

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 973 743**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2019** **E 19157529 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.01.2024** **EP 3527816**

54 Título: **Procedimiento y sistema para determinar una función de corrección de orientación**

30 Prioridad:

19.02.2018 DE 102018001269

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
24.06.2024

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY
SERVICE GMBH (100.0%)
Beim Strohause 17-31
20097 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

MITTELMEIER, NIKO

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 973 743 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 y sistema para determinar una función de corrección de orientación

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar una función de corrección para un aerogenerador, a un procedimiento y a un sistema para determinar una función de corrección de orientación para una góndola de un aerogenerador, a un procedimiento para hacer funcionar un aerogenerador, a un programa informático y a un medio legible por ordenador.

10 Habitualmente, las góndolas de los aerogeneradores se orientan basándose en una dirección del viento medida, de tal manera que la potencia generada por el aerogenerador sea la máxima posible. A este respecto, el consumo de potencia máximo teórico se da cuando el viento entra en perpendicular al plano del rotor. Sin embargo, debido al tamaño de las palas de rotor, el viento entrante no golpea las palas de rotor en perpendicular en todas partes. Por medio de una orientación del rotor en perpendicular al viento entrante a la altura del buje, de modo que un eje de rotor del rotor que discurre a través de un buje de rotor se encuentra paralelo a la dirección del viento, generalmente no puede conseguirse la potencia máxima, ya que el viento por regla general aumenta al aumentar la distancia desde el suelo y, por lo tanto, la potencia máxima no se registra al nivel del buje de rotor y/o el viento fluye contra las palas de rotor desde diferentes direcciones en diferentes secciones del rotor.

20 Además, al regular la orientación de la góndola basándose en la dirección del viento medida, hay que tener en cuenta que la dirección del viento se ve influenciada por la torsión provocada por las palas de rotor, así como turbulencias en un lado de sotavento del rotor, puesto que la dirección del viento se mide por regla general en el lado de sotavento del rotor, por ejemplo, por medio de un anemotrópometro dispuesto en el techo de la góndola.

25 Por lo tanto, del estado de la técnica se conoce añadir un valor de compensación constante a la dirección del viento medida, para conseguir la orientación deseada de la góndola con respecto a la dirección del viento que prevalece en el lado de barlovento del rotor.

30 Por ejemplo, el documento DE 199 34 415 B4 se refiere a un procedimiento para el seguimiento del viento en aerogeneradores, en donde el ajuste de un ángulo entre la dirección de un eje de rotor y una dirección del viento tiene lugar debido a la detección y evaluación conjunta de la dirección del viento, velocidad del viento y potencia generada. A este respecto, para cualquier número de curvas de potencia para diferentes ángulos entre dirección del viento y eje de rotor, se determina un vértice de las curvas de potencia para diferentes ángulos de ataque a la velocidad del viento que prevalece actualmente y se corrige la desviación actual con respecto al ángulo de ataque óptimo.

35 El documento US 2016/298607 se refiere a un procedimiento para evaluar el impacto de las actualizaciones de aerogeneradores, que comprende determinar una curva de potencia base para un aerogenerador antes de actualizar el aerogenerador y determinar una función de transferencia de velocidad del viento base para el aerogenerador antes de actualizar el aerogenerador.

40 El documento EP 2 154 362 A1 se refiere a un aerogenerador, en donde se acumulan secuencialmente conjuntos de datos de una potencia de salida generada durante el funcionamiento, una velocidad del viento de barlovento estimada basándose en una velocidad del viento medida en un anemómetro y una desviación de la dirección del viento que es la diferencia entre una dirección del viento medida en el anemómetro y la orientación de la góndola, se analizan estadísticamente los datos acumulados, se determina una curva de distribución correspondiente a la desviación de la dirección del viento de la potencia de salida generada a cada velocidad del viento entrante, se utiliza la desviación de la dirección del viento correspondiente al pico de la curva de distribución como valor de corrección del anemómetro, se almacena el valor de corrección del anemómetro para cada velocidad del viento entrante en una tabla de corrección de dirección del viento, se corrige la dirección del viento medida en el anemómetro con el valor de corrección y se realiza una regulación de generación de potencia con el uso de la dirección del viento corregida como parámetro de control.

55 R.-K. Keck, "A numerical investigation of nacelle anemometry for a HAWT using actuator disc and line models in CFX", Renewable Energy 48(2012), 72-84 se refiere a un examen numérico de la anemometría de góndola para un aerogenerador con el uso de distintos modelos en CFX.

Un objetivo de la invención es mejorar la medición de magnitudes necesarias para orientar una góndola de un aerogenerador, en particular, una velocidad del viento, en particular, hacerla más precisa. En particular, es un objetivo de la invención permitir una orientación mejorada de la góndola del aerogenerador.

60 Este objetivo se consigue mediante un procedimiento para determinar una función de corrección para un aerogenerador, un sistema para determinar una función de corrección de orientación para una góndola de un aerogenerador, un programa informático y un medio legible por ordenador según una de las reivindicaciones independientes. Realizaciones preferidas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

65

Un primer aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para determinar una función de corrección, en particular, una función de transferencia, para un aerogenerador, mediante el cual puede determinarse una velocidad del viento de barlovento basándose en una velocidad del viento de sotavento medida por un anemómetro del lado de sotavento del aerogenerador, en donde barlovento y sotavento se refieren a un rotor del aerogenerador. El procedimiento presenta las siguientes etapas de trabajo: (i) medir una velocidad del viento de barlovento, una velocidad del viento de sotavento y una dirección del viento de sotavento, en donde en cada caso se registra una pluralidad de valores de medición en un periodo de tiempo determinado; (ii) determinar la función de corrección, en particular, la función de transferencia, basándose en los valores de medición registrados por medio de un modelo, en donde se establece una relación entre los valores de medición registrados en el modelo y la función de corrección, en particular, la función de transferencia asigna una velocidad del viento de barlovento a una velocidad del viento de sotavento en función de una dirección del viento de sotavento y (iii) emitir la función de corrección determinada. En el sentido de la invención, barlovento o lado de barlovento designa una zona situada en un lado del rotor del aerogenerador dirigido hacia el viento. En el sentido de la invención, sotavento o lado de sotavento designa una zona situada en un lado del rotor del aerogenerador dirigido en sentido opuesto al viento.

Una dirección del viento de sotavento en el sentido de la invención es en particular la dirección del viento determinada por medio de un anemotrópometro del lado de sotavento del aerogenerador, desde el cual el viento, que ha pasado por el rotor, fluye hacia el anemotrópometro. A este respecto, la dirección del viento de sotavento se mide preferiblemente con respecto a un eje de rotor del aerogenerador y se indica como ángulo con respecto al eje de rotor.

Basándose en la dirección del viento de sotavento puede orientarse la góndola del aerogenerador, preferiblemente, teniendo en cuenta un valor de compensación, por ejemplo, girándose la góndola de tal manera que la dirección del viento de sotavento y el eje de rotor se encuentren al menos esencialmente paralelos entre sí. Un valor de compensación en el sentido de la invención es, en particular, un valor de corrección que se suma a la dirección del viento de sotavento, para tener en cuenta una influencia del rotor en la dirección del viento al orientar la góndola. El valor de compensación puede depender, en particular, de la velocidad del viento de barlovento.

Por velocidad del viento de barlovento se entiende, en el sentido de la invención, en particular, una medida de la velocidad de ataque representativa y no perturbada del rotor. Preferiblemente, la velocidad del viento de barlovento es una medida de la energía contenida en el flujo de ataque hacia el rotor. Puede tratarse en este sentido de una medición puntual representativa, por ejemplo, en un mástil de medición. Sin embargo, esto no significa necesariamente que sea una velocidad del viento que pueda medirse físicamente en un punto en el espacio delante del rotor, porque la velocidad del viento de barlovento representativa generalmente se promedia espacial y/o temporalmente para los diámetros de rotor habituales hoy en día de más de 100 metros para reducir la influencia de la turbulencia estocástica. Preferiblemente, esto puede tener lugar mediante procedimientos de medición espacial, tales como disposiciones LIDAR convencionales.

La medición de la velocidad del viento de barlovento tiene lugar preferiblemente en una ubicación del entorno, que es representativa de la velocidad del viento de barlovento del aerogenerador, pero que no se encuentra a barlovento del aerogenerador. Estas ubicaciones pueden determinarse empíricamente o mediante complejas simulaciones de CFD, por ejemplo, en un parque eólico complejo.

Además, la medición de la velocidad del viento de barlovento tiene lugar preferiblemente a barlovento del rotor eólico, ya que de este modo se consigue una fiabilidad especialmente alta de la medición.

Una determinación de una función de corrección en el sentido de la invención consiste especialmente en determinar coeficientes, preferiblemente, coeficientes de regresión, de un modelo en el que se basa la función de corrección. Una función de corrección puede determinarse, por ejemplo, mediante un ajuste de los valores de medición según el modelo.

Establecer una relación de los valores de medición entre sí en el sentido de la invención se refiere, en particular, a la formulación y/o resolución de un sistema de ecuaciones en el que se incluyen los valores de medición. El sistema de ecuaciones contiene preferiblemente coeficientes de regresión del modelo, que se determinan basándose en los valores de medición incluidos en el sistema de ecuaciones. Alternativa o adicionalmente, establecer una relación de los valores de medición entre sí, como ya se ha descrito anteriormente, también puede ser un ajuste de los valores de medición, en particular, según el modelo o una función de modelo que describe el modelo, en donde preferiblemente también en este caso se determinan coeficientes de regresión del modelo. En este sentido, otra alternativa también puede ser depositar los resultados de medición promediados en forma de una tabla de consulta, es decir, una función de tabla sencilla. Esto tiene la ventaja de que, a diferencia de un modelo, no es necesario hacer suposiciones sobre una relación física. Entonces, es posible interpolar preferiblemente entre los valores individuales de la tabla.

Se reconoció que entre los valores de medición para la velocidad del viento de sotavento y los valores de medición para la velocidad del viento de barlovento, que se registran en cada caso al menos esencialmente al mismo tiempo, existe una dependencia, en la que se incluye la orientación de la góndola con respecto al viento que fluye contra el rotor. La orientación de la góndola se incluye a este respecto preferiblemente en forma de una dirección del viento de

sotavento medida, teniendo en cuenta, dado el caso, un valor de compensación. Por lo tanto, la dependencia puede determinarse teniendo en cuenta la dirección del viento de sotavento.

5 Ventajosamente, la dependencia descrita puede basarse en un modelo, en particular, un modelo matemático, a partir del cual puede determinarse una función de corrección para la velocidad del viento de sotavento medida. De esta manera, con el uso de la función de corrección, de las velocidades del viento medidas en el lado de sotavento pueden deducirse las velocidades del viento predominantes en el lado de barlovento.

10 Preferiblemente, el modelo se configura mediante valores de medición que caracterizan una dirección del viento de sotavento, una velocidad del viento de sotavento y una velocidad del viento de barlovento, estableciendo una relación de los valores de medición entre sí en el modelo, de modo que pueden sacarse conclusiones sobre la influencia, en particular, de la orientación de la góndola o de la dirección del viento de sotavento medida sobre la relación entre la velocidad del viento de sotavento medida y la velocidad del viento de barlovento medida.

15 Esto permite una determinación fiable y precisa de las velocidades del viento de barlovento mediante velocidades del viento de sotavento medidas y direcciones del viento de sotavento medidas con el uso de la función de corrección. Una vez conocida la función de corrección, pueden determinarse las velocidades del viento de barlovento, en particular, independientemente de la orientación de la góndola del aerogenerador, ya que las influencias provocadas por la orientación pueden corregirse midiendo la dirección del viento de sotavento con la función de corrección.

20 Preferiblemente, en el contexto del registro de una pluralidad de valores de medición durante el periodo de tiempo determinado, se registra en cada caso un valor de medición para la velocidad del viento de barlovento, la velocidad del viento de sotavento y la dirección del viento de sotavento en diferentes tiempos dentro del periodo de tiempo. En particular, puede registrarse repetidamente en cada caso, al menos esencialmente al mismo tiempo, un valor de medición para la velocidad del viento de barlovento, la velocidad del viento de sotavento y la dirección del viento de sotavento. Los tiempos en los que se registran tres valores de medición pueden distribuirse al menos en parte de manera regular y/o al menos en parte de manera irregular a lo largo del periodo.

30 Los valores de medición registrados son preferiblemente valores medios temporales, en particular, valores medios móviles. En particular, los tiempos de promediación preferidos son al menos 10 segundos, en particular, al menos 30 segundos, de manera especialmente preferida, aproximadamente 1 minuto.

35 En una forma de realización preferida, el modelo es un modelo de regresión multilíneal. Preferiblemente, según el modelo, cada valor de medición para la velocidad del viento de barlovento depende, preferiblemente de manera lineal, de un valor de medición para la velocidad del viento de sotavento y de un valor de medición para la dirección del viento de sotavento. A este respecto, cada valor de medición puede ponderarse con un coeficiente de regresión en cada caso. De este modo, la función de corrección puede determinarse de manera rápida y fiable con poco esfuerzo computacional.

40 En otra forma de realización preferida, la función de corrección se determina basándose en un cálculo de compensación, en particular, un análisis de regresión. A este respecto, los coeficientes de regresión de la función de modelo se determinan preferiblemente mediante el método de mínimos cuadrados. La función de corrección, en particular, sus coeficientes de regresión, puede o pueden determinarse, por ejemplo, mediante un ajuste tridimensional de las velocidades del viento medidas y las direcciones del viento asociadas. Esto permite determinar una función de corrección que indica de manera fiable la relación entre las direcciones del viento de sotavento y las direcciones del viento de barlovento.

50 En otra forma de realización preferida, se determina la velocidad del viento de barlovento mediante un dispositivo de detección. El dispositivo de detección está configurado preferiblemente como equipo LiDAR, equipo SODAR o anemómetro de referencia. De este modo, puede determinarse de manera fiable y precisa la velocidad del viento de barlovento.

55 El dispositivo de detección puede estar dispuesto en particular, en una torre, que porta la góndola del aerogenerador o en la góndola, en particular, en un buje de rotor del rotor, del aerogenerador. Por lo tanto, los valores de medición de la velocidad del viento de barlovento registrados por el dispositivo de detección no se ven influenciados ventajosamente o al menos solo ligeramente por el movimiento del rotor y se diferencian de manera especialmente clara de los valores de medición de la velocidad del viento de sotavento. La disposición anterior también permite de manera especial determinar la velocidad del viento de barlovento relevante para el aerogenerador en una zona directamente delante del rotor. Por tanto, la función de corrección determinada permite un cálculo especialmente preciso de la velocidad del viento de barlovento.

65 En otra forma de realización preferida, el dispositivo de detección está dispuesto en el lado de barlovento y separado del aerogenerador, en particular, en un aerogenerador adyacente. Una disposición en el lado de barlovento del dispositivo de detección en el sentido de la invención es, en particular, una disposición con respecto al aerogenerador, en la que masas de aire fluyen hacia el dispositivo de detección, que a continuación también fluyen contra el rotor del aerogenerador.

El dispositivo de detección puede estar dispuesto a este respecto cerca del suelo, en particular, en el suelo o en una torre, en particular, al menos esencialmente a la altura del buje de rotor del aerogenerador. De este modo, puede garantizarse que las velocidades del viento de barlovento medidas sean representativas de la velocidad del viento que fluye hacia el rotor del aerogenerador.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para determinar una función de corrección de orientación de una góndola de un aerogenerador dispuesta en una torre, en donde el aerogenerador presenta al menos un anemómetro dispuesto en un lado de sotavento de un rotor del aerogenerador y un anemotropómetro dispuesto en el lado de sotavento del rotor. El procedimiento presenta las siguientes etapas de trabajo: (i) medir una medida de potencia del aerogenerador, una dirección del viento de sotavento por medio del anemotropómetro y una velocidad del viento de sotavento por medio del al menos un anemómetro, en donde en cada caso se registra una pluralidad de valores de medición durante un periodo de tiempo determinado; (ii) asignar valores de medición de la medida de potencia y la dirección del viento de sotavento a valores de medición de la velocidad del viento de sotavento agrupados en al menos un contenedor de velocidad del viento basándose en tiempos, en los que se registraron los valores de medición; de acuerdo con la invención los valores de medición de la velocidad del viento de sotavento se corrigen por medio de una función de corrección determinada según un procedimiento según el primer aspecto de la invención; (iii) determinar una función de modelo para una relación entre la medida de potencia y la dirección del viento de sotavento para el al menos un contenedor de velocidad del viento; (iv) determinar una función de corrección de orientación para una orientación objetivo de la góndola con respecto a la dirección del viento de sotavento medida basándose en la función de modelo, en donde la función de corrección de orientación cumple un criterio predeterminado con respecto a la función de modelo determinada para el al menos un contenedor de velocidad del viento; y (vi) emitir la función de corrección de orientación determinada.

Una función de corrección de orientación en el sentido de la invención es, en particular, un valor de corrección o un factor de corrección, mediante el cual puede orientarse una orientación de la góndola del aerogenerador, en particular, con respecto a una optimización de potencia o al menos a una mejora de potencia. La función de corrección de orientación se determina preferiblemente como ángulo de corrección en función de la dirección del viento de sotavento medida o como función de ángulo de corrección, que puede depender de una o varias magnitudes, por ejemplo, una presión del aire, una humedad del aire, una velocidad del viento, una disposición del aerogenerador en un parque de aerogeneradores y/o similares.

Una medida de potencia en el sentido de la invención es, en particular, una medida de la potencia generada o que se puede generar por la energía del viento. En particular, la medida de potencia puede ser una velocidad de giro de rotor, una potencia de generador o similares.

La determinación de una función de modelo en el sentido de la invención consiste especialmente en determinar coeficientes, preferiblemente, coeficientes de regresión, de un modelo en el que se basa la función de modelo. Una función de modelo puede determinarse, por ejemplo, mediante un ajuste de los valores de medición.

Mediante una función de modelo en el sentido de la invención puede asignarse a cada dirección del viento de sotavento medida una medida de potencia, de manera especialmente precisa.

Un contenedor de velocidad del viento en el sentido de la invención es, en particular, un intervalo de velocidad del viento. Los valores de medición registrados pueden asignarse a un contenedor de velocidad del viento, asignando una velocidad del viento de sotavento medida al menos esencialmente al mismo tiempo o su valor corregido, que debe representar la velocidad del viento de barlovento, o asignándose un valor medio correspondiente de varias mediciones de velocidad del viento de sotavento al contenedor de velocidad del viento correspondiente. En particular, las tuplas de valores de medición que se registraron al menos esencialmente al mismo tiempo pueden asignarse a un contenedor de velocidad del viento basándose en al menos un valor de medición para una velocidad del viento de sotavento que está contenida en la tupla.

Un criterio predeterminado en el sentido de la invención es, en particular, una condición que tiene que cumplir la función de modelo. Preferiblemente, el ángulo o intervalo angular para el cual se cumple el criterio predeterminado se emite como función de corrección de orientación.

Una relación entre la medida de potencia y la dirección del viento de sotavento determinada por medio de un anemotropómetro en el sentido de la invención puede ser, en particular, una relación entre la medida de potencia y una orientación de una góndola. En particular, la dirección del viento de sotavento medida puede definir una orientación objetivo de la góndola, de modo que la orientación de la góndola pueda entenderse con respecto a la orientación objetivo de la góndola.

Preferiblemente, el anemotropómetro está montado en una orientación definida sobre la góndola, de modo que al orientar la góndola, en la que un eje de rotor está orientado en paralelo a la dirección desde la cual el viento fluye hacia el anemotropómetro, el anemotropómetro emite preferiblemente valores de 0° para la dirección del viento de

sotavento. Por lo tanto, la orientación de la góndola puede verse como una desviación del eje de rotor con respecto a la dirección del viento de sotavento.

Al definir la orientación objetivo de la góndola, además de la dirección del viento de sotavento también se puede tener en cuenta, en particular, un valor de compensación. Por lo tanto, la relación mencionada anteriormente puede referirse, en particular, a la medida de potencia y a una desalineación de la góndola, donde la desalineación de la góndola corresponde a una desviación de la orientación de la góndola definida por la dirección del viento de sotavento y el valor de compensación.

El segundo aspecto de la invención se basa, en particular, en el conocimiento de que al corregir la orientación de la góndola de un aerogenerador, se debería tener en cuenta la velocidad del viento, en particular, con la que el aire fluye hacia el rotor, ya que se ha demostrado, por ejemplo, que en condiciones de viento cambiantes, en cada caso, ángulos diferentes entre el eje de rotor y la dirección desde la cual el aire fluye hacia el rotor a nivel del buje de rotor son ventajosos con respecto a la potencia que puede generarse por el aerogenerador. En otras palabras, por ejemplo, puede llevarse a cabo de manera especialmente eficaz una optimización de potencia o al menos una mejora de potencia, teniendo en cuenta para diferentes contenedores de velocidad del viento una función de corrección de orientación, en particular, en cada caso un ángulo de corrección para cada contenedor de velocidad del viento. Preferiblemente, la función de modelo para una relación entre la medida de potencia y la dirección del viento de sotavento para el al menos un contenedor de velocidad del viento se determina basándose en valores de medición de la velocidad del viento de sotavento corregidos por medio de una función de corrección de acuerdo con la invención, en particular, según el primer aspecto de la invención. Además, preferiblemente, los valores de medición de la medida de potencia y de la dirección del viento de sotavento se asignan a velocidades del viento de barlovento, que resultan de valores de medición corregidos de la velocidad del viento de sotavento, que se registraron al mismo tiempo que los valores de medición de la medida de potencia y la dirección del viento de sotavento, y se agrupan en al menos un contenedor de velocidad del viento. De este modo, la función de corrección de orientación puede determinarse de tal manera, que la función de corrección de orientación puede cumplir con precisión el criterio indicado en cuanto a la función de modelo a diferentes velocidades del viento. Con la corrección según la invención, en cuya determinación se tiene en cuenta la dirección del viento de sotavento medida, se consigue así una precisión mejorada en la orientación del aerogenerador. Esto permite en particular una potencia mejorada del aerogenerador. De este modo, por ejemplo, la góndola siempre puede orientarse basándose en la función de corrección de orientación emitida, incluso con diferentes velocidades del viento, de tal manera que se mejora la potencia generada por el aerogenerador.

Preferiblemente, el procedimiento puede aplicarse a un prototipo para un tipo de aerogenerador o un aerogenerador representativo para un conjunto de aerogeneradores, para obtener la función de corrección de orientación y la función de corrección de velocidad del viento, en particular, varios ángulos de corrección o funciones de corrección, para una pluralidad de contenedores de velocidad del viento. La función de corrección de orientación se puede utilizar entonces para aerogeneradores idénticos o similares.

En otra forma de realización preferida, el criterio es una maximización de la función de modelo. Preferiblemente, la función de corrección de orientación se determina como un ángulo de corrección o un intervalo de ángulo de corrección, para el cual la función de modelo determinada asume un valor máximo. Dado que la función de modelo indica preferiblemente la asignación de la velocidad del viento de sotavento o una desalineación de la góndola, que depende de la velocidad del viento de sotavento y un valor de compensación, a una medida de potencia del aerogenerador en al menos un contenedor de velocidad del viento, este valor máximo puede corresponder a una potencia máxima alcanzable del aerogenerador, al menos en la configuración existente, por ejemplo, con el ángulo de ataque seleccionado de las palas de rotor, en este contenedor de velocidad del viento. Por lo tanto, la elección del criterio como maximización de la función de modelo permite una optimización de potencia del aerogenerador fiable y, en particular, flexible en lo que respecta a la velocidad del viento, basándose en la función de corrección de orientación emitida.

En otra forma de realización preferida, la medida de potencia es una velocidad de giro de rotor del rotor o una velocidad de giro de generador de un generador del aerogenerador. Esto significa que la medida de potencia puede determinarse de manera fiable y rápida e indica la potencia generada o que puede generar el aerogenerador.

En otra forma de realización preferida, la función de modelo se determina para varios contenedores de velocidad del viento. Preferiblemente, la función de corrección de orientación emitida forma una línea característica de servicio para la orientación objetivo de la góndola con respecto a la dirección del viento de sotavento medida. A este respecto, la función de corrección de orientación se emite preferiblemente como función de ángulo de corrección, que depende de la velocidad del viento e indica un ángulo de corrección para distintas velocidades del viento en cada caso que se debe tener en cuenta al orientar la góndola. La línea característica de servicio para la orientación objetivo de la góndola con respecto a la dirección del viento de sotavento medida se puede guardar y/o evaluar de manera especialmente sencilla mediante un control de aerogenerador y permite operar el aerogenerador con una generación de potencia constantemente mejorada.

Un tercer aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para hacer funcionar un aerogenerador con una góndola dispuesta sobre una torre, un rotor y un anemómetro, donde el anemómetro está dispuesto en el lado de

sotavento del rotor. El procedimiento presenta las siguientes etapas de trabajo: (i) determinar una velocidad del viento de sotavento por medio del anemómetro; y (ii) orientar la góndola con el uso de una función de corrección de orientación, en particular, una línea característica de servicio, que se determinó según el procedimiento según el segundo aspecto de la invención, teniendo en cuenta la velocidad del viento de sotavento determinada. Preferiblemente, la función de corrección de orientación, en particular, la línea característica de servicio se determina después de la puesta en funcionamiento del aerogenerador, por ejemplo, durante un periodo de calibración, para poder hacer funcionar el aerogenerador en un momento posterior con la función de corrección de orientación determinada en el proceso. Esto significa que el aerogenerador también puede funcionar durante un periodo de funcionamiento más largo con una generación de potencia mejorada.

Un cuarto aspecto de la invención se refiere a un programa informático que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan por un ordenador, hacen que este lleve a cabo las etapas de un procedimiento según el primer, segundo o tercer aspecto de la invención.

Un quinto aspecto de la invención se refiere a un medio legible por ordenador en el que está almacenado un programa informático según el cuarto aspecto de la invención.

Un sexto aspecto de la invención se refiere a un sistema para determinar una función de corrección de orientación para una góndola de un aerogenerador dispuesta sobre una torre con al menos un anemómetro, un anemotropómetro y un equipo de control. Preferiblemente, el al menos un anemómetro y el anemotropómetro están dispuestos en un lado de sotavento de un rotor del aerogenerador. El equipo de control presenta preferiblemente: (i) un medio para registrar una pluralidad de valores de medición de una velocidad del viento de sotavento determinada por medio del anemómetro, una dirección el viento de sotavento determinada por medio del anemotropómetro y una medida de potencia del aerogenerador durante un periodo de tiempo determinado; (ii) un medio para asignar valores de medición de la medida de potencia y la dirección del viento de sotavento a valores de medición de la velocidad del viento de sotavento agrupados en al menos un contenedor de velocidad del viento basándose en tiempos, en los que se registraron los valores de medición, en donde los valores de medición de la velocidad del viento de sotavento se corrigen preferiblemente por medio de una función de corrección, de acuerdo con la invención según un primer aspecto de la invención; (iii) medios para determinar una función de modelo para una relación entre la medida de potencia y la dirección del viento de sotavento para el al menos un contenedor de velocidad del viento; (iv) medios para determinar una función de corrección de orientación para una orientación objetivo de la góndola con respecto a la dirección del viento de sotavento medida basándose en la función de modelo, en donde la función de corrección de orientación cumple un criterio predeterminado con respecto a la función de modelo determinada para el al menos un contenedor de velocidad del viento; e (v) interfaz para emitir la función de corrección de orientación determinada.

La invención se explica con más detalle a continuación mediante ejemplos de realización no limitativos que están representados en las figuras. En estas muestran al menos parcialmente de manera esquemática:

la figura 1 un ejemplo de realización preferido de un sistema según la invención para determinar una función de corrección de orientación;

la figura 2 un ejemplo de realización preferido de un procedimiento según la invención para determinar una función de corrección;

la figura 3 un ejemplo del efecto de una corrección de velocidades del viento de sotavento medidas;

la figura 4 un ejemplo de funciones de modelo mediante las cuales se determinan funciones de corrección de orientación;

la figura 5 un ejemplo de realización preferido de un procedimiento según la invención para determinar una función de corrección de orientación; y

la figura 6 un ejemplo de realización preferido de un procedimiento según la invención para hacer funcionar un aerogenerador.

La figura 1 muestra en la parte **a)** de figura un ejemplo de realización preferido de un sistema 1 según la invención para determinar una función f de corrección de orientación para una góndola 11 de un aerogenerador 10 dispuesta en una torre con dos anemómetros 2a, 2b, un anemotropómetro 3 y un equipo 4 de control, que está conectado a los dos anemómetros 2a, 2b y al anemotropómetro 3.

Los dos anemómetros 2a, 2b y el anemotropómetro 3 están dispuestos preferiblemente sobre la góndola 11, donde la góndola porta un rotor 12 con al menos dos, en particular, tres palas de rotor. Los anemómetros 2a, 2b y el anemotropómetro 3 pueden estar dispuestos, en particular, en un lado de sotavento del rotor 12, de modo que los anemómetros 2a, 2b miden las velocidades del viento de sotavento y el anemotropómetro 3 mide una dirección p del viento de sotavento. Los dos anemómetros 2a, 2b están dispuestos preferiblemente junto con el anemotropómetro 3 en un plano E perpendicular a un eje X de rotor del rotor 12.

El anemotrópometro 3 se muestra esquemáticamente en una representación ampliada en la figura 1b). Habitualmente, el anemotrópometro 3 está orientado, en particular, montado sobre la góndola 11 de tal manera, que una orientación definida del anemotrópometro 3, a la que se refieren las direcciones del viento emitidas por el anemotrópometro 3, discurre al menos esencialmente en paralelo al eje X de rotor. Por lo tanto, la dirección p del viento medida por el anemotrópometro 3, por ejemplo, mediante una veleta 3a, corresponde preferiblemente al ángulo entre la dirección desde la que el viento fluye hacia el anemómetro 3 y el eje X de rotor.

Dado que el viento que fluye hacia el rotor 12 desde una dirección WR del viento es desviado por el rotor 12, la dirección p del viento medida por el anemotrópometro 3 no corresponde a la dirección WR del viento en el lado de barlovento. Para corregir esta desviación, se puede añadir a la dirección p del viento de sotavento medida un valor δ de compensación, que se determina, por ejemplo, empíricamente. Es decir, si se mide una dirección p del viento de sotavento y la góndola se gira un ángulo $\gamma = \mu + \delta$, el eje X de rotor puede orientarse al menos esencialmente en paralelo a la dirección WR del viento de barlovento. El ángulo γ también se denomina desalineación o el llamado error de guiñada.

Como se muestra en la figura 1a), el equipo 4 de control presenta preferiblemente un medio 4a para registrar una pluralidad de valores de medición del primer y/o segundo anemómetro 2a, 2b, así como del anemotrópometro 3, que se generan y proporcionan durante un periodo de tiempo determinado por los anemómetros 2a, 2b y el anemotrópometro 3. A este respecto, el medio 4a puede estar configurado para corregir los valores de medición del primer y/o segundo anemómetro 2a, 2b para la velocidad del viento basándose en una función de corrección, en particular, una función de transferencia, de modo que correspondan a una velocidad del viento en el lado de barlovento del rotor 12 (véase la figura 2). En particular, el medio 4a puede registrar así valores de medición, que corresponden a una velocidad del viento de barlovento.

Preferiblemente, el medio 4a también está configurado para registrar valores de medición para una medida de potencia del aerogenerador 10 durante el periodo de tiempo determinado. Los valores de medición para la medida de potencia pueden medirse, por ejemplo, mediante una medición de la velocidad de giro de rotor del rotor 12 o una velocidad de giro de generador de un generador del aerogenerador 10 conectado al rotor 12.

El medio 4a para registrar una pluralidad de valores de medición está configurado, preferiblemente, para registrar en cada caso un valor de medición generado más recientemente por el primer y/o segundo anemómetro 2a, 2b y el anemotrópometro 3 al menos esencialmente sincrónicamente con un valor de medición para una medida de potencia. El medio 4a puede registrar en particular tuplas de valores de medición, donde cada tupla contiene un valor de medición para la medida de potencia, un valor de medición para la dirección del viento de sotavento y un valor de medición para la velocidad del viento de sotavento, eventualmente corregida.

Además, el equipo 4 de control presenta preferiblemente un medio 4b para asignar valores de medición de la medida de potencia y la dirección μ del viento de sotavento, en particular, la desalineación γ , a valores de medición de la velocidad del viento de sotavento agrupados en al menos un contenedor de velocidad del viento y, dado el caso, corregidos, basándose en los tiempos, en los que se registraron los valores de medición. En este caso, se asigna un valor de medición para la medida de potencia y un valor de medición para la dirección p del viento de sotavento preferiblemente a aquel valor de medición para la velocidad del viento de sotavento que se registró por el medio 4a al menos esencialmente en el mismo tiempo, en particular, en el mismo periodo de tiempo. En particular, los valores de medición de una tupla pueden asignarse entre sí, donde los valores de medición se pueden clasificar para la velocidad del viento de sotavento de diferentes tuplas en al menos un contenedor de velocidad del viento.

Preferiblemente, el equipo 4 de control también presenta un medio 4c para determinar una función de modelo para una relación entre la medida de potencia y la dirección p del viento de sotavento para el al menos un contenedor de velocidad del viento. Para ello, se recurre en particular a los valores de medición de la medida (P) de potencia y de la dirección (μ) del viento de sotavento asignados a los valores de medición de un contenedor de velocidad de la velocidad del viento de sotavento para el al menos un contenedor (j) de velocidad del viento. Para ello, el medio 4c para determinar la función de modelo está configurado, preferiblemente, para encontrar una relación matemática para la dependencia de la medida de potencia medida de la dirección p del viento de sotavento medida o de la desalineación γ , en cada caso, en un contenedor de velocidad del viento. Para ello, el medio 4c puede estar configurado, por ejemplo, para realizar un cálculo de compensación, en el que la función de modelo se basa en particular en un modelo polinomial. El medio 4c puede configurarse, por ejemplo, para aproximar la dependencia de la medida de potencia de las direcciones p del viento medidas o la desalineación γ determinada en función de las direcciones p del viento con un ajuste.

Por ejemplo, la relación entre la medida de potencia medida y la dirección p del viento medida puede venir dada por un polinomio con múltiples coeficientes de regresión. Estos coeficientes de regresión pueden determinarse mediante un cálculo de compensación, en particular, un análisis de regresión.

Además, el equipo 4 de control presenta preferiblemente un medio 4d para determinar al menos una función f de corrección de orientación para una orientación objetivo de la góndola con respecto a la dirección p del viento de

sotavento medida o a la desalineación y basada en la dirección p del viento de sotavento medida, basándose en la función de modelo determinada, en donde la función f de corrección de orientación cumple un criterio predeterminado con respecto a la función de modelo determinada para el al menos un contenedor de velocidad del viento. A este respecto, el medio 4d está configurado preferiblemente para determinar un valor para la dirección p del viento de sotavento o la desalineación γ , en el que la función de modelo asume un máximo, es decir, para el cual la medida de potencia es máxima.

El equipo 4 de control también presenta preferiblemente una interfaz 4e, que está configurada para emitir la función f de corrección de orientación determinada. La función f de corrección de orientación, que puede ser en particular un ángulo de corrección o una función de ángulo de corrección, se puede utilizar para ajustar la orientación de la góndola 11 o del eje X de rotor con respecto a la dirección WR del viento de barlovento, de tal manera que el rendimiento del aerogenerador 10 se mejora.

La figura 2 muestra un ejemplo de realización preferido de un procedimiento 100 para determinar una función v de corrección para un aerogenerador, que presenta preferiblemente un anemómetro para medir una velocidad del viento y un anemotropómetro para medir una dirección del viento, en donde el anemómetro y el anemotropómetro están dispuestos preferiblemente en el lado de sotavento de un rotor del aerogenerador, por ejemplo, sobre una góndola del aerogenerador. Por tanto, la dirección del viento medida con el anemotropómetro puede ser, en particular, una dirección del viento de sotavento y, por tanto, la velocidad del viento medida con el anemómetro puede ser una velocidad del viento de sotavento.

En una etapa S1 de procedimiento se mide una velocidad W_{Sa} del viento de barlovento, donde la velocidad W_{Sa} del viento de barlovento designa preferiblemente la velocidad del viento representativa, con la que el viento fluye hacia el rotor del aerogenerador. Además, se mide la dirección μ del viento de sotavento y la velocidad W_{Sb} del viento de sotavento, en donde se registra en cada caso una pluralidad de valores de medición en un periodo de tiempo determinado.

La velocidad W_{Sa} del viento de barlovento puede medirse, por ejemplo, por medio de un dispositivo de detección, en particular, por medio de un equipo LiDAR, un equipo SODAR o un anemómetro de referencia, en donde el dispositivo de detección está dispuesto preferiblemente en el lado de barlovento del aerogenerador de tal manera, que el viento que fluye hacia el dispositivo de detección también fluye a hacia el rotor del aerogenerador después de pasar por el dispositivo de detección. La dirección p del viento de sotavento y la velocidad W_{Sb} del viento de sotavento se miden en el lado de sotavento con el anemómetro o el anemotropómetro.

Dado que el rotor del aerogenerador influye tanto en la dirección de propagación como en la velocidad del viento que pasa a través de una superficie barrida por las palas de rotor del rotor, la dirección p del viento a sotavento medida no corresponde a la dirección desde la que fluye el viento hacia el rotor y la velocidad W_{Sb} del viento de sotavento medida tampoco corresponde a la velocidad W_{Sa} del viento de barlovento medida. Por ejemplo, la turbulencia generada por el rotor, la energía extraída del rotor y el giro pueden provocar tanto un cambio en la dirección del viento en el lado de sotavento del rotor, como una disminución de la velocidad del viento.

En otra etapa S2 de procedimiento se determina una función v de corrección, basándose en los valores de medición registrados por medio de un modelo, donde se establece una relación de los valores de medición entre sí registrados en el modelo. A este respecto, la función v de corrección indica preferiblemente la relación entre la velocidad W_{Sa} del viento de barlovento y la velocidad W_{Sb} del viento de sotavento, dependiendo de la dirección p del viento de sotavento, es decir, por medio de la función v de corrección puede asignarse una velocidad W_{Sa} del viento de barlovento correspondiente a una velocidad del viento W_{Sb} de sotavento medida dependiendo de la dirección p del viento de sotavento. En particular, la función v de corrección permite una corrección de las velocidades W_{Sb} del viento de sotavento medidas con respecto a las turbulencias provocadas por el rotor.

La función v de corrección se basa preferiblemente en un modelo de regresión multilíneal con coeficientes β de regresión, donde los coeficientes β de regresión se determinan preferiblemente en el marco de la determinación de la función v de corrección. Por ejemplo, la asignación entre sí de los valores de medición para la velocidad W_{Sa} del viento de barlovento, para la velocidad W_{Sb} del viento de sotavento y para la dirección p del viento de sotavento se puede aproximar mediante un ajuste tridimensional.

Preferiblemente, se establece una relación de valores de medición entre sí en un sistema de ecuaciones para la determinación de los coeficientes β de regresión. Los valores de medición para la velocidad W_{Sa} del viento de barlovento, los valores de medición para la velocidad W_{Sb} del viento de sotavento y los valores de medición para la dirección p del viento de sotavento pueden resumirse en cada caso en un vector, por ejemplo, $\underline{W_{Sa}} = [W_{Sa1}, \dots, W_{San}]$, $\underline{W_{Sb}} = [W_{Sb1}, \dots, W_{Sbn}]$ y $\underline{\mu} = [\mu_1, \dots, \mu_n]$, en donde el índice i = 1, ..., n identifica el i-ésimo valor de medición y n es el número de valores de medición. Los valores de medición resumidos vectorialmente se pueden usarse en el marco de una ecuación matricial $\underline{\beta} = (Y' \cdot Y)^{-1} \cdot Y' \cdot \underline{W_{Sa}}$ para determinar los coeficientes de regresión $\underline{\beta} = [\beta_1, \dots, \beta_m]$. A este respecto $Y = [1, \underline{W_{Sb}}, \underline{\mu}]$ es una matriz que contiene los valores de medición resumidos vectorialmente para la velocidad W_{Sb} del viento de sotavento y la dirección p del viento de sotavento. Y' es a este respecto la transpuesta de la matriz Y e Y^{-1} la inversa de la matriz Y.

En lugar de la dirección p del viento de sotavento medida, también se puede utilizar una desalineación, que tenga en cuenta la influencia del rotor sobre la dirección p del viento de sotavento medida en forma de un valor de compensación especialmente constante.

En otra etapa S3 de procedimiento se emite la función v de corrección.

La figura 3 muestra un ejemplo del efecto de una corrección de las velocidades del viento de sotavento medidas por medio del procedimiento descrito en relación con la figura 2 para determinar una función de corrección para un aerogenerador. Para los gráficos que se muestran en las figuras 3a) y b), se midieron velocidades del viento de barlovento por medio de un equipo LiDAR cerca del suelo en el lado de barlovento directamente delante del aerogenerador. Las velocidades del viento de sotavento se midieron por medio de un anemómetro dispuesto sobre la góndola.

La figura 3a) muestra la relación entre velocidades del viento de sotavento medidas y velocidades del viento de barlovento medidas dependiendo de la desalineación de una góndola del aerogenerador, donde las velocidades del viento de sotavento medidas no se corrigieron con la función de corrección. La desalineación se basa preferiblemente en una dirección del viento de sotavento medida, a la que se le añadió un valor de compensación, por ejemplo, para compensar la influencia de las turbulencias generadas por un rotor del aerogenerador sobre la dirección del viento de sotavento medida. Dado que el valor de compensación es preferiblemente constante, la referencia a la desalineación también puede entenderse a continuación como referencia a la velocidad del viento de sotavento.

Las velocidades del viento medidas se agruparon en contenedores de velocidad del viento $i = 6, 7, 8, 9$ y la diferencia entre la velocidad del viento de barlovento medida y la velocidad del viento de sotavento medida se representó en cada caso frente a la desalineación. Alternativamente, las diferencias también podrían representarse directamente en función de la dirección del viento de sotavento, a partir de lo cual se determina la desalineación. Para cada uno de los contenedores i de velocidad del viento, la dependencia de la diferencia con la desalineación se determinó mediante un ajuste lineal. Las rectas G de compensación determinadas a este respecto se muestran en la figura 3a).

Queda claro que la figura 3a) muestra una disminución de la velocidad del viento de sotavento medida para errores de orientación positivos.

La figura 3b) muestra la relación entre las velocidades del viento de sotavento corregidas y las velocidades del viento de sotavento medidas dependiendo de la desalineación de la góndola, donde las velocidades del viento de sotavento corregidas se basan en las velocidades del viento de sotavento medidas corregidas por medio de la función de corrección.

También en este caso, las velocidades del viento medidas se agruparon en contenedores j de velocidad del viento $= 6, 7, 8, 9$ y la diferencia entre la velocidad del viento de barlovento medida y la velocidad del viento de sotavento corregida se representó en cada caso frente a la desalineación. Igualmente se determinó para cada uno de los contenedores j de velocidad del viento, la dependencia de la diferencia con la desalineación mediante un ajuste lineal. Las rectas G de compensación determinadas a este respecto se representan en la figura 3b).

Queda claro que la diferencia entre la velocidad del viento medida y la velocidad del viento de sotavento corregida no depende de la desalineación o al menos solo lo hace ligeramente. Independientemente de cómo fluya el viento hacia el rotor, a partir de la velocidad del viento de barlovento medida se puede obtener mediante la función de corrección una correspondiente velocidad del viento de barlovento, que corresponde al menos esencialmente a una velocidad del viento de barlovento medida independientemente.

La figura 4 muestra un ejemplo de funciones m_i de modelo mediante las cuales pueden determinarse funciones f_i de corrección de orientación en cada caso para un contenedor $j = 6, 7, 8, 9$ de velocidad del viento. Las funciones m_i de modelo indican a este respecto preferiblemente la relación entre una medida de potencia, por ejemplo, la velocidad de rotor del rotor de un aerogenerador y una desalineación de una góndola del aerogenerador.

Se ha demostrado que el uso de la velocidad del rotor, es decir, la velocidad de giro del rotor es generalmente incluso una mejor medida de potencia que el uso de la potencia de generador, por ejemplo. Esto se debe a que trazar la velocidad de giro de rotor frente a la desalineación da como resultado curvas más curvas que el uso del rendimiento, mediante lo cual se facilita la determinación del máximo y , por lo tanto, del punto de funcionamiento óptimo.

A este respecto, la desalineación se basa preferiblemente en una velocidad del viento de sotavento medida, a la que se suma un valor de compensación, por ejemplo, para compensar las turbulencias en la medición. Dado que el valor de compensación es preferiblemente constante, la referencia a la desalineación también puede entenderse a continuación como referencia a la velocidad del viento de sotavento.

Las funciones m_i de modelo se determinan preferiblemente basando la relación entre la medida de potencia y la desalineación en un modelo, en particular, un modelo polinómico y adaptando el modelo, determinando los coeficientes

de regresión del modelo. Los coeficientes de regresión se pueden determinar, por ejemplo, ajustando los valores de medición para la medida de potencia y la desalineación con un polinomio.

A este respecto, los valores de medición para la medición de potencia y la desalineación se agrupan preferiblemente en contenedores j de velocidad del viento en función de una velocidad del viento de sotavento medida, para la cual los valores de medición individuales se registraron preferiblemente al menos esencialmente en cada caso al mismo tiempo que los valores de medición individuales para la medida de potencia y la desalineación. Esto significa que las funciones m_i de modelo pueden determinarse dependiendo de las velocidades del viento, que se caracterizan por los contenedores j de velocidad del viento.

Las funciones f_i de corrección de orientación se determinan basándose en las funciones m_i de modelo, de manera que las funciones f_i de corrección de orientación cumplen un criterio predeterminado con respecto a las funciones m_i de modelo. Como se muestra en la figura 4, la función f_i de corrección de orientación puede indicar en cada caso el valor para el error de orientación, en el que la función m_i de modelo asociada es máxima. Es decir, preferiblemente, la función f_i de corrección de orientación indica el ángulo en torno al que tiene que girarse la góndola del aerogenerador con respecto a una desalineación de 0° , para generar la máxima potencia posible para la configuración dada del aerogenerador, por ejemplo, con un cierto ángulo de ataque de las palas de rotor.

La figura 4a) muestra las funciones m_i de modelo y funciones f_i de corrección de orientación, que se determinaron basándose en una agrupación de valores de medición de velocidad del viento de sotavento, sin corregir los valores de medición para la velocidad del viento de sotavento.

La figura 4b) muestra las funciones m_i de modelo y funciones de f_i corrección de orientación que se determinaron a partir de una agrupación de valores de medición para la velocidad del viento de sotavento, donde los valores de medición para la velocidad del viento de sotavento se corrigieron por medio de una función de corrección, que se determinó preferiblemente según un procedimiento descrito en relación con la figura 2. Como se muestra, para la función f_i de corrección de orientación a este respecto resultan ángulos de corrección más pequeños que en el caso mostrado en la figura 4a) con valores de medición no corregidos. En otras palabras, un aerogenerador cuya orientación se corrige dependiendo de una dirección del viento de sotavento medida para lograr una mejor producción de potencia normalmente está sobrevirado, es decir, se realizan correcciones de la orientación que son demasiado grandes. Esto puede tener un impacto negativo en la potencia generada. Por el contrario, corregir la velocidad del viento de sotavento medida representa una posibilidad de lograr una mejor producción de potencia.

Especialmente en el caso de la función m_6 de modelo, es decir, para el contenedor de viento, que corresponde a una velocidad del viento de 6 m/s , se puede ver en la figura 4a) que el uso de la velocidad del viento de sotavento sin una función de corrección da como resultado una desalineación de 15° , mientras que en la figura 4b) utilizando la velocidad del viento de sotavento mediante una función de corrección se determina una desalineación de aproximadamente -3° . Esto significa que sin una corrección de la velocidad del viento de sotavento según la invención se determina una velocidad del viento de barlovento, lo que conduce a resultados incorrectos. Por el contrario, con la corrección según la invención, en cuya determinación se tiene en cuenta la dirección del viento de sotavento medida, se consigue una precisión mejorada en la orientación del aerogenerador. Esto permite en particular una potencia mejorada del aerogenerador.

La figura 5 muestra un ejemplo de realización preferido de un procedimiento 200 según la invención para determinar una función f de corrección de orientación para una góndola de un aerogenerador dispuesta en una torre.

En una etapa S4 de procedimiento se miden una medida P de potencia del aerogenerador, una dirección p del viento de sotavento y una velocidad WSb del viento de sotavento. Como se muestra en relación con la figura 1, a este respecto una pluralidad de valores de medición para la dirección p del viento de sotavento se genera y registra preferiblemente por al menos un anemómetro y una pluralidad de valores de medición para la velocidad WSb del viento de sotavento por un anemotrópometro durante un periodo de tiempo determinado, en donde el anemotrópometro y el al menos un anemómetro están dispuestos preferiblemente en el lado de sotavento de un rotor del aerogenerador. Durante el mismo periodo se registra también una pluralidad de valores de medición para una medida P de potencia del aerogenerador.

Basándose en los tiempos en los que se registraron los valores de medición, los valores de medición para la medida P de potencia y los valores de medición para la dirección p del viento de sotavento se asignan a los valores de medición para la velocidad WSb del viento de sotavento en otra etapa S5 de procedimiento. Los valores de medición para las velocidades WSb del viento de sotavento se agrupan a su vez en al menos un contenedor de velocidad del viento, de modo que en una etapa S6 de procedimiento adicional para el al menos un contenedor de velocidad del viento puede determinarse una función m de modelo para una relación entre la medida P de potencia y la dirección p del viento de sotavento basándose en los valores de medición para la medida P de potencia y la dirección p del viento de sotavento, que se asignan a los valores de medición para la velocidad WSb del viento de sotavento agrupados en el al menos un contenedor de velocidad del viento.

En la etapa S6 de procedimiento, la función m de modelo se basa preferiblemente en un modelo polinómico con varios coeficientes de regresión, que puede adaptarse preferiblemente a la relación medida entre la medida P de potencia y la dirección p del viento de sotavento por medio de un cálculo de compensación, en particular, un análisis de regresión. Los coeficientes de regresión determinados a este respecto permiten una asignación precisa de cada medida P de potencia medida a una dirección μ del viento de sotavento.

Mediante la función m de modelo puede determinarse una función f de corrección de orientación en una etapa S7 de procedimiento adicional, donde preferiblemente se tiene en cuenta que la función f de corrección de orientación debe cumplir un criterio predeterminado con respecto a la función m de modelo, por ejemplo, la maximización de la función m de modelo. En este caso, la función f de corrección de orientación así determinada sirve preferiblemente para la orientación nominal de la góndola con respecto a la dirección μ del viento de sotavento medida, por ejemplo, para aumentar la potencia generada por el aerogenerador.

La función f de corrección de orientación determinada se emite en otra etapa S8 de procedimiento.

Dado el caso, en el procedimiento 200 descrito anteriormente, en lugar de la dirección p del viento de sotavento también se puede utilizar una desalineación de la góndola, que resulta de la dirección del viento de sotavento y un valor de compensación especialmente constante.

La figura 6 muestra un ejemplo de realización preferido de un procedimiento 300 según la invención para hacer funcionar un aerogenerador con una góndola dispuesta sobre una torre, un rotor y un anemómetro, donde el anemómetro está dispuesto en el lado de sotavento del rotor.

En una etapa S9 de procedimiento se determina una velocidad WSb del viento de sotavento por medio del anemómetro. Esta velocidad WSb del viento de sotavento puede usarse en una etapa S10 de procedimiento adicional para orientar la góndola aplicando una función de corrección de orientación que se determina preferiblemente según un procedimiento realizado en relación con la figura 5.

Por ejemplo, mediante la velocidad WSb del viento de sotavento medida, por medio de una línea característica de servicio que viene dada por la función de corrección de orientación, puede determinarse un ángulo de corrección, por medio del cual la góndola puede desviarse aún más con respecto a una orientación en la que una desalineación de la góndola es al menos esencialmente cero, para conseguir una mejora de la potencia generada por el aerogenerador.

Lista de referencias

- 1 sistema para determinar una función de corrección de orientación
- 2a, 2b anemómetro
- 3 anemotropómetro
- 3a veleta
- 4 equipo de control
- 4a medios para registrar
- 4b medios para asignar
- 4c medios para determinar una función de modelo
- 4d medios para determinar una función de corrección de orientación
- 4e interfaz
- 10 aerogenerador
- 11 góndola
- 12 rotor
- 100 procedimiento para determinar una función de corrección
- 200 procedimiento para determinar una función de corrección de orientación
- 300 procedimiento para hacer funcionar un aerogenerador

	X	eje de rotor
	E	plano
5	Wsa	velocidad del viento de barlovento
	WSb	velocidad del viento de sotavento
10	WR	dirección de barlovento
	P	medida de potencia
	p	dirección del viento de sotavento
15	j	contenedor de velocidad del viento
	δ	valor de compensación
20	γ	desalineación
	m	función de modelo
	f	función de corrección de orientación
25	v	función de corrección
	G	rectas de compensación
30	S1 - S10	Etapas de procedimiento

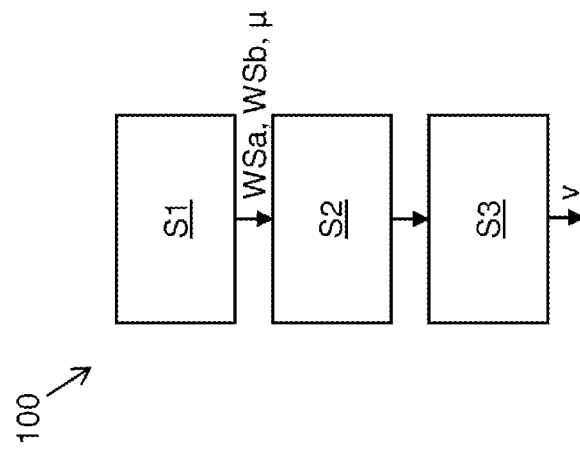
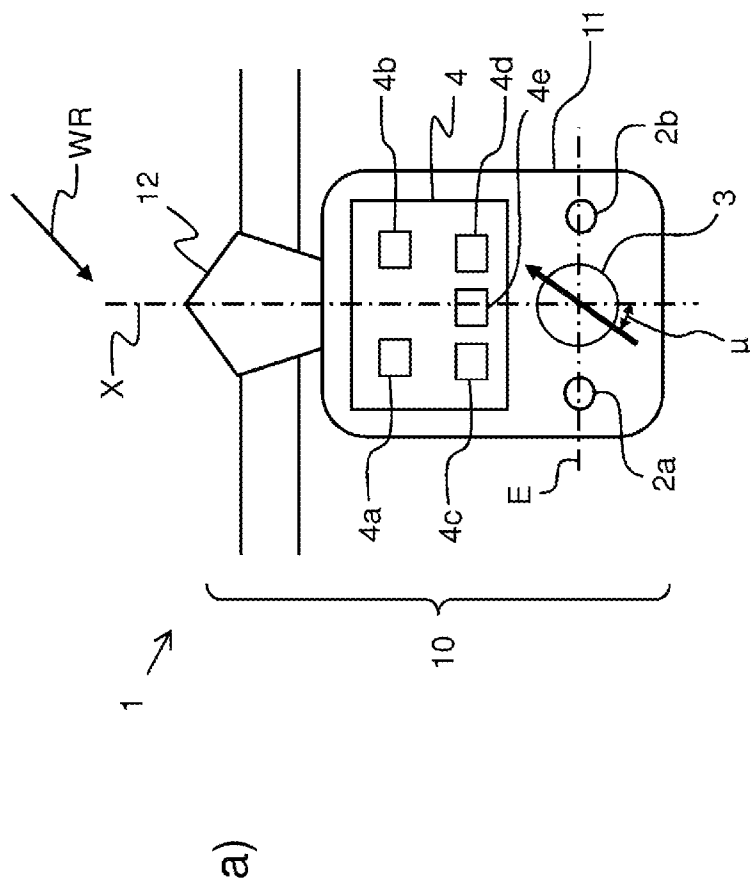
REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) para determinar una función (v) de corrección para un aerogenerador (10), mediante el cual puede determinarse una velocidad (WSa) del viento de barlovento basándose en una velocidad (WSb) del viento de sotavento medida por un anemómetro (2a, 2b) del lado de sotavento del aerogenerador (10), en donde barlovento y sotavento se refieren a un rotor (12) del aerogenerador (10), que presenta las siguientes etapas de trabajo:

10 medir (S1) una velocidad (WSa) del viento de barlovento, una velocidad (WSb) del viento de sotavento y una dirección (μ) del viento de sotavento, en donde en cada caso se registra una pluralidad de valores de medición en un periodo de tiempo determinado; y
15 determinar (S2) la función (v) de corrección basándose en los valores de medición registrados por medio de un modelo, en donde se establece una relación entre los valores de medición registrados en el modelo y la función (v) de corrección asigna una velocidad (WSa) del viento de barlovento a una velocidad (WSb) del viento de sotavento en función de una dirección (μ) del viento de sotavento; y emitir la función (v) de corrección determinada.
2. Procedimiento (100) según la reivindicación 1, en donde el modelo es un modelo de regresión multilíneal.
- 20 3. Procedimiento (100) según la reivindicación 1 o 2, en donde la función (v) de corrección se determina basándose en un cálculo de compensación, en particular, un análisis de regresión.
- 25 4. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la velocidad (WSa) del viento de barlovento se determina por medio de un dispositivo de detección que está configurado como equipo LiDAR, equipo SODAR o anemómetro de referencia.
- 30 5. Procedimiento (100) según la reivindicación 4, en donde el dispositivo de detección está dispuesto en el lado de barlovento y separado del aerogenerador (10), en particular, en un aerogenerador adyacente.
- 35 6. Procedimiento (200) para determinar una función (f) de corrección de orientación para una góndola (11) de un aerogenerador (10) dispuesta en una torre, en donde el aerogenerador (10) presenta al menos un anemómetro (2a, 2b) dispuesto en un lado de sotavento de un rotor (12) del aerogenerador (10) y un anemotopómetro (3) dispuesto en el lado de sotavento del rotor (12), que presenta las siguientes etapas de trabajo:

40 medir (S4) una medida (P) de potencia del aerogenerador (10), una dirección (μ) del viento de sotavento por medio del anemotopómetro (3) y una velocidad (WSb) del viento de sotavento por medio del al menos un anemómetro (2a, 2b), en donde en cada caso se registra una pluralidad de valores de medición durante un periodo de tiempo determinado;
45 asignar (S5) valores de medición de la medida (P) de potencia y la dirección (μ) del viento de sotavento a valores de medición de la velocidad (WSb) del viento de sotavento agrupados en al menos un contenedor (j) de velocidad del viento basándose en tiempos, en los que se registraron los valores de medición, en donde los valores de medición de la velocidad (WSb) del viento de sotavento se corrigen por medio de una función (v) de corrección determinada según un procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 1 a 5;
50 determinar (S6) una función (m) de modelo para una relación entre la medida (P) de potencia y la dirección (μ) del viento de sotavento para el al menos un contenedor (j) de velocidad del viento;
55 determinar (S7) una función (f) de corrección de orientación para una orientación objetivo de la góndola (11) con respecto a la dirección (μ) del viento de sotavento medida basándose en la función (m) de modelo, en donde la función (f) de corrección de orientación cumple un criterio predeterminado con respecto a la función (m) de modelo determinada para el al menos un contenedor (j) de velocidad del viento; y
60 emitiendo (S8) la función (f) de corrección de orientación determinada.
- 65 7. Procedimiento (200) según la reivindicación 6, en donde el criterio es una maximización de la función (m) de modelo.
8. Procedimiento (200) según una de las reivindicaciones 6 o 7, en donde la medida (P) de potencia es una velocidad de giro de rotor del rotor (12) o una velocidad de giro de generador de un generador del aerogenerador (10).
9. Procedimiento (200) según una de las reivindicaciones 6 a 8, en donde la función (m) de modelo se determina para varios contenedores (j) de velocidad del viento y la función (f) de corrección de orientación emitida constituye una línea característica de servicio para la orientación objetivo de la góndola (11) con respecto a la dirección (μ) del viento de sotavento medida.

10. Procedimiento (300) para hacer funcionar un aerogenerador (10) con una góndola (11) dispuesta sobre una torre, un rotor (12) y un anemómetro (2a, 2b), en donde el anemómetro (2a, 2b) está dispuesto en el lado de sotavento del rotor (12), que presenta las siguientes etapas de trabajo:
 - 5 determinar (S9) una velocidad (WSb) del viento de sotavento por medio del anemómetro (2a, 2b); y orientar (S10) la góndola (11) con el uso de una función (f) de corrección de orientación determinada según el procedimiento (200) según una de las reivindicaciones 6 a 9, en particular, una línea característica de servicio, teniendo en cuenta la velocidad (WSb) del viento de sotavento determinada.
 - 10 11. Sistema (1) para determinar una función (f) de corrección de orientación para una góndola (11) de un aerogenerador (10) dispuesta sobre una torre, en donde el sistema presenta al menos un anemómetro (2a, 2b), un anemotropómetro (3) y un equipo (4) de control, en donde el al menos un anemómetro (2a, 2b) y el anemotropómetro (3) están dispuestos en un lado de sotavento de un rotor (12) del aerogenerador (8) y el equipo (4) de control presenta:
 - 15 medios (4a) para registrar una pluralidad de valores de medición de una velocidad (WSb) del viento de sotavento determinada por medio del anemómetro (2a, 2b), una dirección (μ) del viento de sotavento determinada por medio del anemotropómetro (3) y una medida (P) de potencia del aerogenerador (10) durante un periodo de tiempo determinado;
 - 20 medios (4b) para asignar valores de medición de la medida (P) de potencia y la dirección (μ) del viento de sotavento a valores de medición de la velocidad (WSb) del viento de sotavento agrupados en al menos un contenedor (j) de velocidad del viento basándose en tiempos, en los que se registraron los valores de medición, en donde los valores de medición de la velocidad (WSb) del viento de sotavento se corrigen por medio de una función (v) de corrección;
 - 25 medios (4c) para determinar una función (m) de modelo para una relación entre la medida (P) de potencia y la dirección (μ) del viento de sotavento para el al menos un contenedor (j) de velocidad del viento;
 - 30 medios (4d) para determinar una función (f) de corrección de orientación para una orientación objetivo de la góndola (11) con respecto a la dirección (μ) del viento de sotavento medida basándose en la función (m) de modelo, en donde la función (f) de corrección de orientación cumple un criterio predeterminado con respecto a la función (m) de modelo determinada para el al menos un contenedor (j) de velocidad del viento; e
 - 35 interfaz (4e) para emitir la función (f) de corrección de orientación determinada, en donde los valores de medición de la velocidad (WSb) del viento de sotavento se corrigen por medio de una función (v) de corrección determinada según un procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 1 a 5.
 - 40 12. Programa informático que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan con un ordenador, hacen que el sistema, en particular, el equipo de control del sistema, según la reivindicación 11, realice las etapas de un procedimiento (100, 200, 300) según una de las reivindicaciones anteriores.
 - 45 13. Medio legible por ordenador en el que está almacenado un programa informático según la reivindicación 12.



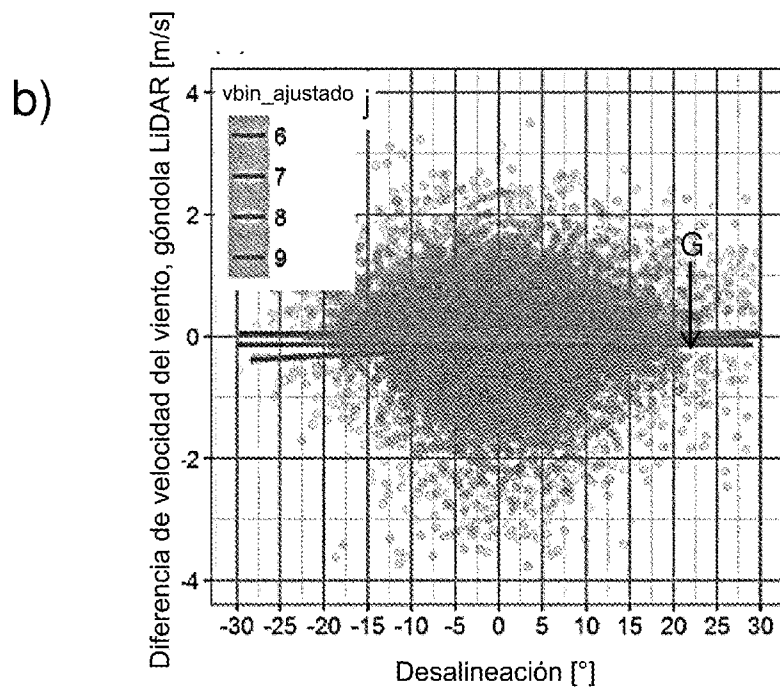
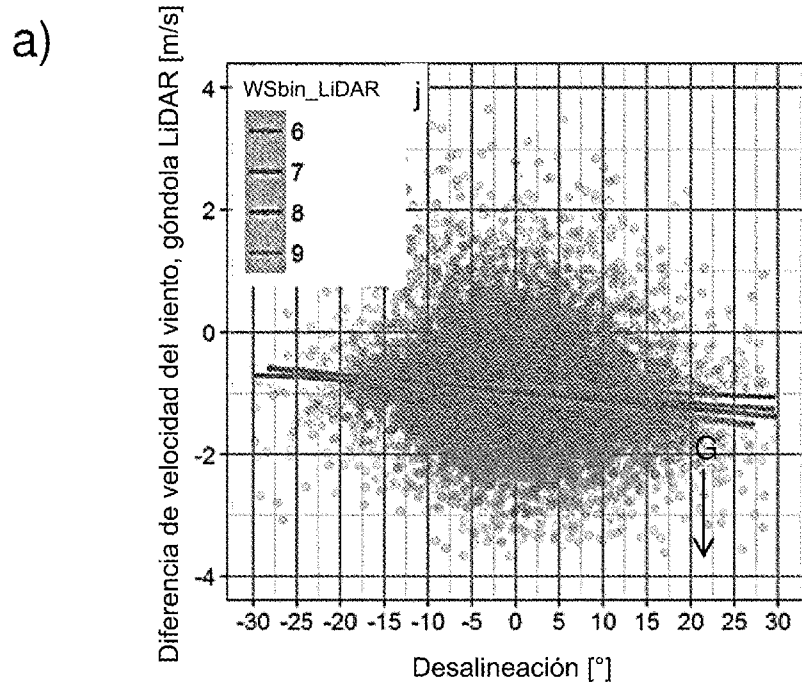
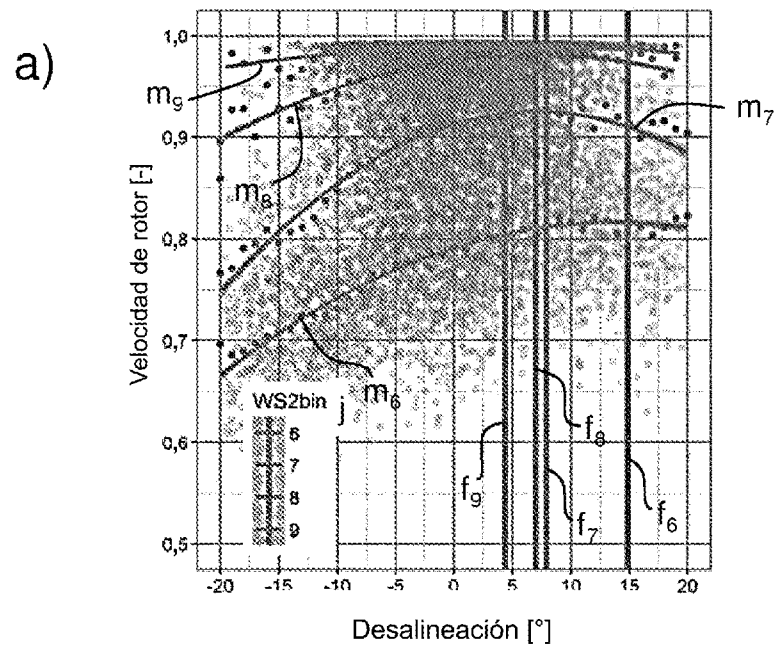


Figura 3

Sin corrección de los valores de medición para la velocidad del viento de sotavento



Con corrección de los valores de medición para la velocidad del viento de sotavento

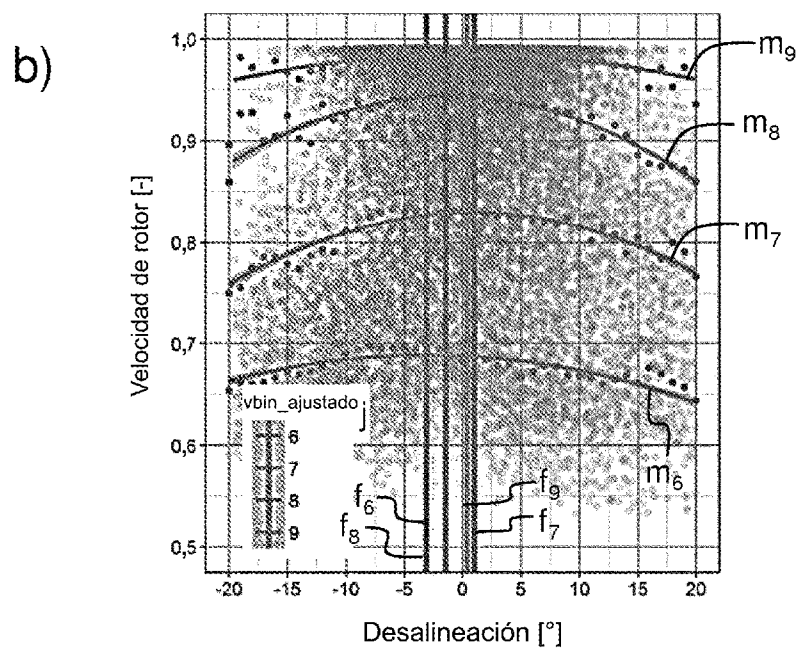


Figura 4

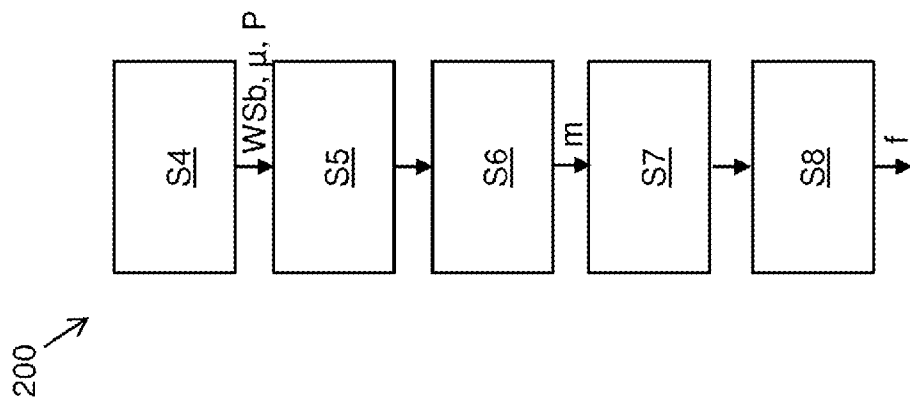


Figura 5

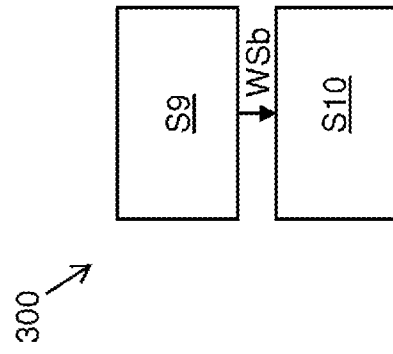


Figura 6