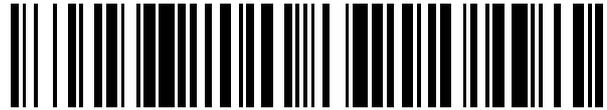


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 559 636**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.04.2009 E 09005310 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2015 EP 2112373**

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

30 Prioridad:

22.04.2008 DE 102008020154

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

15.02.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**V. MUTIUS, MARTIN;
WEITKAMP, ROLAND y
ANEMÜLLER, JOCHEN**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 559 636 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. En el procedimiento se determina un valor de flujo transversal que representa la desviación entre la dirección del viento y la dirección del eje del rotor del aerogenerador. Si el valor del flujo rebasa un valor límite preestablecido, se reduce el número de revoluciones del rotor del aerogenerador. La invención se refiere además a una instalación para la puesta en práctica del procedimiento. Esta instalación comprende un aerogenerador y un instrumento para la medición de la dirección del viento, previéndose una unidad de control que reduce el número de revoluciones del rotor del aerogenerador cuando el flujo transversal medido con ayuda de instrumento para la medición de la dirección del viento rebasa un valor límite preestablecido.

15 Lo mejor para el funcionamiento de los aerogeneradores es que las condiciones de viento sean constantes y que el viento llegue al aerogenerador lo más paralelo posible al eje del rotor. En la práctica, estas condiciones ideales no se suelen dar con muchas frecuencia por lo que hay que manejar los cambios permanentes de las condiciones del viento. De acuerdo con las experiencias, una carga especialmente grande supone para los aerogeneradores que el viento incida en el aerogenerador en dirección diagonal. En este caso, durante cada vuelta y según la posición angular, las palas del rotor están expuestas a distintas cargas. Esto causa vibraciones que se pueden transmitir desde las palas del rotor, a través del eje del rotor, hasta los cimientos del aerogenerador.

20 Del documento DE 10 2006 034 106 A1 se conoce un procedimiento en el que se reduce el número de revoluciones del rotor cuando el ángulo del flujo transversal, es decir el ángulo entre la dirección momentánea del viento y el eje del rotor, es demasiado grande. Es cierto que este procedimiento puede contribuir en principio a reducir la carga del aerogenerador. Sin embargo, debido al criterio muy simple del que depende la reducción del número de revoluciones, el número de revoluciones del rotor se reduce muchas veces incluso en situaciones en las que el aerogenerador en realidad no está expuesto a ninguna carga especial. Esto da lugar a pérdidas de producción innecesarias.

25 Partiendo del estado de la técnica inicialmente mencionado, la invención se basa en la tarea de presentar un procedimiento y una instalación con los que la carga de los aerogeneradores causada por un flujo transversal se pueda reducir específicamente. Esta tarea se resuelve gracias a las características de las reivindicaciones independientes. Otras variantes de realización ventajosas son objeto de las subreivindicaciones.

30 De acuerdo con la invención se determina en el procedimiento, además del valor de flujo transversal que representa la desviación entre la dirección del viento y la dirección del eje del rotor del aerogenerador, un valor de carga que representa el estado de carga del aerogenerador. Por medio de la relación funcional se calcula, a partir del valor de carga y del valor de flujo transversal, un valor de carga total. La relación funcional consiste en que el valor de carga total varía de forma monótona en función del valor de carga y en función del valor de flujo transversal. El número de revoluciones del rotor del aerogenerador se reduce después de rebasar el valor de carga total un primer valor límite. El aerogenerador se desconecta cuando el valor de carga total está por encima del primer valor límite superando además un segundo valor límite que depende de la carga total del aerogenerador. La reducción del número de revoluciones del rotor y la desconexión del aerogenerador se pueden producir de forma directa al rebasarse el primer y el segundo valor límite. Alternativamente se puede prever que el primer y el segundo valor límite se tengan que rebasar durante un espacio de tiempo previamente determinado antes de que se reduzca el número de revoluciones o se desconecte el aerogenerador.

45 En primer lugar se van a explicar algunos conceptos. Se habla de un flujo transversal cuando la dirección del viento en dirección horizontal y/o vertical se desvía de la dirección del eje del rotor. El valor de flujo transversal se basa en uno o varios valores de medición de la dirección del viento. En el caso más sencillo el valor de flujo transversal corresponde al ángulo entre la dirección del viento medida momentáneamente y el eje del rotor. El valor de flujo transversal también se puede determinar sobre la base de una pluralidad de valores de medición, por ejemplo mediante formación de un valor medio local o transitorio. Se pueden prever promediaciones simples, promediaciones flotantes y promediaciones no lineales. En el caso de la promediación no lineal los valores de medición, que indican una fuerte desviación entre la dirección del viento y la dirección del eje del rotor, se pueden incluir en la promediación de forma sobreproporcional, por ejemplo de forma cuadrada, cúbica o exponencial. En el valor de flujo transversal también se puede tener en cuenta la velocidad angular a la que cambia la dirección del viento. La manera de obtener el valor de medición de la dirección del viento carece de importancia. El valor de medición se puede basar en la posición de una veleta.

55 También es posible obtener información acerca de la dirección del viento de los valores de medición de aerogeneradores cercanos. Otra posibilidad consiste en exponer al viento un elemento alargado dotado de cierta elasticidad y en medir la dirección en la que se dobla dicho elemento. La dirección del viento se puede determinar igualmente con ayuda de anemómetros de ultrasonido.

60 La carga a la que está sometido un aerogenerador se refleja en distintos valores que se pueden registrar en un aerogenerador. La carga de un aerogenerador aumenta, por ejemplo, con el incremento del número de revoluciones del rotor o con el incremento de la potencia del generador. Una carga especial del aerogenerador también se puede

expresar en el hecho de que los parámetros de funcionamiento del aerogenerador superen los límites previstos. La carga del aerogenerador se puede reflejar igualmente en una carga, solicitación o deformación de las palas del rotor, en una carga, solicitación, deformación o vibración de los componentes del aerogenerador, en el ángulo de paso de las palas del rotor o en la aceleración de la cabeza de la torre. También sería posible determinar indirectamente la carga de un aerogenerador, por ejemplo sacando conclusiones acerca de la carga del aerogenerador de la fuerza del viento. Sin embargo, en la práctica resulta difícil determinar la velocidad del viento con exactitud. El valor de carga a determinar según la invención se basa en valores de medición que reproducen la carga del aerogenerador. El valor de carga puede incluir valores de medición de uno o varios estados o características del aerogenerador.

La relación funcional entre el valor de carga total, el valor de flujo transversal y el valor de carga se define como monótono si el valor de carga total está sometido a una variación en la misma dirección, si el valor de flujo transversal refleja un aumento del flujo transversal y si el valor de carga reproduce un aumento de la carga del aerogenerador. En el caso más sencillo, el valor de flujo transversal y el valor de carga se definen de manera que adopten valores más altos cuando aumenta el flujo transversal o la carga. La relación funcional monótona puede ser de modo que el valor de carga total aumente, tanto con el incremento del valor de flujo transversal, como con el aumento del valor de carga, de manera que el aumento de la función sea siempre mayor que cero, en dependencia de las dos variables. Sin cambiar nada del efecto técnico, la relación funcional también puede ser de forma que el valor de carga total disminuya de manera monótona con el incremento del flujo transversal y de la carga. Sin cambiar el efecto técnico también es posible definir el valor de flujo transversal y/o el valor de carga de modo que disminuya con el incremento del flujo transversal o de la carga del aerogenerador.

La expresión de “superando además un segundo valor límite que depende directa o indirectamente de la carga total del aerogenerador” se refiere exactamente a dos casos técnicamente equivalentes. En el primero de los casos, el aerogenerador se desconecta después de superar el valor de carga total un segundo valor límite, correspondiendo el segundo valor límite a una carga total mayor del aerogenerador que la del primer valor límite. En el segundo caso el aerogenerador se desconecta cuando el parámetro del aerogenerador, variado como consecuencia de la reducción del número de revoluciones, rebasa un valor límite preestablecido. Si, después de superar el primer valor límite, la carga total representada por el valor de carga total sigue aumentando, se adopta una medida para reducir la carga total. La reducción del número de revoluciones se puede producir proporcionalmente al valor de flujo transversal y/o proporcional al valor de carga y/o proporcional al valor de carga total. Esta medida provoca a su vez una variación del parámetro. Si el parámetro rebasa un valor límite preestablecido, se desconecta la instalación. Este criterio de desconexión sólo se produce si el valor de carga total tiene a la vez un valor que se podría emplear como criterio de desconexión. Sin embargo, formalmente la desconexión no depende directamente del valor de carga total. Si se reduce el número de revoluciones, por ejemplo como consecuencia de un incremento ulterior de la carga total más allá del primer valor límite, se puede emplear como criterio de desconexión el hecho de no llegar a un límite mínimo del número de revoluciones. También se pueden considerar el hecho de no alcanzar un límite mínimo de potencia u otro aspecto similar.

En el procedimiento según la invención se combinan varios aspectos. Procediendo a la vista del valor de carga total, basado en el valor de flujo transversal y en el valor de carga, a una estimación de la carga real a la que está expuesto el aerogenerador, se decide sobre la reducción del número de revoluciones del rotor en dependencia de un criterio muy cercano que se debe influenciar, en concreto la carga total del aerogenerador. Al contrario que en el estado de la técnica, la reducción del número de revoluciones no depende únicamente de un solo criterio, que ciertamente es un indicador de la carga total del aerogenerador, pero que con frecuencia incluso da lugar a una reducción del número de revoluciones del rotor cuando la carga total del aerogenerador se encuentra todavía dentro de una gama aceptable. Por lo tanto, el procedimiento según la invención permite emplear la medida de la reducción del número de revoluciones del rotor de forma más acertada que la que permitía el estado de la técnica.

La invención ha reconocido además que, debido al flujo transversal, se pueden producir puntas de carga en el aerogenerador que pueden tener una influencia extraordinariamente negativa en la vida útil del aerogenerador y en sus componentes. Las puntas de carga se producen, por ejemplo, cuando el aerogenerador funciona a potencia nominal o justo por debajo de la potencia nominal y cuando el viento cambia de repente a otra dirección de manera que incida en el rotor en un ángulo inferior a los 45°, por ejemplo. La situación es especialmente crítica si el cambio de dirección del viento va acompañado por un aumento de la velocidad del viento (ráfaga). Una situación como ésta supone una carga tan fuerte para el aerogenerador que ni siquiera se puede aceptar por poco tiempo. Por medio de la carga total determinada según la invención del aerogenerador se pueden reconocer estas puntas de carga y se puede desconectar el aerogenerador. Bien es cierto que así se produce también una pérdida de producción, pero la pérdida causada por este motivo es pequeña en comparación con la que se hubiera producido como consecuencia de una vida útil más corta del aerogenerador. También en esta situación se puede reaccionar de forma más acertada a los flujos transversales que de acuerdo con el estado de la técnica.

En el estado de la técnica ya se ha propuesto desconectar un aerogenerador en caso de fuertes flujos transversales (US 2006/0002791 A1). Sin embargo, el documento US 2006/0002791 A1 nada tiene que ver con el objetivo de la invención de reaccionar de forma acertada a los flujos transversales, puesto que carece de la idea de reaccionar de manera distinta a situaciones de carga diferentes.

La invención permite en especial registrar con toda precisión la carga total de un aerogenerador en la gama especialmente crítica de la velocidad nominal del viento, es decir de la velocidad del viento a la que el

aerogenerador alcanza justo la potencia nominal, y emplear el aerogenerador en caso de fuerte flujo transversal, de modo que se eviten de forma segura cargas inadmisibles maximizando a la vez la producción de energía, es decir, especialmente en la gama de velocidad nominal del viento el aerogenerador puede funcionar justo en sus límites de carga admisibles. Esto no era posible con los procedimientos conocidos hasta ahora.

5 En un caso sencillo del procedimiento según la invención el valor de carga se pone igual a 0, cuando el valor de medición (por ejemplo el número de revoluciones del rotor), en el que se basa el valor de carga, está por debajo de un valor preestablecido (por ejemplo la mitad del número de revoluciones nominal) y se pone igual a 1, cuando el valor de medición supera el valor preestablecido. Por consiguiente, el valor de flujo transversal es igual a 0 cuando el valor de medición que sirve de base (por ejemplo el ángulo entre la dirección momentánea del viento y el eje del rotor) se encuentra por debajo de un primer valor preestablecido (por ejemplo 30°), siendo igual a 1 cuando el valor de medición supera el primer valor preestablecido e igual a 2 cuando el valor de medición supera un segundo valor preestablecido (por ejemplo 45°). El valor de carga total se puede calcular después por multiplicación del valor de carga por el valor de flujo transversal, y el número de revoluciones se reduce si el valor de carga total es mayor o igual a 1, desconectándose el aerogenerador cuando el valor de carga total es mayor o igual a 2. Los valores 0, 1, 2 sirven únicamente a modo de ilustración, consiguiéndose el mismo efecto técnico con otros números que incluso pueden presentar otras proporciones. En esta variante de realización, el efecto técnico del procedimiento según la invención es comparable a un procedimiento en el que se combinan entre sí diferentes consultas lógicas. Una reivindicación independiente propia pone de manifiesto que el objeto de protección comprende también esta variante de realización.

20 El valor de flujo transversal se puede determinar alternativamente sobre la base de varias magnitudes representativas de la dirección del viento. Una primera magnitud (por ejemplo notificación normal de valores de medición de la dirección del viento) es característica de los estados de carga que se pueden contrarrestar con una reducción del número de revoluciones del rotor. Una segunda magnitud (por ejemplo notificación cuadrada de los valores de medición de la dirección del viento) es característica de los estados de carga en los que conviene desconectar el aerogenerador. El valor de flujo transversal se pone igual a 1 cuando la primera magnitud supera el primer valor límite preestablecido, e igual a 2 cuando la segunda magnitud rebasa un segundo valor límite preestablecido. No es necesario que el segundo valor límite preestablecido sea mayor que el primer valor límite preestablecido. El segundo valor límite preestablecido también puede ser más pequeño o igual al primer valor límite preestablecido. En su efecto técnico, este procedimiento también es similar a una combinación de varias consultas lógicas. Por medio de una reivindicación independiente propia se pone de manifiesto que esta variante de realización está incluida en el objeto de protección.

Las ventajas del procedimiento según la invención se acentúan todavía más cuando el valor de flujo transversal y el valor de carga no sólo representan la superación de algunos valores límite, sino cuando se determinan de modo que su valor resulte tanto más alto cuanto más alta sea la respectiva contribución a la carga total del aerogenerador. El valor de carga total proporciona en este caso una imagen más exacta de la carga total a la que está sometido el aerogenerador.

Si el valor de carga se determina, por ejemplo, sobre la base del número de revoluciones del rotor o de la potencia del generador, el valor de carga constituye únicamente un indicador general de la carga básica del aerogenerador. Si la carga básica es elevada y si de su valor de flujo transversal resulta adicionalmente que el viento incide de forma oblicua en el aerogenerador, el aerogenerador está expuesto a una carga total que hace necesaria una reducción del número de revoluciones del rotor o una desconexión del aerogenerador. Si el procedimiento según la invención se pone en práctica de esta manera, se depende de que el valor del flujo transversal sea un indicador exacto de que el viento llegue realmente de forma oblicua al aerogenerador. Sin embargo, se ha podido comprobar que en muchos casos no es así. Si la dirección del viento se mide con una veleta montada en el aerogenerador, los remolinos de aire pequeños y localmente limitados pueden dar lugar a que la veleta indique ángulos de flujo transversal grandes. Si el valor de flujo transversal se basa en los valores de medición de la dirección del viento de la veleta, indica en una situación como ésta un flujo transversal fuerte a pesar de que el rotor, en su conjunto, no está expuesto a ningún flujo transversal. El valor de carga total es entonces tan grande que se reduce el número de revoluciones del rotor o se desconecta el aerogenerador a pesar de que, en realidad, el aerogenerador sólo está expuesto a la carga básica. Esto provoca pérdidas de producción innecesarias.

La capacidad representativa del valor de carga total se puede perfeccionar determinando el valor de carga de manera que al mismo tiempo sea indicador de la exposición del aerogenerador a un flujo transversal. Este propósito se consigue, por ejemplo, determinando el valor de carga por medio de una sollicitación de los componentes del aerogenerador. El concepto de sollicitación define una dilatación, tensión o deformación en el material provocada por una fuerza que actúa sobre el material desde fuera. La sollicitación puede ser cíclica y manifestarse en forma de vibración. En verdad, las sollicitaciones de los componentes de un aerogenerador también pueden tener otras causas, pero se ha podido observar que las sollicitaciones se producen con frecuencia en relación con un flujo transversal. Cuando tanto el valor de carga basado en una sollicitación, como el valor de flujo transversal son elevados, el valor de carga total resultante de los mismos es un importante indicador de que el aerogenerador realmente está expuesto a una fuerte carga total debido al flujo transversal.

Hay sollicitaciones que se pueden producir con una probabilidad especialmente alta en relación con un flujo transversal. Se trata, por ejemplo, de sollicitaciones en las que las palas del rotor se curvan durante un giro en

determinadas posiciones angulares más que en otras posiciones angulares. La curvatura se puede medir, por ejemplo, por medio de calibres extensométricos y el valor de carga se puede determinar a partir de los valores de medición de los calibres extensométricos.

5 Cuando el valor de carga total refleja una situación en la que el aerogenerador está expuesto a una fuerte carga total por flujo transversal y en la que, al mismo tiempo, las palas del rotor se doblan en determinadas posiciones angulares más que en otras posiciones angulares, es posible reducir la carga total del aerogenerador mediante ajustes cíclicos. En los ajustes, las palas del rotor se ajustan periódicamente para reducir la carga, correspondiendo el período de ajuste al número de revoluciones del rotor.

10 Otra contribución a la reducción de la carga del aerogenerador se puede hacer mediante una nueva orientación del aerogenerador de manera que se reduzca la diferencia entre la dirección del viento y el eje del rotor. Si el aerogenerador se ha apagado después de haber rebasado el valor de carga total el segundo valor límite, conviene iniciar la reorientación inmediatamente después de la desconexión. Si solamente se ha reducido el número de revoluciones del rotor, se puede esperar durante un breve espacio de tiempo a que el viento vuelva a su dirección antes de reorientar el aerogenerador. Alternativamente se puede comenzar con la reorientación de forma inmediata cuando el valor de carga total rebasa el primer valor límite. Incluso sin haberse rebasado un valor límite se puede decidir sobre la reorientación del aerogenerador.

15 El aerogenerador está expuesto a una carga especial cuando cambia la dirección del viento, aumentando al mismo tiempo su fuerza. Dado que un aumento de la fuerza del viento provoca a corto plazo un aumento del número de revoluciones del rotor, esto se puede tener en cuenta determinando el valor de carga sobre la base de un incremento del número de revoluciones. Si el sistema de control mantiene el número de revoluciones a potencia nominal constante, el valor de carga se puede determinar, por ejemplo, sobre la base de un incremento del par de giro o de otra sollicitación.

20 Cuando el valor de carga total rebasa el primer valor límite, la reacción prevista por el procedimiento según la invención puede consistir en que el número de revoluciones del rotor se reduzca en un porcentaje fijo. El número de revoluciones del rotor se puede reducir, por ejemplo, del 100% del número de revoluciones nominal al 90% del número de revoluciones nominal. Alternativamente, el número de revoluciones se puede reducir de forma continua o en varias fases, de modo que cuanto más rebasa el valor de carga total el primer valor límite, tanto más se reduce por debajo del número de revoluciones nominal. Si después se supera también el segundo valor límite, se puede disparar una alarma de desconexión directa que provoca la desconexión del aerogenerador. También es posible reducir el número de revoluciones de modo que quede por debajo de un límite mínimo de revoluciones cuando el valor de carga total rebasa el segundo valor límite. Al pasar a un valor por debajo del límite mínimo de revoluciones, el aerogenerador se desconecta. Por consiguiente, el hecho de no alcanzar el límite del número de revoluciones es una señal de desconexión vinculada indirectamente al segundo valor límite.

25 Además del número de revoluciones se puede reducir la potencia del generador cuando el valor de carga total rebasa el primer valor límite. Se considera una reducción en un porcentaje fijo, por ejemplo del 100% de la potencia nominal al 85% de la potencia nominal. Alternativamente, el número de revoluciones se puede reducir de forma continua o en varias fases, respectivamente en función de la superación del primer valor límite por parte del valor de carga total. Para evitar cambios bruscos en el funcionamiento del aerogenerador, la reducción del número de revoluciones o de la potencia se produce preferiblemente por reducciones del valor teórico en forma de rampa, es decir, reduciendo el valor teórico de revoluciones del 100% al 90% u 80% a través de un tiempo de rampa determinado, por ejemplo de 5 s.

30 Para que la pérdida de producción sea lo más reducida posible se pretende que los espacios de tiempo en los que el aerogenerador funciona a un número de revoluciones reducido sean lo más cortos posible. Sería posible volver a aumentar el número de revoluciones del rotor inmediatamente después de que el valor de carga total descienda por debajo del primer valor límite. Sin embargo, en caso de vientos irregulares esto podría dar lugar a que el número de revoluciones del rotor suba y baje permanentemente. Con preferencia, la reducción del número de revoluciones sólo se anula cuando el valor de carga total se mantiene por debajo del primer valor límite durante un tiempo preestablecido, especialmente de 20 segundos, preferiblemente de 10 segundos y con especial preferencia de 5 segundos. Alternativamente la reducción del número de revoluciones también se puede anular cuando el valor de carga total desciende en un porcentaje determinado por debajo del primer valor límite (histéresis). Si el viento sopla de manera muy irregular puede que sea preferible que el aerogenerador funcione durante un espacio de tiempo más prolongado a un número de revoluciones del rotor reducido. Esto se puede conseguir, por ejemplo, anulando durante un espacio de tiempo determinado sólo cierto número de reducciones del número de revoluciones, por ejemplo un máximo de 10 reducciones del número de revoluciones en 120 minutos, manteniendo el aerogenerador por lo demás durante otros 120 minutos con la reducción del número de revoluciones.

35 La instalación según la invención comprende una primera unidad de valoración para la determinación de un valor de flujo transversal a partir de valores de medición del instrumento para la medición de la dirección del viento y una segunda unidad de valoración para la determinación de un valor de carga a partir de valores de medición del sensor de carga. Se prevé además un módulo de cálculo que calcula un valor de carga total a partir del valor de carga y del valor de flujo transversal. El módulo de cálculo aprovecha una relación funcional conforme a la cual el valor de carga total (G) varía de forma monótona en dependencia del valor de carga (B) y en dependencia del valor de flujo transversal (S). La instalación comprende finalmente una unidad de control que reduce el número de revoluciones

del rotor del aerogenerador cuando el valor de carga total desciende por debajo de un primer valor límite, y que desconecta el aerogenerador al rebasarse adicionalmente un segundo valor límite dependiente de la carga total.

El sensor de carga puede ser un sensor para el número de revoluciones del rotor o un sensor para la potencia del generador. El sensor de carga también puede ser un sensor para la carga, solicitación y/o curvatura de las palas del rotor, un sensor para las aceleraciones o un sensor para vibraciones. El sensor de carga también puede ser un sensor para la carga, solicitación o deformación de la torre, del árbol del rotor, de las palas del rotor o de otros componentes del aerogenerador.

El instrumento para la medición de la dirección del viento puede ser una veleta o un anemómetro de ultrasonido montado en el aerogenerador o en otro lugar. En especial, los valores de medición de la dirección del viento pueden proceder de otros aerogeneradores. Preferiblemente, el otro aerogenerador se encuentra, visto en dirección del viento, por delante del aerogenerador de la instalación según la invención. Los instrumentos para la medición de la dirección del viento se pueden diseñar de modo que, además de la dirección horizontal del viento, puedan determinar también la dirección vertical del viento, por ejemplo mediante una veleta con eje de giro horizontal dispuesta lateralmente en la góndola.

La unidad de control se puede concebir de modo que reduzca directamente el número de revoluciones o desconecte la instalación al rebasarse el primer y el segundo valor límite. Alternativamente la unidad de control se puede diseñar de manera que en primer lugar se espere durante un espacio de tiempo preestablecido. Para la medición del espacio de tiempo se puede prever un contador convencional o un Up-/Down-Counter.

A continuación, la invención se describe a modo de ejemplo a la vista de variantes de realización ventajosas y con referencia a los dibujos adjuntos. Así muestra la

Figura 1 una instalación según la invención;

Figura 2 una representación esquemática de elementos del aerogenerador de la figura 1; y

Figuras 3 – 5 ejemplos para la determinación de valores de flujo transversal y valores de carga.

Un aerogenerador 10 de la figura 1 comprende una góndola 12 dispuesta en una torre 11 con un rotor 13. El rotor 13 comprende tres palas de rotor 14 cuyo paso se puede ajustar para regular el número de revoluciones del rotor 13. En la góndola 12 se han montado un instrumento para la medición de la dirección del viento en forma de veleta 15 así como, en su caso, un instrumento para la medición de la fuerza del viento no representado en forma de anemómetro.

Delante del aerogenerador 10 se ha levantado un poste 16 en cuya punta se han dispuesto otra veleta 17 así como un instrumento para la medición de la fuerza del viento 18. Los valores de medición del instrumento para la medición de la dirección del viento 17 y del instrumento para la medición de la fuerza del viento 18 se registran y se transmiten, a través de un cable 19, al aerogenerador 10. Como alternativa al poste de medición también se pueden emplear equipos apoyados en el suelo capaces de medir la velocidad del viento a la altura del cubo (por ejemplo Lidar o Sodar).

De acuerdo con la figura 2, en el aerogenerador 10 se dispone una unidad de valoración 20 que determina un valor de flujo transversal a partir de los valores de medición de las veletas 15 y 17. La unidad de valoración 20 determina en primer lugar un valor medio entre los valores de medición de la dirección del viento de las veleta 15 y de la veleta 17, asignando al valor medio así obtenido un valor de flujo transversal S.

El aerogenerador 10 comprende además dos sensores de carga 21, 22 que registran valores de medición de la carga momentánea del aerogenerador 10. El sensor de carga 21 puede ser, por ejemplo, un sensor para el número de revoluciones del rotor y el sensor de carga 22 un sensor para la curvatura de las palas del rotor 14. Los valores de medición de los sensores de carga 21, 22 se transmiten a una segunda unidad de valoración 23. La unidad de valoración 23 junta los valores de medición de los sensores de carga 21, 22 y les asigna un valor de carga B.

El valor de flujo transversal S determinado en la unidad de valoración 20 y el valor de carga B determinado en la unidad de valoración 23 se conducen a un módulo de cálculo 24. El módulo de cálculo 24 calcula, a partir del valor de flujo transversal S y del valor de carga B, por medio de una relación funcional, un valor de carga total G. La relación funcional es en este caso una multiplicación de modo que el valor de carga total G es igual al producto del valor de flujo transversal S y del valor de carga B.

El valor de carga total G se transmite a la unidad de control 25 del aerogenerador 10. La unidad de control 25 comprende un contador 26 y un módulo de comparación 27. En el módulo de comparación 27 el valor de carga total G se compara permanentemente con un primer valor límite preestablecido y con un segundo valor límite preestablecido. El contador 26 determina el tiempo durante el cual el valor de carga total G está por encima del primer valor límite o por encima del segundo valor límite.

La instalación descrita se puede emplear, por ejemplo, para determinar el valor de flujo transversal S y el valor de carga B de manera que el valor de carga total G sea mayor que el primer valor límite cuando el aerogenerador funciona a un número de revoluciones nominal y cuando el viento incide en el rotor 13 bajo un ángulo α de más de 30°. Si en la unidad de control 25 se comprueba que esta situación se produce durante más de 15 segundos, la unidad de control 25 reduce el número de revoluciones del aerogenerador al 90% del número de revoluciones

nominal. El valor de carga total G rebasa el segundo valor límite preestablecido cuando el aerogenerador 10 funciona al número de revoluciones nominal y el viento incide en el rotor 13 bajo un ángulo α de más de 60° . Si en la unidad de control 25 se comprueba que esta situación se produce durante más de 2 segundos, la unidad de control 25 da la orden de desconectar el aerogenerador.

5 Alternativamente el valor de carga total G se puede determinar de manera que se supere el primer valor límite cuando el ángulo de flujo transversal α es mayor que 30° y cuando el sensor de carga 21 avisa del aumento del número de revoluciones del rotor durante un espacio de tiempo de más de 3 segundos. Esto provoca en la unidad de control 25 a su vez la orden de reducir el número de revoluciones del rotor al 90% del número de revoluciones nominal. Cuando el aerogenerador se adapta al nuevo número de revoluciones del rotor, se inicia el proceso de seguimiento del viento, es decir, el aerogenerador 10 se orienta hacia la nueva dirección del viento.

10 Si el contador 26 de la unidad de control 25 determina finalmente que el valor de carga total G se vuelve a mantener durante 5 segundos por debajo del primer valor límite, la unidad de control 25 da la orden de aumentar nuevamente el número de revoluciones del rotor hasta el número de revoluciones nominal.

15 Las figuras 3 a 5 ilustran otras variantes de realización del procedimiento según la invención. En la figura 3, la unidad de valoración 20 se ha concebido de manera que asigne al valor de flujo transversal S (α), con un ángulo de flujo transversal α entre 0° y 30° , el valor 0, con un ángulo de flujo transversal α entre 30° y 45° , el valor 1 y con un ángulo de flujo transversal α de más de 45° , el valor 2. En la unidad de valoración 23 se asigna al valor de carga B (ω) el valor 0, cuando el número de revoluciones del rotor ω está por debajo de la mitad del número de revoluciones nominal ω_{Nenn} , y el valor 1, cuando el número de revoluciones del rotor ω está por encima de la mitad del número de revoluciones nominal ω_{Nenn} . En lugar de la mitad del número de revoluciones nominal ω_{Nenn} , también se pueden emplear con buenos resultados límites del 80% o 90% del número de revoluciones nominal. El valor de carga total G (B, S) se calcula como producto del valor de carga B (ω) y del valor de flujo transversal S (α). El primer valor límite tiene el valor 1, el segundo valor límite tiene el valor 2. El número de revoluciones del rotor se reduce cuando el valor de carga total G (B, S) es mayor o igual a 1, desconectándose el aerogenerador 10 cuando el valor de carga total G (B, S) es mayor o igual a 2.

25 En la variante de realización de la figura 4 el valor de carga B (p) se determina en función de la potencia del generador p, siendo el valor de carga B (p) por debajo de la mitad de la potencia nominal p_{Nenn} igual a 0 y por encima de la mitad de la potencia nominal p_{Nenn} igual a 1. El valor de flujo transversal S (α) tiene, con α entre 40° y 60° , el valor de 1 y con α mayor que 60° , el valor de 2. El primer valor límite tiene el valor 1 y el segundo valor límite tiene el valor 2. En lugar de la mitad de la potencia nominal también se pueden emplear con buenos resultados límites del 65% y 80% de la potencia nominal.

30 En la figura 5 existe una relación proporcional entre el valor de flujo transversal S (α) y el ángulo de flujo transversal α . El valor de carga B (ω) tiene el valor 0 cuando el número de revoluciones del rotor ω está por debajo de la mitad del número de revoluciones nominal ω_{Nenn} . Entre la mitad del número de revoluciones nominal ω_{Nenn} y el número de revoluciones nominal ω_{Nenn} el valor de carga B (ω) aumenta proporcionalmente con el número de revoluciones del rotor ω . Por encima del número de revoluciones nominal ω_{Nenn} , el valor de carga B (ω) tiene el valor 4. El valor de carga total G (B, S) se calcula a su vez como producto del valor de flujo transversal S (α) y del valor de carga B (ω). El primer valor límite tiene el valor 4, el segundo valor límite tiene el valor 6.

35 El primer valor límite se rebasa, por ejemplo, cuando el aerogenerador 10 funciona por encima del número de revoluciones nominal (B (ω) = 4) y el ángulo de flujo transversal α está justo por debajo de 30° (S (α) = 1). El primer valor límite también se supera cuando el aerogenerador 10 funciona al 90% del número de revoluciones nominal ω_{Nenn} (B (ω) = 2) y el ángulo de flujo transversal α es de unos 35° (S (α) = 2). El segundo valor límite se rebasa, por ejemplo, al 90% del número de revoluciones nominal (B (ω) = 2) y con un ángulo de flujo transversal α es de 45° (S (α) = 3).

40 Para mayor claridad se eligieron aquí los ejemplos sencillos en los que el valor de carga B depende únicamente del número de revoluciones del rotor o de la potencia del generador. En otras variantes de realización el valor de carga B depende de valores de medición que a su vez pueden ser un indicador para el flujo transversal. Los valores de medición se refieren en este caso, por ejemplo, a vibraciones del aerogenerador 10, solicitaciones de los componentes del aerogenerador 10 o a la curvatura o solicitación de las palas del rotor 14.

45 En otras variantes de realización el valor de carga se determina a través de una combinación de varios valores de medición, por ejemplo también en forma de enlaces lógicos UND o ODER de varias consultas de valores límite por medio de funciones matemáticas complejas con varios parámetros que reflejan las condiciones físicas de la carga en su conjunto como modelo matemático. Los modelos matemáticos fundamentales para cargas totales se conocen en el estado de la técnica y se han publicado, por ejemplo, en forma de programas de simulación comerciales. Magnitudes de medición preferidas son aquí especialmente, además de las magnitudes de medición antes citadas para las cargas, los parámetros de funcionamiento como la potencia, el número de revoluciones, el par de giro, el ángulo de las palas, la actividad de ajuste (actividad del sistema de regulación de las palas registrable, por ejemplo, a través de la desviación estándar del ángulo de las palas) así como los parámetros ambientales como velocidad del viento, dirección del viento, intensidad de turbulencias, gradientes del viento, densidad del aire, temperatura. Una variante de realización especialmente sencilla de una combinación de este tipo prevé, por ejemplo, que se reduzca el número de revoluciones del rotor cuando el número de revoluciones del rotor es superior al 80%, en especial al

ES 2 559 636 T3

90%, del número de revoluciones nominal y/o cuando la potencia supone más del 65%, en especial del 80%, de la potencia nominal y si adicionalmente se rebasa un valor límite de flujo transversal.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador (10) a velocidad de viento nominal con los siguientes pasos:
- 5 a. Determinación de un valor de flujo transversal (S) que representa la desviación (α) entre la dirección del viento y la dirección del eje del rotor de un aerogenerador (10);
- b. determinación de un valor de carga (B) determinado sobre la base de un aumento del número de revoluciones del rotor o que representa un estado de carga del aerogenerador (10) provocado por un flujo transversal;
- 10 c. cálculo del valor de carga total (G) a partir del valor de carga (B) y del valor de flujo transversal (S), aprovechando una relación funcional conforme a la cual el valor de carga total (G) cambia de forma monótona en dependencia del valor de carga (B) y en dependencia del valor de flujo transversal (S);
- d. reducción del número de revoluciones del rotor (ω) del aerogenerador después de que el valor de carga total (G) haya rebasado un primer valor límite;
- 15 e. desconexión del aerogenerador (10) cuando se cumple la condición del paso d) y cuando se rebasa directa o indirectamente un segundo valor límite que depende directa o indirectamente de la carga total del aerogenerador.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el aerogenerador se desconecta en el paso e) después de rebasar el valor de carga total (G) un segundo valor límite, correspondiendo el segundo valor límite a una carga total mayor del aerogenerador que la del primer valor límite.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el aerogenerador se desconecta en el paso e) después de haber rebasado un parámetro del aerogenerador cambiado como consecuencia de la reducción del número de revoluciones del paso d) un valor límite preestablecido.
- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el valor de carga (B) se determina sobre la base del número de revoluciones del rotor (ω) y/o de la potencia del generador (p).
- 30 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el valor de carga (B) se determina sobre la base de un valor de medición que cambia cuando el aerogenerador (10) está expuesto a un flujo transversal, refiriéndose especialmente el valor de medición a una sollicitación de un componente del aerogenerador (10), en especial también de las palas del rotor del aerogenerador (10).
- 35 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que las palas del rotor (14) se ajustan periódicamente para reducir la carga, correspondiendo el período de ajuste al número de revoluciones (ω) del rotor (13).
- 40 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el aerogenerador (10) se vuelve a orientar para reducir la diferencia entre la dirección del viento y la dirección del eje del rotor cuando el valor de carga total (G) está por encima del segundo valor límite y/o del primer valor límite.
- 45 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que el número de revoluciones del rotor (ω) se reduce en el paso d) tanto más cuanto más supera el valor de carga total (G) el primer valor límite.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que el paso d) reduce la potencia del generador (p).
- 50 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que la reducción del número de revoluciones llevada a cabo en el paso d) se puede anular cuando el valor de carga total (G) se mantiene, durante un espacio de tiempo preestablecido, especialmente de 20 s, preferiblemente de 10 s, con especial preferencia de 5 s, por debajo del primer valor límite.
- 55 11. Procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador (10) a velocidad de viento nominal con los siguientes pasos:
- a. Determinación de un valor de flujo transversal (S) que representa la desviación (α) entre la dirección del viento y la dirección del eje del rotor de un aerogenerador (10);
- 60 b. determinación de un valor de carga (B) determinado sobre la base de un aumento del número de revoluciones del rotor o que representa un estado de carga del aerogenerador (10) provocado por un flujo transversal;
- c. comparación del valor de flujo transversal (S) con un primer valor límite preestablecido y con un segundo valor límite preestablecido;
- d. comparación del valor de carga (B) con un valor preestablecido;

- e. reducción del número de revoluciones del rotor (ω) del aerogenerador (10) cuando el valor de carga (B) es mayor que el valor preestablecido y cuando el valor de flujo transversal (S) es mayor que el primer valor límite preestablecido;
- f. desconexión del aerogenerador (10) cuando el valor de carga (B) es mayor que el valor preestablecido y cuando el valor de flujo transversal (S) es mayor que el segundo valor límite preestablecido.
- 5
12. Procedimiento para el funcionamiento de un aerogenerador (10) a velocidad de viento nominal con los siguientes pasos:
- 10 a. Determinación de un primer y de un segundo valor de flujo transversal (S) que representa la desviación (α) entre la dirección del viento y la dirección del eje del rotor de un aerogenerador (10);
- b. determinación de un valor de carga (B) determinado sobre la base de un aumento del número de revoluciones del rotor o que representa un estado de carga del aerogenerador (10) provocado por un flujo transversal;
- 15 c. comparación del primer valor de flujo transversal (S) con un primer valor límite preestablecido y comparación del segundo valor de flujo transversal (S) con un segundo valor límite preestablecido;
- d. comparación del valor de carga (B) con un valor preestablecido;
- e. reducción del número de revoluciones del rotor (ω) del aerogenerador (10) cuando el valor de carga (B) es mayor que el valor preestablecido y cuando el primer valor de flujo transversal (S) es mayor que el primer valor límite preestablecido;
- 20 f. desconexión del aerogenerador (10) cuando el valor de carga (B) es mayor que el valor preestablecido y cuando el segundo valor de flujo transversal (S) es mayor que el segundo valor límite preestablecido.
- 25 13. Instalación de un aerogenerador (10) y de un instrumento para la medición de la dirección del viento (15, 17), presentando el aerogenerador (10) un sensor de carga (21, 22), que comprende:
- a. una primera unidad de valoración (20) para la determinación de un valor de flujo transversal que representa la desviación entre la dirección del viento y la dirección del eje del rotor del aerogenerador (10) a partir de valores de medición del instrumento para la medición de la dirección del viento (15, 17), determinándose el valor de flujo transversal (S) en la gama de la velocidad de viento nominal;
- 30 b. una segunda unidad de valoración (23) para la determinación de un valor de carga (B) que representa el estado de carga del aerogenerador (10) a velocidad de viento nominal a partir de valores de medición del sensor de carga (21, 22), determinándose el valor de carga (B) sobre la base de un aumento del número de revoluciones del rotor o representando el valor de carga (B) un estado de carga del aerogenerador (10) provocado por un flujo transversal;
- 35 c. un módulo de cálculo (24) para el cálculo de un valor de carga total (G) a partir del valor de carga (B) y del valor de flujo transversal (S), aprovechando el módulo de cálculo (24) una relación funcional según la cual el valor de carga total (G) cambia de forma monótona en dependencia del valor de carga (B) y en dependencia del valor de flujo transversal (S);
- 40 d. una unidad de control (25) que reduce el número de revoluciones del rotor (ω) del aerogenerador (10) cuando el valor de carga total (G) supera un primer valor límite y que desconecta el aerogenerador (10) si se rebasa adicionalmente un segundo valor límite que depende directa o indirectamente de la carga total.
- 45 14. Instalación según la reivindicación 14, caracterizada por que comprende una pluralidad de instrumentos para la medición de la dirección del viento (15, 17) y por que la primera unidad de valoración (20) saca el promedio entre los valores de medición de la pluralidad de instrumentos para la medición de la dirección del viento (15, 17).
- 50 15. Instalación según la reivindicación 15 ó 16, caracterizado por que como sensor de carga (21, 22) se prevé un sensor para el número de revoluciones del rotor, para la potencia del generador y/o para la carga, solicitación o deformación de la torre, del eje del rotor, la pala del rotor (14) u otro componente del aerogenerador (10).

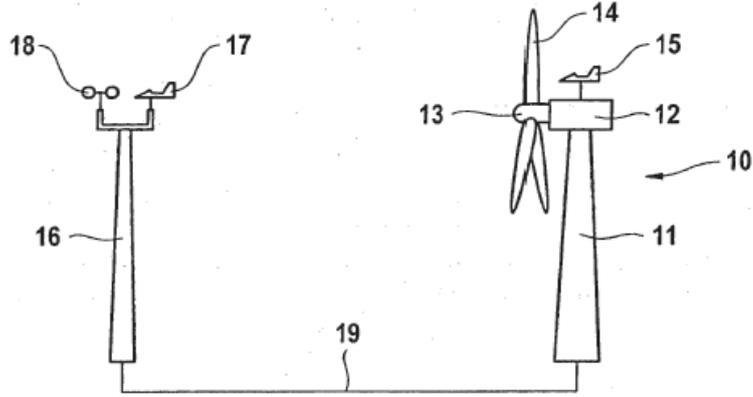


Fig. 1

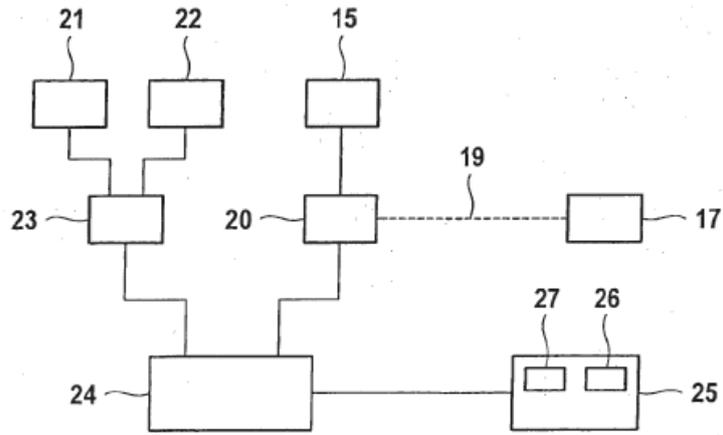


Fig. 2

