre estos dos rendimientos energéticos, concretamente el potencial de rendimiento del aerogenerador, que corresponde al rendimiento energético que el aerogenerador habría alcanzado durante un funcionamiento normal a una potencia optimizada y la velocidad actual del viento, y el rendimiento energético reducido realmente medido en virtud del rendimiento energético teórico reducido preestablecido. Esta diferencia corresponde a la pérdida de rendimiento y tendría que ser reembolsada, por ejemplo, por el operador de red al operador del aerogenerador.

25 Sin embargo, normalmente no existe ninguna torre de medición de viento cerca de un aerogenerador o de un parque de aerogeneradores o una torre de medición de viento sólo proporcionaría información aproximada sobre la velocidad real del viento en un aerogenerador si, por ejemplo, el viento no incide libremente en el aerogenerador o si el viento no incide libremente en la torre de medición de viento o si predominan vientos turbulentos.

30 La idea de utilizar un anemómetro de góndola de la instalación de potencia reducida o del aerogenerador, que funciona con un rendimiento energético teórico reducido predeterminable, tampoco resulta adecuada, dado que el rotor distorsiona en gran medida la medición del anemómetro. Para el funcionamiento normal del aerogenerador a una potencia optimizada se utilizan, con este fin, correcciones anemométricas estáticas que, sin embargo, no pueden aplicarse a los valores de medición del anemómetro si el aerogenerador funciona con un rendimiento energético teórico reducido predeterminable, es decir, fuera del funcionamiento normal a una potencia optimizada.

35 El documento DE 10 2009 037 239 A1 se refiere a un aerogenerador con un generador accionado por un rotor para la generación de energía eléctrica y con un sistema de control que presenta un módulo de paso para ajustar el ángulo de paso de las palas del rotor. El sistema de control presenta una entrada para una reserva de potencia requerida. En función de un punto de funcionamiento del aerogenerador, el sistema de control determina un ángulo de paso teórico. Se prevé además un regulador de paso secundario que comprende un detector para una potencia disponible, así como un módulo de compensación dinámico. Las señales de entrada se aplican al módulo de compensación dinámico para la reserva de potencia disponible determinada por el detector, para la potencia requerida y para la potencia eléctrica generada. El módulo de compensación dinámico se configura además para determinar un valor para una compensación del ángulo de paso. Además se prevé un elemento de conmutación que cambia el ángulo de paso teórico en la compensación del ángulo de paso.

40 En el documento EP 2 020 506 A2 se puede ver un procedimiento para la determinación de una reserva de control de uno o varios aerogeneradores. Los aerogeneradores reciben un valor teórico para al menos una magnitud eléctrica para su funcionamiento. Para los aerogeneradores se prevé una unidad de control que presenta una curva de potencia que contiene un valor máximo de la magnitud eléctrica en dependencia de los valores del viento. La unidad de control determina por medio de la curva de potencia a partir del valor real del viento, un valor máximo de la magnitud eléctrica y le resta un valor actual de la magnitud eléctrica. La unidad de control transmite el valor máximo determinado y/o la diferencia como reserva de control a una unidad de control superior y/o a una compañía externa de suministro de energía.

45 Del documento WO 01/25630 A1 se deduce un procedimiento para el funcionamiento de un parque eólico compuesto de al menos dos aerogeneradores. La potencia transmitida por los aerogeneradores está limitada en su cantidad a un valor de alimentación a la red máximo posible que es inferior al valor máximo posible de la potencia a transmitir. El valor de alimentación máximo posible está determinado por la capacidad de absorción de la red a la que se aporta la energía. También se prevé que el valor de alimentación máximo posible esté determinado por la capacidad de potencia de la unidad de transmisión de potencia o del transformador con el que la energía generada por el aerogenerador se aporta a la red.

El documento WO2013/029993 representa un estado actual de la técnica según el artículo 54(3) del CPE (Convenio de Patentes Europeo) y revela un procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador con un rendimiento energético teórico reducido predeterminable, determinándose la pérdida de rendimiento entre un potencial de rendimiento y el rendimiento energético teórico. El potencial de rendimiento se determina por medio de una curva característica para un parámetro regulado dependiente del ángulo de pala y para una velocidad del viento medida.

La tarea de la presente invención consiste en solventar este inconveniente del estado de la técnica y en proponer un procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador con al menos una pala de rotor, cuyo ángulo de pala se puede ajustar, haciéndose funcionar el aerogenerador con un rendimiento energético teórico reducido predeterminable, de manera que sea posible determinar con más precisión una pérdida de rendimiento del aerogenerador o de un parque de aerogeneradores.

Esta tarea se resuelve con un procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador con al menos una pala de rotor, cuyo ángulo de pala se puede ajustar, haciéndose funcionar el mismo con un rendimiento energético teórico reducido predeterminable, estableciéndose un potencial de rendimiento para la determinación una pérdida de rendimiento, midiéndose para la determinación del potencial de rendimiento al menos un parámetro de funcionamiento predeterminable del aerogenerador y aplicándose a al menos una curva característica almacenada para el rendimiento energético teórico reducido, determinándose, por otra parte, el rendimiento de energía real y resultando la pérdida de rendimiento a partir de la diferencia del potencial de rendimiento y del rendimiento de energía real, previéndose como parámetro de funcionamiento predeterminable un parámetro dependiente de la potencia, un parámetro dependiente de la rotación, un parámetro dependiente del ángulo de pala y/o un parámetro dependiente de la velocidad del viento, determinándose el potencial de rendimiento por medio de una curva característica para el rendimiento de energía teórico reducido predeterminable y para un parámetro medido dependiente de la rotación y para un parámetro medido dependiente del ángulo de pala.

En el procedimiento según la invención, el término "rendimiento energético teórico reducido predeterminable" también incluye una potencia reducida predeterminable durante un período de tiempo. Un "potencial de rendimiento" en el marco de la invención es en especial un posible rendimiento energético del aerogenerador, en la medida en la que éste funcione normalmente a una potencia optimizada como se representa, por ejemplo, en la figura 14.2 del libro de texto Erich HAU "Windkraftanlagen Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit", 4ª edición, Editorial Springer 2008, página 542, de, por ejemplo, 22 rpm. El potencial de rendimiento es, por consiguiente, la potencia correspondiente transmitida durante un período de tiempo determinado. Una pala de rotor con un ángulo de pala regulable incluye en el marco de la invención una pala de rotor que puede girar especialmente sobre su eje longitudinal.

La curva característica almacenada prevista según la invención es una curva característica relacionada con al menos un parámetro de funcionamiento del aerogenerador en un funcionamiento fuera de un funcionamiento normal a una potencia optimizada en el que el aerogenerador funciona con un rendimiento energético teórico reducido. Adicionalmente se almacena una curva característica que se aplica al funcionamiento normal a una potencia optimizada. En este caso se entiende especialmente una curva característica de corrección del anemómetro para el funcionamiento normal a una potencia optimizada.

Como parámetro de funcionamiento predeterminable o como parámetros de funcionamiento predeterminables se prevé o prevén un parámetro dependiente de la potencia, un parámetro dependiente de la rotación, un parámetro dependiente del ángulo de pala y/o un parámetro dependiente de la velocidad del viento.

En una primera forma de realización especialmente preferida se prevé como parámetro dependiente de la velocidad del viento una velocidad del viento medida mediante un anemómetro de góndola del aerogenerador que se transforma en una velocidad del viento real y/o un potencial de rendimiento con una curva característica almacenada para el rendimiento energético teórico reducido preestablecido. En este concepto se utiliza preferiblemente una pluralidad de curvas características de corrección del anemómetro para diferentes grados de reducción de potencia o rendimientos energéticos teóricos reducidos preestablecidos. El parámetro de funcionamiento que se mide es la velocidad del viento medida con el anemómetro de góndola. Éste se determina a través de una curva característica que se ha establecido de antemano en una medición de referencia y que se prevé como una especie de función de corrección para la señal del anemómetro de góndola en función del grado de reducción de potencia o de la reducción del rendimiento energético teórico. Las correcciones del valor de medición de este tipo de los valores de medición del anemómetro son necesarias, dado que el rotor distorsiona la medición del anemómetro de góndola en dependencia de la energía que recibe del viento. La curva característica para un rendimiento energético teórico reducido predeterminable podría ser, por ejemplo, la limitación del rendimiento energético o de la potencia a un 90% o un 75% o un 50% o un 25% de la potencia nominal o del potencial de rendimiento. Por lo tanto, resulta conveniente prever un conjunto de curvas características para medir de antemano una curva característica adecuada en caso de una reducción del rendimiento energético teórico.

Una forma de realización especialmente ventajosa prevé utilizar un conjunto de al menos tres curvas características en las que una curva característica es válida para el funcionamiento normal a una potencia optimizada, siendo válida, por otra parte, una segunda curva característica para el funcionamiento sin potencia o prácticamente sin potencia, por ejemplo, con menos del 10% del potencial de rendimiento actual. Al menos otra curva característica se encuentra entre la primera y la segunda curva característica durante el funcionamiento con un rendimiento energético teórico reducido preestablecido.

5 Las curvas características de este tipo para la corrección de la señal de medición del anemómetro de góndola pueden medirse en una medición de referencia. Ésta puede haberse llevado a cabo en un prototipo del aerogenerador o en otra instalación de referencia o alternativamente también en el propio aerogenerador, por ejemplo, mediante la puesta a disposición de una señal del anemómetro calibrada, por ejemplo, a través de una torre de medición instalada especialmente de forma temporal o de un aerogenerador de referencia adyacente que, por su parte, ya ha sido medido.

Por medio de una curva característica se determina el potencial de rendimiento para el rendimiento energético teórico reducido predeterminado y para un parámetro medido dependiente de la rotación y para un parámetro medido dependiente del ángulo de pala.

10 En el procedimiento según la invención, el potencial de rendimiento del aerogenerador con un rendimiento energético teórico reducido predeterminable o predeterminado se determina a partir de los datos del rotor. En este caso se utilizan especialmente los campos de curvas características previstos para el rotor con un rendimiento energético teórico reducido correspondiente. La velocidad real del viento o el potencial de rendimiento se determina, por consiguiente, a partir de un parámetro medido dependiente de la rotación como, por ejemplo, la velocidad, y de
15 un parámetro medido dependiente del ángulo de pala como, por ejemplo, el ángulo de la pala.

Si los datos del rotor se utilizan para determinar el potencial de rendimiento, las curvas características se pueden determinar preferiblemente a partir de mediciones de referencia. No obstante, también es posible preferentemente determinar las curvas características mediante cálculos de simulación.

20 Con preferencia se determinan un parámetro dependiente de la potencia y un parámetro dependiente de la rotación y un parámetro dependiente del ángulo de pala, midiéndose al menos uno de los tres parámetros citados. De este modo es posible llevar a cabo una determinación muy precisa del potencial de rendimiento.

25 Si la especificación de la potencia o el rendimiento energético teórico reducido es el 0% de la potencia nominal, se puede conseguir un procedimiento preferido especialmente sencillo ajustando un ángulo de pala constante o controlándolo a una velocidad de rotor constante, de manera que sea posible determinar una velocidad real del viento y, por lo tanto, un potencial de rendimiento durante el ajuste de un ángulo de pala constante a partir de la velocidad del rotor y, a la inversa, que también sea posible determinar una velocidad real del viento o el potencial de rendimiento a una velocidad predeterminada del rotor a controlar a través del ángulo de pala ajustado a tal efecto. Este aspecto se tratará a continuación con mayor detalle especialmente haciéndose referencia a las figuras.

30 Preferiblemente, la al menos una curva característica almacenada del aerogenerador o de un aerogenerador correspondiente a esta energía eólica está determinada o se determina por medio de al menos una medición de referencia y de una señal calibrada del rendimiento energético y/o de la velocidad del viento. Como ya se ha indicado antes, la señal calibrada de la velocidad del viento se puede determinar, por ejemplo, a partir de una torre de medición en las proximidades del aerogenerador o, si el aerogenerador aún no se ha montado, en el emplazamiento del aerogenerador. La señal calibrada de la velocidad del viento también se puede determinar a
35 partir de un aerogenerador adyacente ya calibrado en el que el viento incide libremente.

Preferiblemente se prevé un conjunto de curvas características para distintos rendimientos energéticos teóricos reducidos preestablecidos. De este modo se consigue que el procedimiento sea muy preciso para diferentes rendimientos energéticos teóricos reducidos. En caso de un rendimiento energético teórico reducido predeterminado, la interpolación se realiza con preferencia entre las curvas características. Aquí, la interpolación se puede obtener de
40 forma lineal, cuadrada o, por ejemplo, mediante Splines con funciones que también contienen la tercera potencia.

Preferiblemente se prevé una potencia o un par de giro como parámetro dependiente de la potencia, una velocidad o una fuerza centrífuga como parámetro dependiente de la rotación y/o un ángulo de pala o una diferencia de presión en una pala de rotor como parámetro dependiente del ángulo de pala. También se pueden definir otras magnitudes de medición como parámetros correspondientes que, con las conversiones correspondientes a los parámetros
45 deseados, son equivalentes al parámetro dependiente de la potencia, al parámetro dependiente de la rotación o al parámetro dependiente del ángulo de pala.

Un procedimiento para el funcionamiento de un parque de aerogeneradores con varios aerogeneradores se configura preferentemente de manera que al menos un aerogenerador del tipo antes mencionado funcione de acuerdo con un procedimiento como el anteriormente descrito.

50 El procedimiento para el funcionamiento de un parque de aerogeneradores resulta especialmente preferido y sencillo si el al menos un aerogenerador funciona sin potencia o con un rendimiento energético teórico reducido preestablecido del 0% y los demás aerogeneradores del parque de aerogeneradores funcionan normalmente a una potencia optimizada. Un funcionamiento sin potencia de un aerogenerador o un funcionamiento de un aerogenerador con un rendimiento energético teórico reducido predeterminado del 0% es, en el marco de la invención, un
55 funcionamiento en el que el rotor del aerogenerador gira alrededor de su eje horizontal sin aportar energía a una red.

Si el parque de aerogeneradores presenta, por ejemplo, 10 aerogeneradores y se pretende poner a disposición una reducción del 10% de la potencia nominal o del potencial de rendimiento nominal, uno de los aerogeneradores del parque de aerogeneradores podría funcionar sin potencia y el resto normalmente a una potencia optimizada, por lo que se obtendría una potencia nominal del parque de aerogeneradores del 90% del potencial de rendimiento o de la

potencia nominal total. El aerogenerador accionado sin potencia o con un rendimiento energético teórico reducido del 0% también puede utilizarse simplemente para determinar la velocidad real del viento. Esta posibilidad también se explicará más adelante.

5 Este procedimiento preferido es especialmente preciso si el parque de aerogeneradores presenta muchos aerogeneradores, por ejemplo, más de 20 aerogeneradores. En este caso, es posible un ajuste muy preciso de la potencia del parque o del rendimiento energético del parque, siendo también posible determinar el potencial de rendimiento de estos aerogeneradores con gran exactitud y facilidad a través del aerogenerador o de los aerogeneradores que funcionan con un rendimiento energético teórico reducido del 0%.

10 Preferiblemente, el aerogenerador sin potencia se ajusta a un ángulo de pala preestablecido de al menos una pala de rotor y el potencial de rendimiento se determina por medio de una curva característica a partir de la velocidad medida o determinada. Alternativamente, el aerogenerador que funciona sin potencia se ajusta o controla preferentemente a una velocidad predeterminada, determinándose el potencial de rendimiento mediante una curva característica sobre la base del ángulo de pala medido o determinado de las palas de rotor o de la pala de rotor del aerogenerador.

15 Otra forma de realización ventajosa prevé en un parque eólico la posibilidad de hacer funcionar fundamentalmente todas las instalaciones por igual con un rendimiento energético teórico reducido. Esto tiene la ventaja de que la potencia del parque eólico se puede ajustar sin escalonamientos, por ejemplo, si se formulan requisitos especialmente precisos a la exactitud de la reducción del rendimiento energético demandada. Además, este procedimiento tiene la ventaja de que todos los aerogeneradores del parque eólico envejecen uniformemente. Sin embargo, en el caso de la reducción uniforme del rendimiento energético teórico con todos los aerogeneradores, la determinación de la pérdida de rendimiento no es tan fácil como en el caso de un funcionamiento sin potencia.

20 Preferiblemente se mide para cada aerogenerador un parámetro dependiente de la velocidad del viento y se aplica a una serie de curvas características almacenadas o se determina o mide un parámetro dependiente de la potencia y un parámetro dependiente de la rotación y un parámetro dependiente del ángulo de pala, midiéndose al menos uno de los tres parámetros citados en último lugar. Esta última forma de realización se basa en el conocimiento de que para la determinación más precisa del potencial de rendimiento del rotor eólico resulta útil conocer estos tres parámetros. No obstante, en virtud de la práctica de la técnica de control de los aerogeneradores, puede ser suficiente medir sólo uno o dos de estos tres parámetros. Esto se aplica en especial a los aerogeneradores en los que el regulador establece curvas características fijas como, por ejemplo, el par de giro en dependencia constante del ángulo de pala o el ángulo de pala del rotor en dependencia de la potencia del generador. En este caso, una parte de los parámetros se puede determinar sin medición, siendo sólo necesaria la medición de los parámetros libres desconocidos, a fin de establecer los tres parámetros para la determinación del potencial de rendimiento.

35 Según un ejemplo se propone un procedimiento para la determinación de la pérdida de rendimiento de un aerogenerador, que funciona a una potencia reducida en una medida preestablecida, con al menos una pala de rotor con ajuste del ángulo de pala mediante la determinación de las curvas características de los parámetros de funcionamiento o de las curvas características en función del grado de reducción de potencia en al menos una medición de referencia por medio de una señal calibrada del rendimiento energético o de la velocidad del viento, transmitiéndose o almacenándose la curva característica o las curvas características a o en una memoria de datos asignada al aerogenerador, llevándose a cabo un potencial de rendimiento del aerogenerador mediante la medición de parámetros de funcionamiento en el aerogenerador y la aplicación de la curva característica almacenada o de las curvas características almacenadas en función del grado de reducción de potencia, determinándose el rendimiento energético disponible mediante la medición de los parámetros de funcionamiento en el aerogenerador, por ejemplo, de la potencia transmitida, y determinándose la pérdida de rendimiento del aerogenerador a partir de la diferencia del potencial de rendimiento y de la entrada de energía existente o del rendimiento energético.

45 El potencial de rendimiento también puede realizarse, por ejemplo, mediante la determinación de una velocidad estimada del viento que puede convertirse en el potencial de rendimiento por medio de una curva de potencia o de una curva de rendimiento del aerogenerador. Una señal calibrada de la velocidad del viento proviene preferiblemente de una torre de medición con sensores de viento calibrados, aunque también puede ponerse a disposición mediante una señal calibrada del rendimiento energético o de la velocidad del viento de un aerogenerador adyacente en el que el viento incide libremente. Según la invención, la potencia es preferentemente la potencia generada. Sin embargo, en este caso también puede tratarse de la potencia mecánica en el rotor, por ejemplo, una potencia determinada por una detección del par de giro de un eje de rotor. Por consiguiente, también se habla de rendimiento energético cuando se nombra una potencia determinada, representando el rendimiento energético la potencia correspondiente durante un período de tiempo determinado y, concretamente, según la fórmula conocida $\text{energía} = \text{potencia} \times \text{tiempo}$.

50 En la descripción de formas de realización según la invención, junto con las reivindicaciones y los dibujos adjuntos, se pueden ver otras características de la invención. Las formas de realización según la invención pueden cumplir características individuales o una combinación de varias características.

60 La invención se describe a continuación sin limitación de la idea general de la invención por medio de ejemplos de realización en relación con los dibujos, haciéndose referencia expresa a los dibujos con respecto a todos los detalles según la invención no explicados con mayor detalle en el texto. Se muestra en la:

Figura 1 un diagrama esquemático de la velocidad del generador por encima de la velocidad del viento de un aerogenerador sin potencia,

Figura 2 una representación esquemática del ángulo de pala por encima de la velocidad del viento a una velocidad de generador constante,

5 Figura 3 una representación esquemática de un conjunto de curvas características con diferentes rendimientos energéticos teóricos predeterminados,

Figura 4 una representación esquemática de un diagrama de la velocidad del rotor a lo largo del tiempo con viento turbulento con una velocidad del viento de 15 m/s y un ángulo de pala de 30° aproximadamente,

10 Figura 5 una representación esquemática tridimensional de un diagrama con curvas características correspondientes con las coordenadas ángulo de pala, potencial de rendimiento, velocidad, y

Figura 6 una representación esquemática de curvas características para la adaptación de la velocidad del viento medida a la velocidad del viento real.

En los dibujos, los elementos y/o piezas respectivamente idénticas o similares se dotan de los mismos números de referencia, por lo que no es necesaria una nueva presentación en cada caso.

15 La figura 1 muestra esquemáticamente un diagrama de velocidades en vacío de un aerogenerador que funciona con un rendimiento energético teórico reducido del 0% de la potencia nominal o del rendimiento energético nominal del aerogenerador. La velocidad del generador en revoluciones/min se representa con Y1 y la velocidad del viento en m/s se representa con X1. En la figura 1 se muestra además la velocidad nominal 10 a 1.800 revoluciones/min y una gama de velocidades prohibida 11, así como una gama de velocidades prohibida 12. La gama de velocidades prohibida 11 está prohibida en caso de un aerogenerador que funciona sin potencia, dado que de lo contrario se obtendrían con demasiada rapidez velocidades peligrosamente altas con elevadas fuerzas centrífugas. La gama de velocidades prohibida 12 se debe a las resonancias propias del aerogenerador. Durante el funcionamiento conviene pasar rápidamente por la gama de velocidades prohibida 12.

20

La figura 1 muestra que en diferentes ángulos de pala o ángulos de paso, las velocidades en vacío aumentan fundamentalmente de forma lineal desde velocidades de viento bajas hasta velocidades de viento altas.

25

El número de referencia 13 indica un desarrollo de la velocidad en vacío con un ángulo de pala α de 20°, el número de referencia 14 con un ángulo de pala α de 30°, el número de referencia 15 con un ángulo de pala α de 40°, el número de referencia 16 con un ángulo de pala α de 50°, el número de referencia 17 con un ángulo de pala α de 60°, el número de referencia 18 con un ángulo de pala α de 70° y el número de referencia 19 con un ángulo de pala α de 80°. Se puede ver que los ángulos de pala de 70° u 80° o los ángulos de pala intermedios resultarían muy adecuados para sacar conclusiones respecto a una velocidad del viento partiendo de la velocidad del generador. Así, en caso de un aerogenerador que funciona sin potencia o de un aerogenerador que funciona con un rendimiento energético teórico reducido predeterminable del 0% de la potencia nominal, el rotor se utiliza como un buen indicador de la velocidad real del viento. El potencial de rendimiento se puede comprobar a partir de la velocidad real del viento determinada a través de la curva característica de potencia del aerogenerador durante el funcionamiento normal a una potencia optimizada. Por ejemplo, la curva 18 de la figura 1 es la curva característica almacenada para el rendimiento energético teórico reducido del 0% y el parámetro de funcionamiento predeterminable a medir del aerogenerador es la velocidad del generador. De este modo resulta la velocidad real del viento en el emplazamiento del aerogenerador, resultando de la misma el potencial de rendimiento a la velocidad real del viento así medida por medio de la curva característica del aerogenerador que se almacena durante el funcionamiento normal a una potencia optimizada.

30

35

40

La figura 2 muestra una representación esquemática de un diagrama de la velocidad del viento o de la velocidad real del viento Y2 en m/s por encima del ángulo de pala X2 en grados. Se representan los valores de medición correspondientes 20 a 20^{IV} y una línea recta de compensación 21 para estos valores de medición, dado que éstos se encuentran fundamentalmente en una línea recta. También se puede prever otra función para adaptar los valores de medición, a fin de prever una interpolación posiblemente más precisa de los valores de medición. En este caso puede tratarse de una función cuadrada o de una función con una tercera potencia. Una curva como ésta se dibuja en la figura 2 como una línea fina. En este caso, el aerogenerador se ajusta o controla, por ejemplo, a una velocidad de generador de 1.100 revoluciones/min. Con esta velocidad del generador regulada o ajustada a este valor, es posible sacar conclusiones, a través del ángulo de pala necesario para ajustar la velocidad, respecto a la velocidad del viento, es decir, respecto a la velocidad real del viento. En este procedimiento, el rango de trabajo de la velocidad del generador puede estar tanto por debajo, como también por encima de la banda de velocidad crítica 12 de la figura 1.

45

50

Para comprobar si este procedimiento también funciona en caso de viento turbulento, se realizó una simulación con un viento de 15 m/s ajustado a modo de viento turbulento, contando con un ángulo de pala de aproximadamente 30°. Con esta finalidad se representa en la figura 4 un diagrama esquemático en el que la velocidad del rotor Y3 en revoluciones/min a lo largo del tiempo X3 se representa en segundos. La curva 25 muestra la variación de la velocidad del rotor a lo largo del tiempo. En el caso del aerogenerador utilizado aquí para la simulación, concretamente el MM82 de la solicitante, la velocidad nominal es de 17,07 revoluciones/min. La desviación estándar

55

en la simulación fue de 0,8 revoluciones/min y la velocidad máxima de 13,1 revoluciones/min. Esto significa que en este procedimiento tampoco es de esperar un exceso de velocidad, a pesar de que el aerogenerador también funciona sin potencia como en el ejemplo anterior.

5 En el ejemplo de realización según la figura 2 también se puede ver de nuevo, como en la figura 1, que la velocidad real del viento, análogamente al ejemplo descrito en relación con la figura 1, conduce a un potencial de rendimiento.

Para prever un valor más exacto o un valor menos fluctuante del potencial de rendimiento, se puede prever realizar una media de los valores de medición correspondientes a lo largo de un período de tiempo determinado como, por ejemplo, una media de diez segundos, una media de veinte segundos o una media de uno o cinco minutos o una media de diez o quince minutos.

10 La figura 3 muestra esquemáticamente distintas curvas características con los correspondientes rendimientos energéticos teóricos o potencias teóricas predeterminadas y, más en concreto, un diagrama de la velocidad del viento Y2 en m/s sobre un ángulo de pala X2 en grados. La curva característica 24 es una curva característica a una potencia nominal. La curva característica 23 es una curva con una potencia nominal del 80 % o con un rendimiento energético teórico reducido predeterminable del 80 % del rendimiento energético nominal y la curva característica 22 es una curva característica con una potencia nominal del 60 % o un rendimiento energético teórico reducido predeterminable del 60 % del rendimiento energético nominal. Aquí también se puede determinar la velocidad real del viento de manera análoga a la de la figura 2 en función del rendimiento energético teórico reducido predeterminado. La interpolación puede tener lugar en caso de rendimientos energéticos teóricos que se encuentran entre estas curvas características. Sin embargo, resulta preferible medir y almacenar previamente una serie de curvas características, de manera que sea posible poner a disposición y utilizar el mayor número posible de curvas características para diferentes rendimientos energéticos teóricos.

15 En la figura 5 se representa un diagrama esquemático tridimensional, siendo X4 el ángulo de pala, Y4 el potencial de rendimiento y Z4 la velocidad. En este diagrama esquemático tridimensional también se prevé un conjunto de curvas, concretamente el conjunto 30, 30', 30", 30''' para curvas características con un rendimiento energético teórico reducido a un 60% y 31, 31', 31" y 31''' para un rendimiento energético teórico reducido a un 80%. Por medio de este conjunto de curvas características se pueden sacar conclusiones directamente respecto al potencial de rendimiento Y4. Por ejemplo, si el rendimiento energético teórico se reduce al 60%, es posible medir el ángulo de pala y la velocidad del aerogenerador y determinar directamente a partir de los mismos el potencial de rendimiento Y4. Para ello, resulta preferible almacenar aún más curvas o curvas características en el aerogenerador o asignarlas al aerogenerador. Si se pretende medir un ángulo de pala y/o una velocidad que no se encuentran directamente en una curva característica almacenada, también se puede llevar a cabo una interpolación entre las curvas características almacenadas.

20 La figura 6 muestra esquemáticamente un diagrama que puede utilizarse, por ejemplo, para la corrección de las mediciones de viento del anemómetro de góndola con diferentes grados de reducción de potencia o con rendimientos energéticos teóricos reducidos. La velocidad real del viento Y5 se traza por encima de la velocidad del viento medida en el anemómetro de góndola X5. En caso de un valor de medición 32 de la velocidad del viento en el anemómetro de góndola, la curva característica de, por ejemplo, un 50% de la potencia nominal 35 se puede utilizar para calcular una velocidad real del viento 33. De forma correspondiente, con una potencia reducida del 80% de la potencia nominal o con un rendimiento energético teórico reducido del 80% del rendimiento energético nominal, lo que se representa a través de la curva característica 36, resultaría una velocidad real del viento de 34 con un valor de medición de 32. El potencial de rendimiento puede deducirse de nuevo a partir de esta velocidad real del viento a través de la curva característica de potencia del aerogenerador durante un funcionamiento normal a una potencia optimizada.

25 Por lo tanto, para utilizar todo el rotor como anemómetro se asignan o almacenan curvas características del aerogenerador que representan una relación entre el potencial de rendimiento o la velocidad real del viento y una función o una curva característica o un conjunto de curvas características que dependen del ángulo de pala y de la velocidad y, eventualmente, de ajustes especiales del regulador. En lugar del ángulo de pala, de la velocidad y del potencial de rendimiento o de la potencia y también de la velocidad del viento, también pueden medirse otros parámetros que, por ejemplo, ya se han indicado anteriormente y que corresponden directa o indirectamente a la potencia de salida, al ángulo de pala y a la velocidad.

30 Si, por ejemplo, el operador de red preestablece que un parque de aerogeneradores o un aerogenerador sólo debe suministrar el 80% de la potencia nominal durante un cierto período de tiempo, el aerogenerador puede funcionar a velocidades de viento bajas, es decir, un funcionamiento a carga parcial, comenzando con un funcionamiento normal a una potencia optimizada, concretamente con un funcionamiento a carga parcial en la curva característica. Sólo cuando se alcanza el 80% de la potencia nominal o de una velocidad real del viento, lo que daría lugar a un rendimiento superior al 80% de la potencia nominal, deben tomarse medidas de reducción de potencia o de rendimiento energético. A continuación, se determina un potencial de rendimiento para una reducción de potencia preestablecida o para un rendimiento energético teórico reducido preestablecido por medio de campos de curvas características medidos en un aerogenerador prototipo o en el aerogenerador disponible y almacenados en una memoria de datos asignada al aerogenerador. En este caso, la potencia de salida, el ángulo de pala, la velocidad, el potencial de rendimiento y/o la velocidad del viento se determinan mediante una interpolación multidimensional en un campo de curvas características asignado en función de los parámetros de funcionamiento del aerogenerador.

Para ello se mide con preferencia un número suficiente de curvas características para que la interpolación presente una precisión correspondientemente alta. Las curvas características medidas se almacenan preferiblemente en una memoria de datos.

5 En lugar de los parámetros de funcionamiento citados, también se pueden medir naturalmente otros parámetros físicamente relacionados con los parámetros de potencia, ángulo de pala, velocidad, por ejemplo, la fuerza centrífuga en lugar de la velocidad, la corriente eléctrica o el par de giro mecánico en lugar de la potencia, el ángulo de incidencia aerodinámico o la relación de presión en la superficie de la pala en lugar del ángulo de pala. Al utilizar los datos del rotor para determinar el potencial de rendimiento ya se tienen en cuenta los efectos como los cambios en la densidad del aire, el gradiente del viento sobre la superficie del rotor y el flujo oblicuo, lo que resulta especialmente preferible.

10 En todas las formas de realización según la invención y preferidas, la reducción del rendimiento energético teórico o la reducción de la potencia puede llevarse a cabo mediante una limitación relativamente con respecto a la potencia de salida actual o al rendimiento energético de salida. Sin embargo, la reducción de la potencia o la reducción del rendimiento energético teórico se realizan con preferencia mediante la limitación de la potencia nominal a un valor preestablecido. Alternativamente también pueden definirse además una reducción de la potencia o una reducción del rendimiento energético teórico mediante una compensación del ángulo de pala o una compensación de la velocidad, por ejemplo, desplazando el ángulo de pala 3° en relación con el ángulo de pala a una potencia optimizada en la dirección del paso de embanderado o ajustando la velocidad en una revolución/min del rotor o un 10% por debajo de la velocidad a una potencia optimizada. El término "rendimiento energético teórico reducido predeterminable" incluye también estas posibilidades de reducción. Por consiguiente, preferiblemente se mide una serie de funciones de corrección o de curvas características de corrección o de curvas características en dependencia de una medida de reducción de la potencia o de reducción del rendimiento energético teórico, y concretamente en especial en dependencia del grado porcentual de la reducción de potencia, del grado porcentual de la reducción del rendimiento energético teórico, de la compensación del ángulo de pala y/o de la compensación de la velocidad en al menos un aerogenerador.

20 Para ello, las curvas características se miden o determinan al menos una vez antes de que comience la determinación de una pérdida de rendimiento. No obstante, las curvas características también pueden repetirse regularmente, por ejemplo, anualmente, para tener en cuenta los cambios en el potencial de rendimiento del aerogenerador, por ejemplo, un empeoramiento del rendimiento como consecuencia del envejecimiento. Sin embargo, con esta finalidad se requiere de nuevo una señal calibrada de la velocidad del viento o del rendimiento energético, por ejemplo, mediante una torre de medición o de un sistema de referencia adyacente calibrado. Una señal calibrada de la velocidad del viento proviene preferiblemente de una torre de medición de un sistema de medición o de unos sistemas de medición Lidar o Sodar con sensores de viento calibrados, aunque también puede ponerse a disposición por medio de una señal calibrada del rendimiento energético o de la velocidad del viento de un aerogenerador adyacente en el que el viento incide libremente.

30 Preferiblemente, las pérdidas de rendimiento de los aerogeneradores de un parque eólico se comparan entre sí, realizándose una nueva medición de un aerogenerador si sus pérdidas de rendimiento o su pérdida de rendimiento en relación con las pérdidas de rendimiento de los aerogeneradores adyacentes varían sin motivo aparente, rebasando una medida predeterminada.

40 Para medir las fluctuaciones de corta duración de la velocidad del viento y de la dirección del viento, se trabaja preferiblemente con valores medios fluctuantes, por ejemplo, con promedios de tiempo de entre 1 minuto y 15 minutos, preferentemente de 10 minutos.

Lista de referencias

45	X1	Velocidad del viento
	Y1	Velocidad del generador
	X2	Ángulo de pala
	Y2	Velocidad del viento
	X3	Tiempo [s]
50	Y3	Velocidad del rotor
	X4	Ángulo de pala
	Y4	Potencial de rendimiento
	X5	Velocidad del viento en el anemómetro de góndola
	Y5	Velocidad real del viento
55	Z4	Velocidad

ES 2 669 982 T3

	10	Velocidad nominal
	11	Gama de velocidad prohibida
	12	Gama de velocidad prohibida
	13	Velocidad en vacío siendo $\alpha = 20^\circ$
5	14	Velocidad en vacío siendo $\alpha = 30^\circ$
	15	Velocidad en vacío siendo $\alpha = 40^\circ$
	16	Velocidad en vacío siendo $\alpha = 50^\circ$
	17	Velocidad en vacío siendo $\alpha = 60^\circ$
	18	Velocidad en vacío siendo $\alpha = 70^\circ$
10	19	Velocidad en vacío siendo $\alpha = 80^\circ$
	20-20 ^V	Valor de medición
	21	Recta de compensación
	22	Curva característica a una potencia nominal del 60%
	23	Curva característica a una potencia nominal del 80%
15	24	Curva característica a una potencia nominal del 100%
	25	Curva
	30, 30', 30", 30'''	Curva para un rendimiento energético teórico reducido al 60%
	31, 31', 31", 31'''	Curva para un rendimiento energético teórico reducido al 80%
	32	Valor de medición
20	33	Valor de medición transformado
	34	Valor de medición transformado
	35	Curva característica a una potencia nominal del 50%
	36	Curva característica a una potencia nominal del 80%

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador con al menos una pala de rotor, cuyo ángulo de pala se puede ajustar, haciéndose funcionar el mismo con un rendimiento energético teórico reducido predeterminable, estableciéndose un potencial de rendimiento (Y4) para la determinación de una pérdida de rendimiento, midiéndose un parámetro de funcionamiento predeterminable (X1, Y1, X2, Y2, Y3, X4, Y4, Z4, X5, Y5) del aerogenerador para la determinación del potencial de rendimiento (Y4) que se aplica a al menos una curva característica almacenada (21, 22, 23, 24, 30-30", 31-31", 35, 36) para el rendimiento energético teórico reducido, determinándose por otra parte el rendimiento energético real y resultando la pérdida de rendimiento a partir de la diferencia del potencial de rendimiento (Y4) y del rendimiento energético real, previéndose como parámetro de funcionamiento predeterminable (X1, Y1, X2, Y2, Y3, X4, Y4, Z4, X5, Y5) un parámetro dependiente de la potencia, un parámetro dependiente de la rotación, un parámetro dependiente del ángulo de pala y/o un parámetro dependiente de la velocidad del viento, determinándose el potencial de rendimiento (Y4) por medio de una curva característica (30-30", 31-31") para el rendimiento energético teórico reducido predeterminable y de un parámetro medido dependiente de la rotación (Y1, Z4) y de un parámetro medido dependiente del ángulo de pala (X2, X4).
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que como parámetro dependiente de la velocidad del viento se prevé una velocidad del viento (X5) medida por medio de un anemómetro de góndola del aerogenerador que, con una curva característica (21, 22-24, 35, 36) almacenada para el rendimiento energético teórico reducido predeterminable, se transforma en una velocidad real del viento (X2, Y5) y/o en un potencial de rendimiento (Y4).
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que la al menos una curva característica almacenada (22-24, 30-30", 31-31", 35, 36) está determinada o se determina en el aerogenerador o en un aerogenerador correspondiente a este aerogenerador por medio de al menos una medición de referencia y una señal calibrada del rendimiento energético y/o una señal calibrada de la velocidad del viento.
- 20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que se prevé un conjunto de curvas características (22-24, 30-30", 31-31", 35, 36) para distintos rendimientos energéticos teóricos reducidos predeterminados.
- 25 5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que en caso de un rendimiento energético teórico reducido preestablecido no medido se lleva a cabo una interpolación entre las curvas características (22-24, 30-30", 31-31", 35, 36).
- 30 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que como parámetro dependiente de la potencia se prevé una potencia o un par de giro, como parámetro dependiente de la rotación se prevé una velocidad o una fuerza centrífuga y/o como parámetro dependiente del ángulo de pala se prevé un ángulo de pala o una diferencia de presión en una pala de rotor.
- 35 7. Procedimiento para el funcionamiento de un parque de aerogeneradores con varios aerogeneradores, funcionando al menos un aerogenerador de acuerdo con el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6.
- 40 8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que el al menos un aerogenerador funciona sin potencia y los otros aerogeneradores funcionan normalmente a una potencia optimizada.
- 45 9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que el aerogenerador que funciona sin potencia se ajusta a un ángulo de pala predeterminado (X2, X4) de la al menos una pala de rotor, determinándose a través de una curva característica (13-14) el potencial de rendimiento (Y4) a partir de la velocidad (Y1, Y3) del aerogenerador.
- 50 10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que el aerogenerador que funciona sin potencia se ajusta a una velocidad predeterminada (Y1, Y3), determinándose a través de una curva característica el potencial de rendimiento (Y4) por medio del ángulo de pala (X2, X4) de las palas de rotor del aerogenerador.

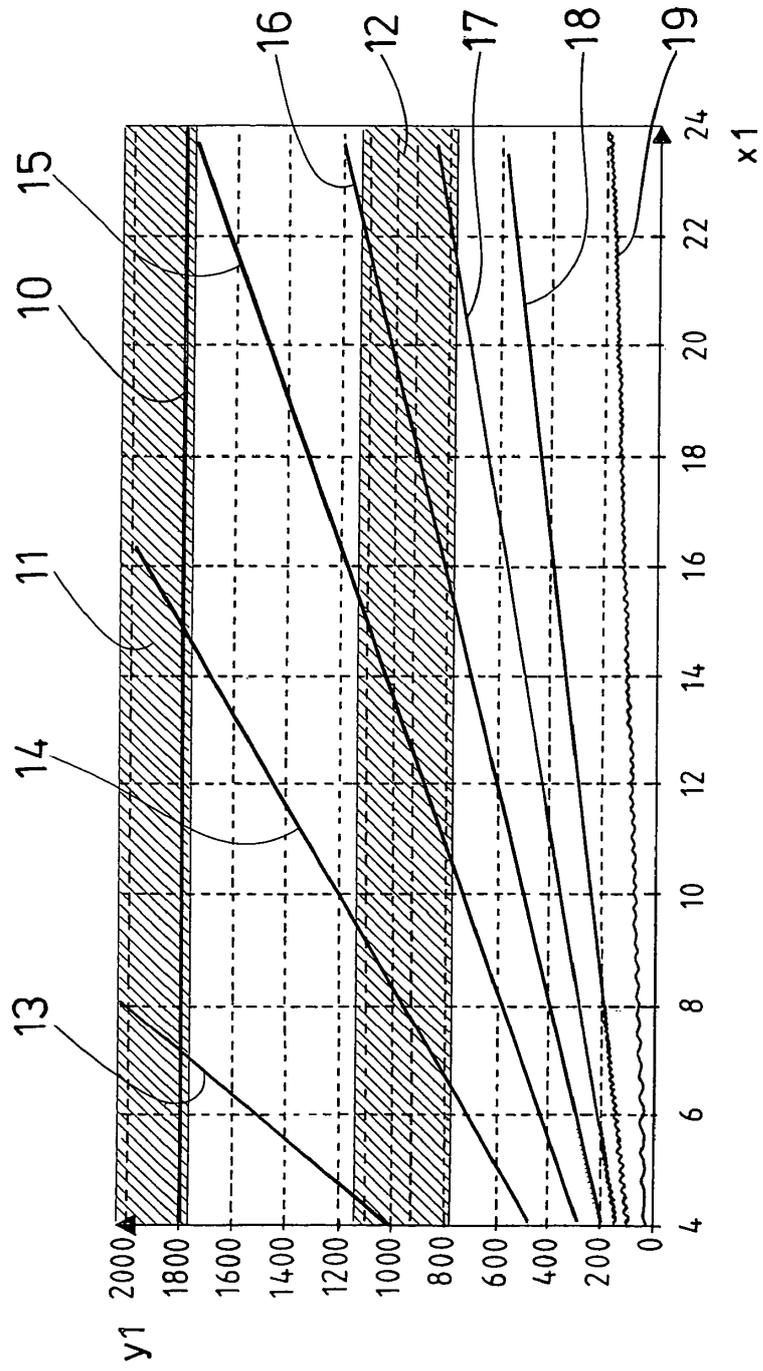


Fig. 1

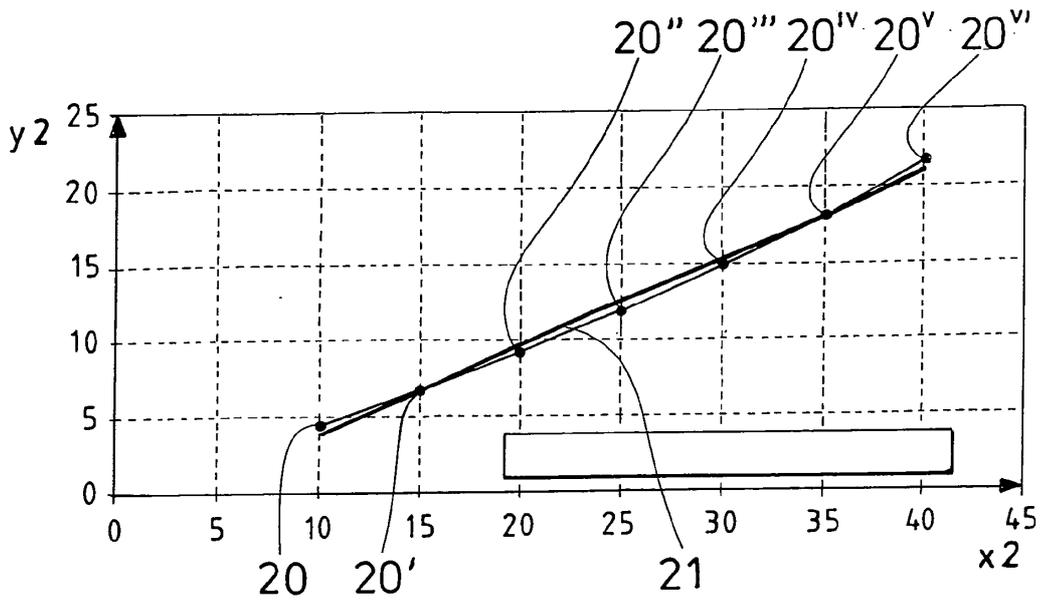


Fig. 2

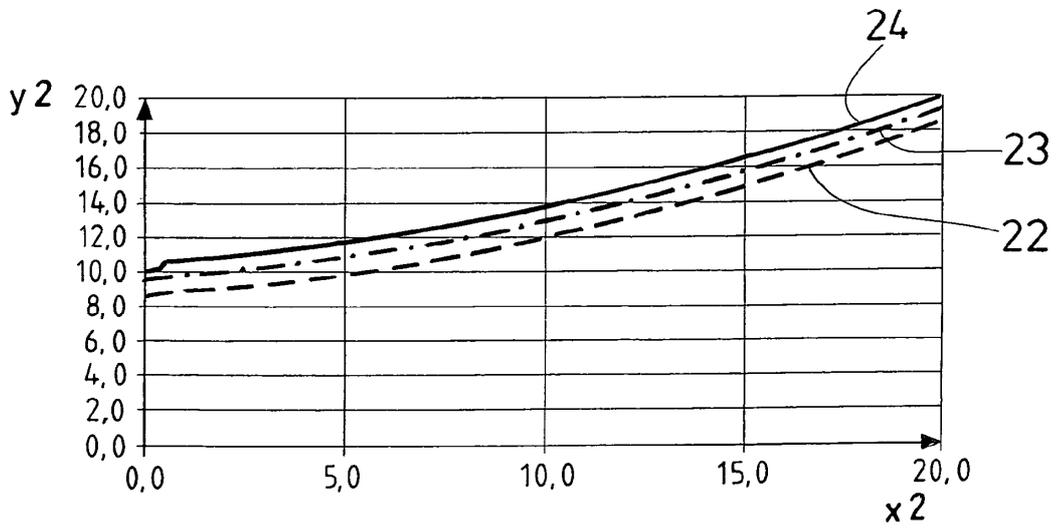


Fig. 3

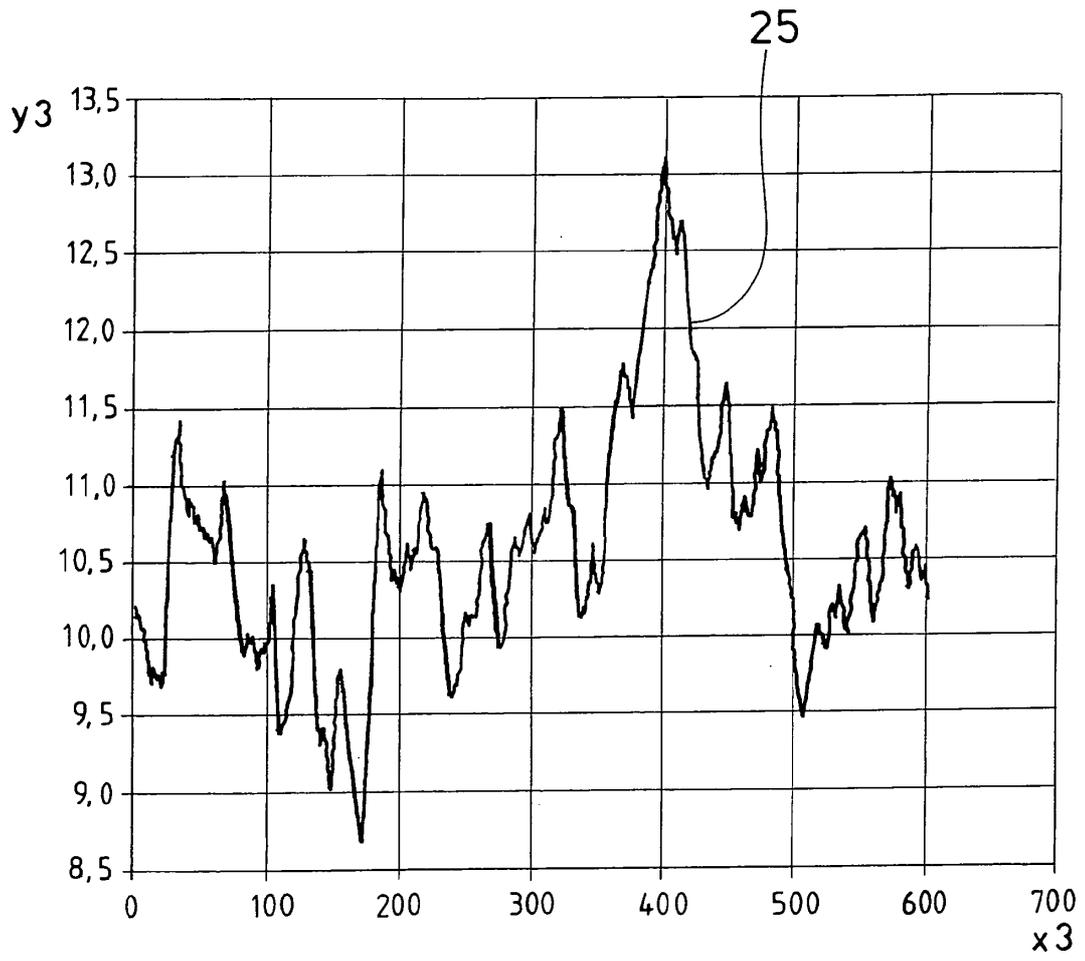


Fig. 4

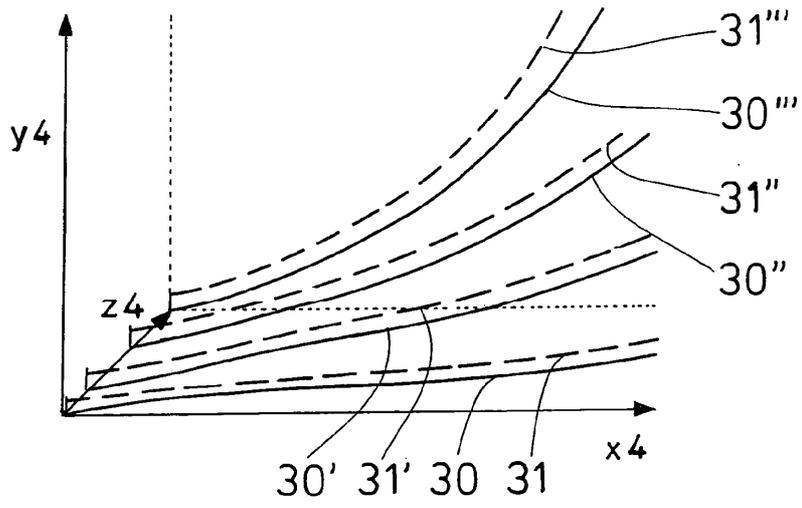


Fig. 5

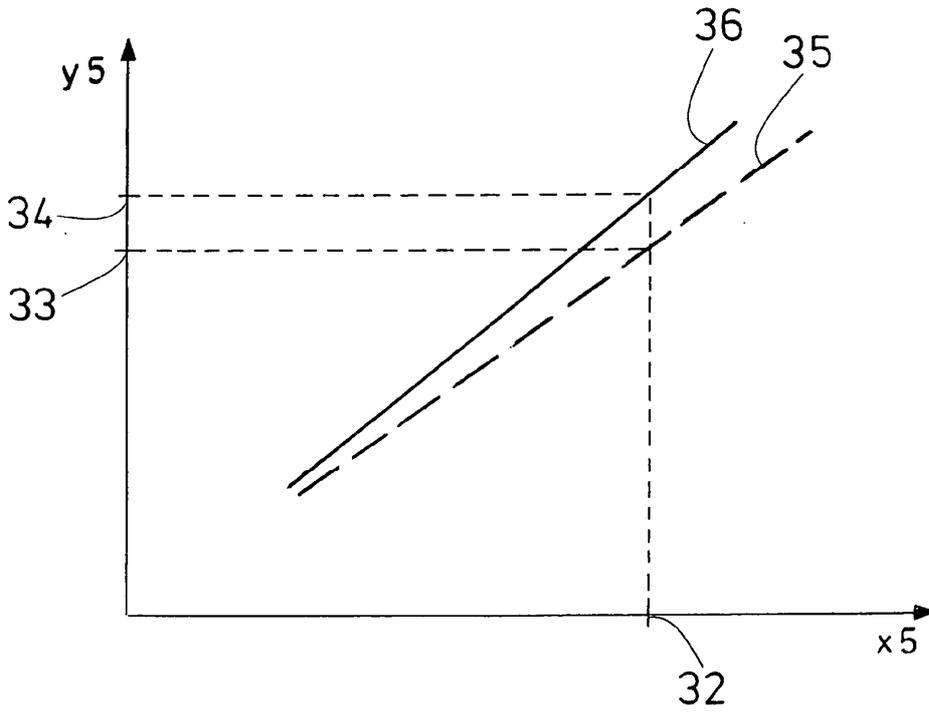


Fig. 6