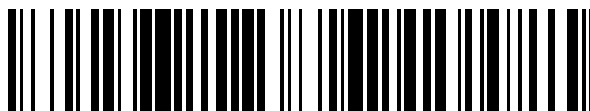


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 683**

51 Int. Cl.:
F03D 7/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06023395 .4**
96 Fecha de presentación: **10.11.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1798413**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.06.2007**

54 Título: **Procedimiento para el control del par y del ángulo de paso de un aerogenerador en función de la velocidad de giro**

30 Prioridad:
15.12.2005 DE 102005059888

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.04.2012

73 Titular/es:
**NORDEX ENERGY GMBH
BORNBARCH 2
22848 NORDERSTEDT, DE**

72 Inventor/es:
**Kabatzke, Wolfgang;
Richter, Kay y
Schubert, Thomas**

74 Agente/Representante:
Roeb Díaz-Álvarez, María

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).

ES 2 378 683 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el control del par y del ángulo de paso de un aerogenerador en función de la velocidad de giro

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el control/la regulación del par y del ángulo de paso de un aerogenerador en función de la velocidad de giro. El procedimiento sirve para determinar un valor nominal óptimo del par del generador en función de la velocidad de giro para un aerogenerador con ángulo de paso regulado.

10 El aerogenerador es puesto en marcha por el sistema de control operativo con vientos a partir de una velocidad de viento de arranque y es desconectado nuevamente en caso de una velocidad grande del viento, la velocidad del viento de desconexión, a fin de evitar una sobrecarga mecánica. La velocidad del viento se determina, por ejemplo, mediante un anemómetro o a partir de la velocidad de giro del rotor y de la potencia entregada.

15 Son conocidos los aerogeneradores con velocidad de giro variable y con ángulo de paso regulado. Al regularse el ángulo de paso, cada pala de rotor se ajusta alrededor de su eje longitudinal en su ángulo de paso de pala. Cuando hay diferentes ángulos de paso de pala, la pala de rotor absorbe respectivamente otro par a partir del viento.

20 Para el control/la regulación de los aerogeneradores es conocido establecer una diferencia entre dos modos de funcionamiento. El primer modo de funcionamiento se identifica como funcionamiento a carga parcial, en el que se lleva a cabo una regulación de la velocidad de giro mediante la especificación de un par de giro. El segundo modo de funcionamiento es el funcionamiento a plena carga, en el que se lleva a cabo una regulación de la velocidad de giro mediante un ajuste del ángulo de paso.

25 Para obtener un rendimiento óptimo con el aerogenerador, la velocidad de giro del dispositivo se ajusta en el intervalo de carga parcial a la relación óptima entre la velocidad circunferencial del rotor y la velocidad del viento ($\lambda_{\text{óptimo}}$). Las palas del rotor están ajustadas en este caso a un ángulo de pala que produce el par motor máximo para el árbol del rotor. La velocidad de giro del rotor se ajusta en el intervalo de carga parcial mediante el contrapar producido en el generador y/o el convertidor.

30 Si a una velocidad nominal del viento se ha obtenido el contrapar máximo en el generador, entonces la velocidad de giro no se puede mantener durante más tiempo en el punto de trabajo debido al aumento ulterior del par del generador. Una sobrecarga del sistema se evita al afectarse el grado de eficacia aerodinámico de las palas y al sacarse éstas del ángulo de paso óptimo. Este proceso se identifica en el lenguaje técnico también como "pitch". De este modo se influye sobre la velocidad de giro del rotor después de obtenerse el par máximo del generador por
35 medio del ángulo de paso de las palas.

40 Del documento EP1007844B1 se conoce un aerogenerador de velocidad variable que tiene un generador de inducción con rotor bobinado. Para el control operativo se conocen en el caso del aerogenerador conocido un control de par de giro y un control para el ángulo de paso que funciona independientemente del control de par de giro.

45 De la publicación "Pitch-Controlled Variable-Speed Wind Turbine Generation", de E. Muljadi et al., Industry Applications Conference, 1999, Thirty-Fourth IAS Annual Meeting, Conference Record of the 1999 IEEE Phoenix, Az., USA, 3-7 de octubre de 1999, Piscataway NJ, USA, IEEE, US, Vol. 1, páginas 323-330, se conoce un procedimiento de control para un aerogenerador, en el que un valor de potencia nominal está predefinido en función de una velocidad de giro. La especificación se lleva a cabo de modo que entre el funcionamiento a carga parcial y el funcionamiento a plena carga tiene lugar un salto en el valor nominal de la potencia. Como alternativa a la transición brusca, se propone una transición continua del funcionamiento a carga parcial al funcionamiento a plena carga.

50 De la publicación "Wind Turbine Control Algorithms" de van der Hooft et al., ECN Literature Review, Vol. ECN-C-03-111, páginas 1-89, es conocido optimizar el rendimiento del aerogenerador respecto al viento nominal al llevarse a cabo una reducción de la potencia en función de la velocidad de giro en dos niveles.

55 La invención tiene el objetivo técnico de proporcionar un procedimiento para el control del par y del ángulo de paso de un aerogenerador en función de la velocidad de giro, que garantice un rendimiento especialmente alto.

Según la invención, el objetivo se consigue mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1. Configuraciones ventajosas constituyen los objetos de las reivindicaciones secundarias.

60 El procedimiento según la invención sirve para controlar el par de giro y el ángulo de paso en función de la velocidad de giro. En este caso, el control se lleva a cabo según una curva característica predefinida. La curva característica predefine en función de una velocidad de giro del rotor un valor nominal para el par del generador, o sea, un valor nominal para el par existente en el generador. Mediante un control correspondiente se ajusta o se regula a continuación el valor nominal para el generador. A fin de obtener el valor nominal deseado, el control varía tanto la potencia extraída del generador como el ángulo de paso de las palas del rotor. El control puede estar configurado

también como regulador. En el funcionamiento a carga parcial en el aerogenerador se lleva a cabo en una primera sección una regulación del par hasta una primera velocidad de giro (n_1). A la primera sección se conecta la segunda sección, en la que se lleva a cabo asimismo en el funcionamiento a carga parcial una regulación del par de la primera velocidad de giro predeterminada (n_1) a la segunda velocidad de giro (n_2). En el funcionamiento a plena carga se lleva a cabo en una tercera sección una regulación del ángulo de paso para velocidades de giro mayores que la segunda velocidad de giro (n_2). En una cuarta sección se lleva a cabo asimismo en el funcionamiento a plena carga una regulación del ángulo de paso para velocidades de giro mayores que una tercera velocidad de giro (n_3) y menores que la segunda velocidad de giro (n_2). En una quinta sección se lleva a cabo una regulación del par en el funcionamiento a carga parcial para velocidades de giro menores que la tercera velocidad de giro (n_3) si previamente se ha llevado a cabo un control según la cuarta sección de la curva característica. El procedimiento según la invención dispone en el funcionamiento a carga parcial de una regulación del par que sólo se activa si previamente se llevó a cabo un control según la cuarta sección. En el procedimiento según la invención se lleva a cabo asimismo una regulación del ángulo de paso en el funcionamiento a plena carga en un intervalo de la velocidad de giro entre la segunda velocidad de giro (n_2) y la tercera velocidad de giro (n_3), en vez de cambiar al funcionamiento a carga parcial. Si la velocidad de giro del rotor sigue disminuyendo, se lleva a cabo en el funcionamiento a carga parcial una regulación del par según la quinta sección, retornando el control de forma lineal a la segunda o la primera sección con preferencia al obtenerse un ángulo de paso mínimo.

Según la invención, el control se lleva a cabo en la cuarta sección de la curva característica si los ángulos de paso de las palas del rotor superan un valor predeterminado. En el procedimiento según la invención se comprueba entonces en el funcionamiento a plena carga a una velocidad de giro entre n_2 y n_3 si se sobrepasa un ángulo de paso mínimo predeterminado. Si se sobrepasa el ángulo de paso, queda aún suficiente "energía" cinética en la pala del rotor para evitar un retroceso inmediato al funcionamiento a carga parcial. Por consiguiente, se sigue llevando a cabo además, en caso de velocidades de giro menores que la segunda velocidad de giro n_2 , una regulación del ángulo de paso. La curva característica se ramifica hacia la cuarta sección. El ángulo de paso mínimo es con preferencia mayor que $0,5^\circ$ y menor que 5° . En una configuración especialmente preferida, el ángulo de paso tiene un valor de entre 1° y 3° .

Si para velocidades de giro menores que n_2 hay aún un ángulo de paso suficientemente grande, el control se mantiene en el funcionamiento a plena carga y se lleva a cabo un ajuste del ángulo de paso. El control retorna después al funcionamiento a carga parcial. A tal efecto, se reduce preferentemente el par de giro y se aumenta la velocidad de giro hasta que haya una velocidad de giro de la segunda sección. La curva característica, con la que se retrocede del funcionamiento a plena carga con las cuartas y quintas secciones de la curva característica a la segunda sección de la curva característica para la carga parcial, se identifica a continuación como sexta sección de la curva característica.

La continuación del funcionamiento a plena carga en la cuarta sección de la curva característica tiene la ventaja de que sólo más tarde se cambia al funcionamiento a carga parcial y, por tanto, el aerogenerador funciona más tiempo a plena carga.

En el procedimiento según la invención, en la primera sección de la curva característica se incrementa el par con velocidad de giro creciente hasta que la velocidad de giro haya alcanzado un valor predeterminado de velocidad de giro n_1 . En la segunda sección de la curva característica, el par con velocidad de giro creciente aumenta más fuertemente que en la primera sección. En la tercera sección se lleva a cabo la regulación a un valor constante para el par de giro. A partir de una quinta velocidad de giro n_5 se activa de forma conveniente a una velocidad de giro creciente una reducción del par de giro. Como resultado de la reducción del par de giro se impide una sobrecarga del aerogenerador en caso de grandes velocidades de giro.

En la cuarta sección de la curva característica se lleva a cabo con preferencia una regulación del ángulo de paso a un valor del par esencialmente constante. El par de giro aumenta de forma conveniente en la quinta sección de la curva característica más fuertemente que en la primera sección de la curva característica, por lo que el aerogenerador se puede hacer retroceder con una velocidad de giro pequeña desde el funcionamiento a plena carga hasta la primera curva característica. El aumento de la curva característica en la segunda sección, que implica un gran incremento del par con una ligera elevación de la velocidad de giro, sirve para, después de un arranque, llegar lo más rápido posible del funcionamiento a carga parcial al funcionamiento a plena carga a fin de poder operar el aerogenerador lo más pronto posible en el funcionamiento a plena carga.

En el procedimiento según la invención, la tercera velocidad de giro n_3 es mayor y la cuarta velocidad de giro n_4 es menor que la primera velocidad de giro n_1 .

El procedimiento según la invención se explica detalladamente a continuación por medio de una figura.

La única figura muestra un diagrama de curva característica para el comportamiento de la regulación de un aerogenerador con una regulación de diagrama característico. La regulación del diagrama característico tiene una

primera sección identificada con el número 10, en la que el par 14 del generador está registrado sobre la velocidad de giro 12 del generador. En una primera sección 16 de arranque de la sección 10 de la curva característica, el par del generador aumenta de forma lineal con la velocidad de giro. A esto se conecta una segunda parte 18 de la primera sección, en la que el par de giro sigue de forma no lineal la velocidad de giro. El par de giro aumenta aquí hasta un primer valor de la velocidad de giro n_1 . En la segunda parte de la primera sección de la curva característica se lleva a cabo una regulación del par del generador según la curva característica ideal para la potencia extraída del viento. La relación matemática entre la velocidad de giro y la potencia se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$P_{Aero} = \left[2 \cdot \pi \cdot r_{rot} \cdot \frac{n_{gen}}{\ddot{u}_{getr}} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{\lambda(n_{rot})} \right]^3 \cdot \pi \cdot r_{rot}^2 \cdot \frac{P_{luft}}{2} \cdot c_p(n_{rot})$$

donde r_{rot} es el radio de la pala del rotor, n_{gen} es la velocidad de giro del generador y $\ddot{u}_{getr}$ es la relación de transmisión del engranaje. $\lambda(n_{rot})$ identifica la velocidad específica del rotor en función de la velocidad de giro del rotor, p_{luft} identifica la densidad del aire, mientras que $c_p(n_{rot})$ describe un coeficiente de potencia para la pala del rotor en función de la velocidad de giro del rotor.

La relación anterior para la potencia se puede calcular de forma continua según la configuración técnica del control o puede estar representada en una tabla en función de la velocidad de giro. El uso de la relación física entre la potencia extraída del viento y la potencia del generador asegura que en el intervalo entre los valores de la velocidad de giro de n_4 y n_1 se disponga siempre del máximo rendimiento.

La segunda sección 20 de la curva característica se conecta al primer valor de la velocidad de giro. En la segunda sección 20 de la curva característica se produce un aumento rápido del par de giro al valor nominal M_n para el par de giro. A este respecto, la velocidad de giro aumenta del valor n_1 al segundo valor de la velocidad de giro n_2 . La segunda velocidad de giro n_2 puede ser aquí igual o menor que una velocidad de giro nominal n_n para el aerogenerador. En una sección subsiguiente 22 de la curva característica se encuentra el funcionamiento a plena carga, en el que se lleva a cabo una regulación por medio del ángulo de paso. La tercera sección 22 de la curva característica es válida para velocidades de giro por encima de n_2 . Por encima de una quinta velocidad de giro n_5 se reduce el par existente en el rotor debido a la regulación del ángulo de paso. La potencia del aerogenerador es proporcional al par y a la velocidad de giro, de modo que por encima de n_5 se produce una reducción de la potencia con la tercera sección de la curva característica.

A la tercera sección 22 de la curva característica se conecta la cuarta sección 24 de la curva característica. El intervalo correspondiente de la velocidad de giro se identifica con los valores de la velocidad de giro n_2 y n_3 . En la cuarta sección de la curva característica sigue teniendo lugar un funcionamiento a plena carga, aunque al arrancarse el dispositivo con estas velocidades de giro no se produjo aún el funcionamiento a plena carga.

En caso de un descenso de la velocidad de giro más allá del valor n_3 , el par de giro se reduce a lo largo de la quinta sección de la curva característica. El descenso se produce esencialmente de forma lineal. En el valor de velocidad de giro n_4 , la curva característica retorna a la primera sección 10 de la curva característica. Sin embargo, el valor de la velocidad de giro n_4 se obtiene sólo teóricamente a lo largo de la quinta sección de la curva característica, porque en la cuarta y la quinta sección de la curva característica se comprueba de forma constante si el ángulo de paso de la pala del rotor supera aún un valor mínimo predefinido, por ejemplo, 2° . Si no se sobrepasa el valor mínimo del ángulo de paso, el ángulo de paso disminuye entretanto en el funcionamiento a plena carga de tal modo que es menor que el valor mínimo y el control retrocede entonces a lo largo de una sexta sección 28 ó 29 de la curva característica hasta haberse obtenido nuevamente valores de la primera o la segunda sección de la curva característica. La quinta sección de la curva característica forma la envolvente de los valores lineales, a partir de los que el control retorna por medio de la sexta sección 28 de la curva característica desde el funcionamiento a plena carga hasta el funcionamiento a carga parcial. A diferencia de las otras secciones de la curva característica, la sexta sección de la curva característica no está fijada en su posición absoluta, sino que está definida mediante su pendiente negativa y su punto de inicio sobre la quinta sección de la curva característica. El punto de inicio sobre la quinta sección de la curva característica está definido mediante el valor mínimo para el ángulo de paso. En la figura están representadas a modo de ejemplo dos ramas 28 y 29 de la curva característica, a lo largo de las que se produce un retroceso al funcionamiento a carga parcial.

El diagrama de curva característica usado en el procedimiento según la invención tiene una histéresis que da lugar a un mejor rendimiento en el aerogenerador. A este respecto es importante la transición de la tercera sección 22 del diagrama de curva característica a la cuarta sección 24 del diagrama de curva característica. A tal efecto, se define que el control según la cuarta sección 24 del diagrama de curva característica se lleva a cabo si para una velocidad de giro a partir del intervalo $[n_3, n_2]$ hay un ángulo de ajuste mayor que un ángulo mínimo definido. Con preferencia se define un ángulo mínimo de 2° . Si en caso de un descenso de la velocidad de giro existe aún un ángulo de paso de 2° o más, el control no retorna a la segunda sección 20 del diagrama de curva característica, como ocurre en

- 5 caso de un control simple de la velocidad de giro, sino que permanece en el funcionamiento a plena carga y cambia a la cuarta sección. Esto se debe a que el sistema usa la energía cinética almacenada en el movimiento del rotor para seguir generando un par máximo. Sólo tras obtenerse un límite inferior para el funcionamiento a plena carga n_3 , el control retorna al funcionamiento a carga parcial según la quinta sección, en la que se reduce el par. El valor mínimo del ángulo de paso para el retorno al funcionamiento a carga parcial no es necesariamente idéntico al valor mínimo previsto para la ramificación a la cuarta sección de la curva característica.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el control/la regulación del par y del ángulo de paso de un aerogenerador en función de la velocidad de giro según una curva característica, en la que
5 - en el funcionamiento a carga parcial se lleva a cabo en una primera sección (10) una regulación del par hasta una primera velocidad de giro predeterminada (n_1),

- en el funcionamiento a carga parcial se lleva a cabo en una segunda sección (20) una regulación del par desde la primera velocidad de giro (n_1) hasta una segunda velocidad de giro (n_2),
10 - en el funcionamiento a plena carga se lleva a cabo en una tercera sección (22) un ajuste al menos de un ángulo de paso de una pala del rotor para velocidades de giro mayores que la segunda velocidad de giro (n_2),

y caracterizado porque
15 - en el funcionamiento a plena carga se lleva a cabo en una cuarta sección (24) un ajuste del ángulo de paso para velocidades de giro menores que la segunda velocidad de giro (n_2) y mayores que la tercera velocidad de giro (n_3) si previamente se ha llevado a cabo un control según la tercera sección (22) y el ángulo de paso de las palas del rotor supera un valor mínimo predeterminado en el funcionamiento a plena carga, y
20 - en el funcionamiento a carga parcial se lleva a cabo en una quinta sección (26) una regulación del par para velocidades de giro menores que la tercera velocidad de giro (n_3) si previamente se ha llevado a cabo un control según la cuarta sección (24).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la cuarta y la quinta sección (26) de la curva característica, al quedarse por debajo de un ángulo de paso mínimo, el control retorna por medio de una sexta sección (28; 29) de la curva característica a la primera o la segunda sección (18, 20) de la curva característica.
25

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** en la sexta sección (28; 29) de la curva característica se reduce el par en función de la velocidad de giro.
30

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el valor mínimo predeterminado para el ángulo de paso es mayor que $0,5^\circ$ y menor que 5° .

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** el valor predeterminado para el ángulo de paso es mayor que 1° y menor que 3° .
35

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** en la primera sección (10) de la curva característica, el par aumenta con la velocidad de giro hasta haber alcanzado la velocidad de giro un valor predeterminado de la velocidad de giro (n_1).
40

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** en la segunda sección (20) de la curva característica, el par aumenta más rápidamente con la velocidad de giro que en la primera sección.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** en la tercera sección, hasta una velocidad de giro predeterminada (n_5), se lleva a cabo una regulación a un valor constante del par de giro.
45

9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado porque** en la tercera sección de la curva característica, a partir de la velocidad de giro (n_5), el par de giro se reduce con aumento creciente de la velocidad de giro.
50

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** en la quinta sección (26) de la curva característica, el par de giro aumenta más rápidamente con la velocidad de giro que en la primera sección (10).
55

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** la tercera velocidad de giro (n_3) es menor que la segunda velocidad de giro (n_2).