

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 561**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2012 PCT/EP2012/055226**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.10.2012 WO12130761**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2012 E 12711622 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.09.2016 EP 2694808**

54 Título: **Instalación de energía eólica y procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

01.04.2011 DE 102011006670

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

15.03.2017

73 Titular/es:

**WOBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)
Borsigstrasse 26
26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:

**BEEKMANN, ALFRED y
DE BOER, WOLFGANG**

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 605 561 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

Instalación de energía eólica y procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el control de una instalación de energía eólica, así como a una instalación de energía eólica correspondiente.

10 Las instalaciones de energía eólica son generalmente conocidas y sirven para tomar energía cinética del viento y transformarla en energía eléctrica, para alimentarla a una red eléctrica. Hoy día, las instalaciones de energía eólica también tienen la función de estabilizar la red eléctrica a la que alimentan energía.

15 Por ejemplo en la solicitud de patente alemana DE 100 22 974 A1 del año 2000 (fecha de publicación para información de solicitud de patente 22/11/2001) está descrita una regulación de la potencia en función de la frecuencia. Por consiguiente, se propone que a medida que aumenta la frecuencia de red se reduce la potencia que la instalación de energía eólica alimenta a la red, en cuanto la frecuencia de red haya rebasado un valor límite.

20 De este modo se tiene en cuenta una situación de red en la que existe un exceso de oferta de energía, lo que por el comportamiento de centrales eléctricas grandes conduce a un aumento de la frecuencia, para lo que se busca una solución con la invención según dicha publicación para información de solicitud de patente DE 100 22 974.

25 En caso de una oferta insuficiente de energía o una mayor necesidad de energía en la red, resultaría una caída de frecuencia, a la que podría reaccionarse en un caso ideal con un aumento de la potencia alimentada. No obstante, para una instalación de energía eólica es difícil realizar un aumento de la potencia a alimentar, porque en el caso óptimo, la instalación de energía eólica ya alimenta la potencia máxima que puede tomar del viento. Para permitir a pesar de ello un aumento de la potencia de corta duración, se propone por ejemplo según la solicitud de patente alemana DE 10 2009 014 012 A1 realizar un aumento de potencia de corta duración, aprovechándose la energía de rotación almacenada en el momento de inercia del sistema de rotor-generador. Un procedimiento de este tipo depende, no obstante, de la energía de rotación almacenada en el sistema rotor-generador.

30 Como otro estado de la técnica se indican en este punto en general los siguientes documentos: DE 103, 41 504 A1, US 2003/185665 A1, WO 2011/000531 A2, así como WO 2005/025026 A1.

35 Por lo tanto, la presente invención tiene el objetivo de resolver o reducir al menos uno de los problemas arriba indicados. En particular, debe proponerse una solución que proponga una posibilidad mejorada de una estabilización de la red. Al menos debe proponerse una solución alternativa.

De acuerdo con la invención se propone un procedimiento según la reivindicación 1.

40 Se propone, por lo tanto, un procedimiento para el control de una instalación de energía eólica conectada con una red eléctrica, que presenta un generador y un rotor aerodinámico con un número de revoluciones ajustable. El rotor aerodinámico es diferente a un rotor electrodinámico, que es parte del generador. El generador y por lo tanto la instalación de energía eólica en conjunto son del tipo en el que puede ajustarse el número de revoluciones. Por consiguiente, el número de revoluciones no está acoplado fijamente a la frecuencia de la red eléctrica, que como sinónimo también puede denominarse estructura de red eléctrica, sino que puede ajustarse independientemente de esta.

45 Una instalación de energía eólica de este tipo puede funcionar y funciona habitualmente con un punto de funcionamiento óptimo respecto a las condiciones de viento existentes. Las condiciones de viento existentes se refieren en particular a la velocidad del viento existente, lo que se describirá en lo sucesivo para simplificar como única característica de las condiciones de viento existentes. En la realidad habría que tener en cuenta más condiciones, como por ejemplo si el viento llega por ráfagas o también la densidad del aire, lo que aquí se omite para simplificar. Por lo tanto, puede asignarse en principio un punto de funcionamiento óptimo a cualquier velocidad del viento. Por punto de funcionamiento óptimo ha de entenderse el punto en el que la instalación de energía eólica toma la máxima energía posible del viento y la alimenta a una red eléctrica, aunque también se tienen en cuenta condiciones supletorias, como en particular la estabilidad del punto de funcionamiento y la carga de la instalación, como en particular también el desgaste de la instalación. Un punto de funcionamiento óptimo de este tipo está garantizado, en particular, por un número de revoluciones correspondientemente óptimo y un suministro de potencia óptimo, lo que a continuación bastará para la descripción. El suministro de potencia se refiere aquí a la potencia que se alimenta a la red eléctrica. La potencia que suministra el generador aquí puede ser mayor, ya que han de deducirse por ejemplo pérdidas.

60 Aunque un punto de funcionamiento óptimo este tipo con un número de revoluciones óptimo existe en principio para cualquier velocidad del viento para la instalación en cuestión, de acuerdo con la invención se propone hacer funcionar la instalación de energía eólica durante un período de transición con un punto de funcionamiento no óptimo, siendo el número de revoluciones con este punto de funcionamiento no óptimo, es decir, el número de revoluciones no óptimo, más elevado que el número de revoluciones óptimo del punto de funcionamiento óptimo de la velocidad del viento existente.

Un funcionamiento de este tipo con un número de revoluciones más elevado se propone, en particular, cuando ha de esperarse o cuando hay una probabilidad elevada que la instalación de energía eólica deba alimentar potencia activa adicional a la red, es decir, potencia activa adicional que vaya más allá de la potencia activa que podría alimentarse actualmente por las condiciones de viento existentes, es decir, en particular la velocidad del viento a la red. Para este caso, la instalación de energía eólica se hace funcionar en particular durante un período de transición con un número de revoluciones más elevado, por lo que queda almacenada más energía cinética, tanto en el rotor aerodinámico como en el rotor electrodinámico del generador. EL período de transición puede durar en principio desde por ejemplo 10-30 segundos, 2-10 minutos o también 1-5 horas o 1-5 días. En función de la situación, aquí ha de decidirse respectivamente hasta qué punto está justificado el funcionamiento con un punto de funcionamiento no óptimo para la duración correspondiente del período de transición. En principio, la instalación de energía eólica también puede hacerse funcionar durante largo tiempo con el punto de funcionamiento no óptimo con un número de revoluciones más elevado. No obstante, esto puede tener efectos tan negativos en la instalación de energía eólica que un funcionamiento de larga duración de este tipo con el punto de funcionamiento no óptimo no sería proporcionado. No obstante, técnicamente sería posible.

En principio es posible hacer funcionar la instalación de energía eólica con un número de revoluciones más elevado que el número de revoluciones óptimo, sin que se reduzca la potencia alimentada a la red en comparación con el punto de funcionamiento óptimo. Este punto de funcionamiento no óptimo puede ser, no obstante, poco favorable, porque un número de revoluciones más elevado conlleva por ejemplo un mayor desgaste. Además, el número de revoluciones más elevado puede ser tan desfavorable desde el punto de vista aerodinámico que el punto de funcionamiento es menos estable que el punto de funcionamiento óptimo. Esto puede requerir posiblemente un mayor esfuerzo para la regulación y, por lo tanto, un mayor uso de elementos de ajuste, como para el ajuste de un par o de un ángulo del rotor, lo que también puede aumentar por ejemplo el desgaste.

Se usa preferentemente una instalación de energía eólica sin engranaje. Una instalación de energía eólica sin engranaje de este tipo presenta un momento de inercia muy grande del rotor del generador, que puede usarse de forma ventajosa para el almacenamiento de energía cinética. Por lo tanto, mediante un aumento del número de revoluciones puede almacenarse más energía cinética. Hay que tener en cuenta que la energía cinética que está almacenada en una parte giratoria de este tipo es proporcional al cuadrado del número de revoluciones. El momento de inercia al que la energía almacenada es proporcional aumenta en caso de un cilindro macizo homogéneo a medida que aumenta el radio con la cuarta potencia. Un cilindro macizo con un diámetro de dos metros tiene, por lo tanto, en comparación con un cilindro macizo de mismo material y la misma longitud con un diámetro de un metro un momento de inercia 16 veces mayor. Esto muestra que una instalación de energía eólica sin engranaje puede almacenar mucha energía cinética y que esta energía cinética almacenada puede aumentarse de forma sobreproporcional cuando se aumenta el número de revoluciones.

De acuerdo con la invención se propone que en el régimen de carga parcial está depositada una primera curva característica de funcionamiento en la instalación de energía eólica para el ajuste de un punto de funcionamiento respectivamente óptimo. La instalación de energía eólica puede ajustar con ayuda de esta curva característica de funcionamiento respectivamente un punto de funcionamiento óptimo. Para ello, la curva característica de funcionamiento puede estar depositada como curva característica de número de revoluciones - potencia. Una realización puede efectuarse de tal modo que se mide el número de revoluciones y se ajusta para el mismo una potencia correspondiente según la curva característica de funcionamiento. Cuando puede tomarse por ejemplo más potencia del viento, el número de revoluciones sigue aumentando y se ajusta un nuevo valor de potencia correspondiente según la curva característica de funcionamiento. La potencia puede ajustarse mediante el ajuste del par del generador. El ajuste del par depende del tipo de instalación. Si se usa por ejemplo un generador síncrono con un rotor excitado por corriente continua, el par se ajusta mediante la corriente continua correspondiente para el ajuste de la excitación.

Una curva característica de funcionamiento óptima de este tipo es en el fondo una secuencia de muchos puntos de funcionamiento óptimos, que son respectivamente óptimos para una condición de viento existente, en particular una velocidad del viento existente. Correspondientemente, según la presente solicitud ha de entenderse por un punto de funcionamiento óptimo o por el punto de funcionamiento óptimo, esto también es válido de forma análoga para un punto de funcionamiento no óptimo o para el punto de funcionamiento no óptimo, el punto de funcionamiento para la condición de viento o la velocidad del viento respectivamente existente. Por lo tanto, el punto de funcionamiento óptimo no es un único punto de funcionamiento absoluto para la instalación de energía eólica para condiciones de cualquier tipo, sino solo uno de muchos para la condición de viento respectivamente actual.

Una curva característica de funcionamiento de este tipo está depositada en particular para el funcionamiento de carga parcial. En el funcionamiento de carga parcial de una instalación de energía eólica con número de revoluciones variable, que se presenta aquí, el ángulo de la pala de rotor, si es ajustable, se mantiene constante para este funcionamiento de carga parcial, independientemente de las condiciones de viento, es decir, de la velocidad del viento. Como se ha descrito anteriormente, solo se produce el ajuste del punto de funcionamiento respectivamente válido, es decir, de la potencia y del número de revoluciones. Para ajustar ahora en el funcionamiento de carga parcial durante un período de transición un número de revoluciones más elevado, se propone basarse en lugar de en una primera curva característica de funcionamiento óptima, en una segunda curva característica de funcionamiento no óptima. Basada en esta curva característica de funcionamiento no óptima se ajusta a continuación un número de revoluciones más elevado,

preferentemente con la misma potencia que en caso del punto de funcionamiento óptimo correspondiente. Esta segunda curva característica de funcionamiento es, por lo tanto, una secuencia de muchos punto de funcionamiento no óptimos, que presentan respectivamente un número de revoluciones más elevado que los puntos de funcionamiento óptimos correspondientes. La realización del funcionamiento de la instalación de energía eólica con un número de revoluciones más elevado puede realizarse, por lo tanto, de forma sencilla en el régimen de carga parcial, depositándose una segunda curva característica de funcionamiento correspondiente.

Además, según otra configuración se propone que en caso de una disminución de la velocidad del viento, en la transición del funcionamiento de plena carga al funcionamiento de carga parcial, se reduce en primer lugar, en particular para un intervalo de velocidades del viento predeterminado, la potencia, manteniéndose constante el número de revoluciones. El funcionamiento de plena carga es el funcionamiento en el que la velocidad del viento ha alcanzado el valor de la velocidad del viento nominal y la instalación de energía eólica se hace funcionar en el caso óptimo con la potencia nominal y el número de revoluciones nominal. En caso de aumentar más el número de revoluciones, se produce un cambio del ángulo de la pala de rotor, llamado ajuste del ángulo de paso, para empeorar la aerodinámica del rotor, para tomar menos energía del viento, para impedir que siga aumentando el número de revoluciones. Si vuelve a disminuir la velocidad del viento, de modo que la instalación de energía eólica vuelve a pasar del funcionamiento de plena carga al funcionamiento de carga parcial, aquí se propone reducir en primer lugar solo la potencia, no reduciéndose en cambio el número de revoluciones, o reduciéndose este en un grado menor del habitual. La no reducción del número de revoluciones en un primer momento significa que este no se reduce hasta que la velocidad del viento haya quedado un valor predeterminado por debajo de la velocidad del viento nominal. En este sentido, no reducir el número de revoluciones en primer lugar no ha de entenderse, por lo tanto, relativo al tiempo.

Según una forma de realización se propone, además, hacer funcionar la instalación de energía eólica en el funcionamiento de plena carga durante un período de transición con un número de revoluciones que es superior al número de revoluciones nominal. Un funcionamiento de este tipo con un número de revoluciones excesivo puede acortar la vida útil de la instalación de energía eólica, por lo que debería durar el tiempo más corto posible. Por lo tanto, el período de transición debería ser lo más corto posible, como por ejemplo de solo 10 minutos o de solo 1 minuto.

Es favorable que la instalación de energía eólica presente una pala de rotor o varias palas de rotor con un ángulo de pala de rotor ajustable y que el ángulo de la pala de rotor del punto de funcionamiento no óptimo cambie respectivamente en comparación con el ángulo de la pala de rotor del punto de funcionamiento óptimo. El uso de una instalación de energía eólica con una o varias palas de rotor con un ángulo de la pala de rotor ajustable describe en este sentido también un tipo de instalación. Por ajuste del ángulo de la pala de rotor ha de entenderse un ajuste activo, determinista del ángulo de la pala de rotor. Dicho de otro modo, esto se refiere a un ajuste del ángulo de la pala de rotor mediante un motor u otro actuador. La instalación de energía eólica presenta preferentemente un eje de rotor horizontal o sustancialmente horizontal. También por este eje de rotor horizontal ha de entenderse un tipo de instalación, es decir, una llamada instalación de energía eólica con eje horizontal. También está incluido un ligero ángulo de inclinación del eje de rotor respecto a la horizontal de pocos grados, como por ejemplo de aproximadamente 5° o 10°.

El ajuste de un número de revoluciones más elevado en comparación con el número de revoluciones óptimo se realiza, por lo tanto, mediante o con ayuda de un ajuste del ángulo de la pala de rotor correspondiente. La curva característica de funcionamiento no óptima puede basarse en el funcionamiento de carga parcial en otro ángulo de la pala de rotor de lo que sería el caso para la curva característica de funcionamiento óptima. A diferencia de una curva característica de funcionamiento óptima conocida y también depositada, en el funcionamiento de carga parcial puede usarse para la curva característica de funcionamiento no óptima una regulación en la no se supone que el ángulo de la pala de rotor sea constante.

Se cambia preferentemente de un funcionamiento con el punto de funcionamiento óptimo a un funcionamiento con el punto de funcionamiento no óptimo. Esto se propone, en particular, para el caso en el que se espera que pudiera ser necesaria una mayor energía cinética. El cambio puede activarse preferentemente mediante la recepción de una señal de aviso o señal de cambio. Una señal de aviso o de cambio de este tipo puede ser transmitida por un operador externo de la red. El operador de red puede transmitir por ejemplo una señal de este tipo cuando prevé que será necesaria una estabilización de la red eléctrica. Se conocen por ejemplo situaciones especiales, que pueden conducir a un estado crítico de la red o que pueden indicar un estado crítico de la red. Por ejemplo, la separación de una línea de transmisión de la red eléctrica, que se realiza de forma transitoria, por ejemplo para fines de reparación o por otras razones, puede hacer pasar la red eléctrica a un estado crítico. Para este caso, el operador de red puede transmitir una señal de aviso o de cambio de este tipo a la instalación de energía eólica o a un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica.

Preferentemente, se propone que cuando la instalación de energía eólica no funciona con el punto de funcionamiento óptimo, se toma energía cinética de la instalación de energía eólica y se usa esta energía para alimentar durante poco tiempo más potencia activa a la red eléctrica de la que la instalación de energía eólica puede tomar del viento momentáneo por la condición de viento existente. Por lo tanto, se aprovecha la energía cinética almacenada por el número de revoluciones más elevado a la que funciona la instalación de energía eólica para estabilizar la red eléctrica.

Para ello se propone preferentemente que esta toma de energía cinética se realice de tal modo que el número de revoluciones de la instalación de energía eólica se reduce del número de revoluciones no óptimo al menos al número de

5 revoluciones óptimo gracias a la toma de la energía cinética para la alimentación de la potencia activa adicional a la red eléctrica. El número de revoluciones se reduce preferentemente aún más que hasta el número de revoluciones óptimo. Por lo tanto, en un primer momento puede alimentarse con la energía cinética almacenada adicional la potencia activa adicional a la red para estabilizarla, por lo que puede alimentarse más energía de la que puede tomarse actualmente del viento.

10 El número de revoluciones no óptimo está situado preferentemente aproximadamente 0,5 a 1,5 r.p.m. más elevado que el número de revoluciones óptimo. De forma aún más preferible es aproximadamente 1 r.p.m. más elevado que el número de revoluciones óptimo. Por lo tanto, puede proponerse un aumento significativo del número de revoluciones y un aumento significativo de la energía cinética que va unido a este, sin hacerse funcionar la instalación de energía eólica con un punto de funcionamiento demasiado desfavorable, en particular sin alcanzar un desgaste demasiado elevado y sin correr un riesgo excesivo respecto a la estabilidad de la instalación de energía eólica.

15 La invención descrita se refiere, por lo tanto, a un procedimiento para controlar una instalación de energía eólica. Por un procedimiento de control de este tipo ha de entenderse un control en general, que puede presentar una realimentación, para formar por lo tanto una regulación, o que puede funcionar sin realimentación. Dicho de otro modo, una regulación es un control con realimentación y comprende por lo tanto un control. El concepto control se usa como concepto generalizado.

20 De acuerdo con la invención se propone, además, una instalación de energía eólica con un generador eléctrico y un rotor aerodinámico con un número de revoluciones ajustable, que se hace funcionar con un procedimiento de acuerdo con la invención. Aquí se usa preferentemente una instalación de energía eólica sin engranaje.

25 Según una forma de realización se propone que la instalación de energía eólica sea apta para FACTS. El concepto FACTS significa "Flexible-AC-Transmission-System" (sistema flexible de transmisión de corriente alterna) y los expertos lo usan habitualmente en el idioma alemán. En la técnica de energía eléctrica se entiende por ello un sistema de control, que se usa en redes de suministro de corriente para influir de forma selectiva en flujos de potencia. En particular, un sistema de este tipo es capaz de alimentar de forma selectiva potencia activa y/o potencia reactiva. Además, una alimentación de este tipo puede realizarse en función de mediciones en la red, para reaccionar de este modo por ejemplo directamente a cambios de la frecuencia. Por lo tanto, se propone una instalación de energía eólica que puede usarse de forma ventajosa para la estabilización de la red. Gracias a la posibilidad de prever un número de revoluciones más elevado para un período de transición se crea la posibilidad de poner a disposición más energía en forma de energía cinética para la estabilización de la red. De este modo, un sistema de este tipo que estabiliza la red puede poner a disposición una potencia activa adicional para la estabilización y alimentarla en caso necesario a la red eléctrica.

35 La instalación de energía eólica presenta preferentemente al menos un ondulator, que rectifica la energía eléctrica generada por el generador y la vuelve a rectificar de forma inversa para la alimentación a la red eléctrica, para realizar de este modo la adaptación a la frecuencia, la tensión y la fase de la red eléctrica. Una instalación de energía eólica con uno o varios onduladores de este tipo, en la que, con excepción de las pérdidas, toda la energía eléctrica generada pasa por uno o varios onduladores, se denomina también un llamado sistema de convertidor de frecuencia total.

40 De acuerdo con la invención se propone además un parque eólico con al menos dos instalaciones de energía eólica con un procedimiento de control de acuerdo con la invención. Un parque eólico es en este sentido una agrupación de varias instalaciones de energía eólica, que están acopladas, y que presentan en particular un punto de alimentación común o varios puntos de alimentación comunes para la alimentación de energía eléctrica a la red eléctrica. Las ventajas descritas en relación con el procedimiento de acuerdo con la invención y con la instalación de energía eólica de acuerdo con la invención pueden ser concentradas por este parque eólico, para poder poner a disposición de este modo una potencia de reserva significativamente elevada.

50 A continuación, la invención se explicará a título de ejemplo con ayuda de unos ejemplos de realización haciéndose referencia a las Figuras adjuntas.

La Figura 1 muestra una instalación de energía eólica de eje horizontal.

55 La Figura 2 muestra un diagrama con dos curvas características de número de revoluciones - potencia.

La Figura 3 muestra tres diagramas en función de la velocidad del viento.

60 La Figura 1 muestra una instalación de energía eólica de eje horizontal, como es conocida en principio por el estado de la técnica. De acuerdo con la invención, esta instalación de energía eólica de eje horizontal de la Figura 1 está provista de un procedimiento, es decir, un procedimiento de control de funcionamiento según la presente invención.

65 La Figura 2 muestra dos curvas características de funcionamiento, es decir, dos curvas características de número de revoluciones - potencia en una representación esquemática. En este diagrama está dibujada una curva característica de funcionamiento óptima 1 con una línea de trazo continuo y una curva característica de funcionamiento no óptima 2 con una línea de trazo interrumpido. Las dos curvas características de funcionamiento 1

y 2 representan solo un desarrollo esquemático, que puede diferir del desarrollo real. En particular, el desarrollo real puede diferir de la representación recta simplificada. Esta representación debe ilustrar sustancialmente la relación entre la curva característica de funcionamiento óptima 1 y la curva característica de funcionamiento no óptima 2. Por lo demás, esto también es válido para los diagramas de la Figura 3, que también pueden estar fuertemente simplificados en comparación con un desarrollo real.

En el diagrama de la Figura 2 puede verse ahora que la curva característica de funcionamiento no óptima 2 presenta en comparación con la curva característica de funcionamiento óptima 1 con la misma potencia P respectivamente un número de revoluciones n más elevado. Un aumento del número de revoluciones en comparación con el número de revoluciones respectivamente óptimo puede conseguirse, por lo tanto, mediante el uso de la curva característica de funcionamiento no óptima 2 en lugar de la curva característica de funcionamiento óptima 1.

Las dos curvas características de funcionamiento 1 y 2 coinciden en el punto nominal 4, en el que la instalación de energía eólica se hace funcionar con el número de revoluciones n_N y la potencia nominal P_N . Este punto nominal o punto de funcionamiento nominal 4 puede estar funcionando a partir de alcanzarse la velocidad del viento nominal. No debería aumentar ni la potencia P ni el número de revoluciones N más allá de esto, para evitar una sobrecarga de la instalación. No obstante, al menos durante un período de tiempo corto, puede ser proporcionado aumentar el número de revoluciones n a pesar de ello. Esto se ilustra mediante un tramo de curva característica alternativo 6, que está dibujado como línea punteada.

La Figura 3 muestra tres diagramas para explicar un control de funcionamiento de una instalación de energía eólica. Los tres diagramas representan respectivamente una magnitud de funcionamiento en función de la velocidad del viento V_W , es decir, la potencia suministrada P en el diagrama A, el número de revoluciones n de la instalación de energía eólica, es decir, del rotor aerodinámico en el diagrama B y el ángulo de la pala de rotor α en el diagrama C. Todos los diagramas están basados en la misma abscisa, en la que se indica la velocidad del viento.

El diagrama A muestra un desarrollo característico de la potencia P en función de la velocidad del viento V_W . Con la velocidad del viento de conexión V_{Wcon} comienza la producción de potencia. La potencia P aumenta hasta la potencia nominal P_N a la velocidad del viento nominal V_{WN} . Este intervalo se denomina también régimen de carga parcial. Desde la velocidad del viento nominal V_{WN} hasta la velocidad del viento máxima V_{Wmax} se mantiene constante la potencia suministrada P y la instalación de energía eólica suministra la potencia nominal P_N . A partir de la velocidad del viento máxima V_{Wmax} , la potencia P se reduce para proteger la instalación en caso de seguir aumentando la velocidad del viento V_W . En caso del aumento del número de revoluciones de acuerdo con la invención, la potencia se mantiene de forma ideal sin cambios, al menos según una realización, y en este sentido el diagrama A solo muestra una curva característica para la potencia P , que es válida para el uso de puntos de funcionamiento óptimos así como de puntos de funcionamiento no óptimos. Según una realización, la potencia del punto de funcionamiento respectivamente óptimo puede ser, no obstante, diferente a la potencia del punto de funcionamiento no óptimo correspondiente, en particular puede ser algo más elevada.

El diagrama B muestra de forma esquemática el desarrollo del número de revoluciones n como curva característica del número de revoluciones óptima 31, que está representada con una línea de trazo continuo y el desarrollo de una curva característica del número de revoluciones no óptima 32, que está representada como línea de trazo interrumpido. Las dos curvas características del número de revoluciones 31 y 32 se corresponden con la curva característica de potencia P del diagrama A, repitiéndose también en este contexto que las representaciones son esquemáticas e idealizadas para ilustrar mejor la idea de la invención.

Según el diagrama B de la Figura 3, el número de revoluciones según la curva característica del número de revoluciones no óptima 32 queda por lo tanto hasta alcanzar la velocidad del viento nominal V_{WN} , es decir, en el régimen de carga parcial, por encima del número de revoluciones según la curva característica del número de revoluciones óptima 31. Al alcanzar la velocidad del viento nominal V_{WN} , la instalación alcanza su punto de funcionamiento y, por lo tanto, el número de revoluciones n alcanza el número de revoluciones nominal n_N , tanto según la curva característica del número de revoluciones óptima 31 como según la curva característica del número de revoluciones no óptima 32, que está representada con línea de trazo interrumpido. Como alternativa puede estar previsto aumentar el número de revoluciones n por encima del número de revoluciones nominal n_N , lo que está representado mediante la derivación de la curva característica alternativa 34, que está representada con línea punteada. Aquí se acepta al menos durante un período determinado una sobrecarga de la instalación de energía eólica por un número de revoluciones correspondientemente alto.

Por lo demás, coinciden los números de revoluciones n del funcionamiento óptimo y no óptimo en el régimen de plena carga o funcionamiento de plena carga, es decir, a partir de la velocidad del viento V_{WN} hasta la velocidad del viento máxima V_{Wmax} , es decir, presentan el número de revoluciones nominal n_N . También son iguales para el llamado régimen de tormenta, es decir, para velocidades del viento superiores a la velocidad del viento máxima V_{Wmax} .

El desarrollo básico de la potencia mostrado según el diagrama A y el desarrollo del número de revoluciones según el diagrama B pueden estar basados en un desarrollo del ángulo de la pala de rotor α según el diagrama C. También

el diagrama C muestra los desarrollos representados de forma esquemática. Una curva característica del ángulo de la pala de rotor óptima 41 está indicada con una línea de trazo continuo en el diagrama C. Esta se extiende en el régimen de carga parcial o en el funcionamiento de carga parcial, es decir, hasta la velocidad del viento nominal V_{WN} en la dirección horizontal, es decir, el ángulo de la pala de rotor permanece invariable. En el régimen de plena carga o en el funcionamiento de plena carga, es decir, a partir de la velocidad del viento nominal V_{WN} , aumenta el ángulo de la pala de rotor para girar las palas de rotor retirándolas del viento para protegerlas. A partir de alcanzarse la velocidad del viento máxima V_{Wmax} , se sigue con el ajuste del ángulo de la pala de rotor, en particular se aumenta, para seguir protegiendo la instalación. En lugar de un aumento del ángulo de la pala de rotor también se conocen representaciones de una disminución del ángulo de la pala de rotor para el funcionamiento de plena carga, aunque esto no describe otro efecto sino que solo está basado en otra nomenclatura. El ajuste del ángulo de la pala de rotor en el funcionamiento de plena carga, lo que se denomina en general ajuste del ángulo de paso, es en principio conocido por el experto.

La curva característica del ángulo de la pala de rotor no óptima 42 está representada con línea de trazo interrumpido y muestra en el régimen de carga parcial un ángulo de pala de rotor algo más pequeño que el que muestra la curva característica del ángulo de pala de rotor óptima 41 en el mismo tramo. Este ángulo de la pala de rotor más pequeño puede considerarse a primera vista "menos favorable". A continuación puede conseguirse un mayor número de revoluciones gracias a un par más pequeño, es decir, un par antagonista. Gracias a un par más pequeño del generador, que representa correspondientemente también un par antagonista, puede resultar un número de revoluciones más elevado, como se muestra en el diagrama B, lo que puede conducir a su vez a un ángulo de ataque cambiado. Esto se debe a que el ángulo de ataque no solo depende de la velocidad del viento V_W sino también de la velocidad del rotor y se compone de forma vectorial por estas dos velocidades. Por lo demás, se indica la relación generalmente conocida entre la potencia P , el número de revoluciones n y el par N según la siguiente fórmula:

$$P = 2 \pi n M.$$

Al alcanzarse la velocidad del viento nominal V_{WN} , el ángulo de la pala de rotor se adapta según la curva característica de la pala de rotor no óptima 42 al ángulo de la pala de rotor de la curva característica del ángulo de la pala de rotor óptima 41. Cuando en el intervalo de la velocidad del viento nominal V_{WN} se debe usar un número de revoluciones más elevado que el número de revoluciones nominal, en primer lugar no aumentaría el ángulo de la pala de rotor al alcanzarse la velocidad del viento nominal V_{WN} , no se adaptaría el ángulo de paso, lo que se ilustra mediante la derivación de la curva característica alternativa 44, que está representada como línea punteada. Como se ha descrito anteriormente, se acepta en este caso una sobrecarga de la instalación, al menos durante un período determinado.

Por lo tanto, de acuerdo con la invención se propone hacer funcionar la instalación de energía eólica durante un período de transición con un número de revoluciones al menos ligeramente más elevado, para tener disponible una reserva de energía determinada como energía cinética.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el control de una instalación de energía eólica conectada con una red eléctrica, con un generador con un rotor aerodinámico con un número de revoluciones ajustable, en el que la instalación de energía eólica puede hacerse funcionar con un punto de funcionamiento óptimo respecto a las condiciones de viento existentes con un número de revoluciones óptimo, haciéndose funcionar la instalación de energía eólica durante un período de transición o durante largo tiempo con un punto de funcionamiento no óptimo con un número de revoluciones no óptimo y siendo el número de revoluciones no óptimo más elevado que el número de revoluciones óptimo y por que en el funcionamiento de carga parcial está depositada una primera curva característica de funcionamiento para el ajuste de un punto de funcionamiento respectivamente óptimo y por que para el control de la instalación de energía eólica con el número de revoluciones no óptimo se usa una segunda curva característica de funcionamiento y el número de revoluciones no óptimo se ajusta con ayuda de la segunda curva característica de funcionamiento, pudiendo ajustarse basado en la curva característica de funcionamiento no óptima un número de revoluciones más elevado con la misma potencia que con el punto de funcionamiento óptimo correspondiente.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** al disminuir la velocidad del viento, en la transición del funcionamiento de plena carga al funcionamiento de carga parcial, se reduce en primer lugar la potencia, en particular durante un intervalo de velocidades del viento determinado, manteniéndose constante el número de revoluciones.
3. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** la instalación de energía eólica presenta una pala de rotor o varias palas de rotor con el ángulo de la pala de rotor ajustable y por que está cambiado respectivamente el ángulo de la pala de rotor del punto de funcionamiento no óptimo en comparación con el ángulo de la pala de rotor con el punto de funcionamiento óptimo.
4. Procedimiento de acuerdo con una de la reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se cambia del funcionamiento con el punto de funcionamiento óptimo al funcionamiento con el punto de funcionamiento no óptimo, en particular activado por la recepción de una señal de aviso, en particular de una señal de aviso externa, transmitida por un operador de red.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, cuando la instalación de energía eólica se hace funcionar con el punto de funcionamiento no óptimo, se toma energía cinética de la instalación de energía eólica y se usa esta energía cinética para alimentar durante poco tiempo más potencia activa a la red eléctrica de la que puede tomar la instalación de energía eólica del viento momentáneo, debido a las condiciones de viento existentes.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** el número de revoluciones de la instalación de energía eólica se reduce por la toma de la energía cinética para la alimentación de más potencia activa a la red eléctrica de un número de revoluciones no óptimo al menos hasta el número de revoluciones óptimo.
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el número de revoluciones no óptimo es aproximadamente 0,5 a 1,5 revoluciones por minuto, en particular aproximadamente una revolución por minuto más elevado que el número de revoluciones óptimo.
8. Instalación de energía eólica con un generador eléctrico con un rotor aerodinámico con un número de revoluciones ajustable, **caracterizada por que** la instalación de energía eólica se hace funcionar con un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.
9. Instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizada por que** entre el rotor aerodinámico y el generador eléctrico no está previsto ningún engranaje.
10. Instalación de energía eólica de acuerdo con las reivindicaciones 8 o 9, **caracterizada por que** la instalación de energía eólica es apta para FACTS y/o presenta uno o varios onduladores, para rectificar la energía eléctrica generada por el generador y para rectificarla de forma inversa para la alimentación a la red eléctrica adaptándose la misma a la frecuencia, la tensión y la fase en la red eléctrica.
11. Parque eólico, que comprende al menos dos instalaciones de energía eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 10 y al menos un punto de alimentación común para la alimentación de potencia eléctrica de al menos dos o de las dos instalaciones de energía eólica.

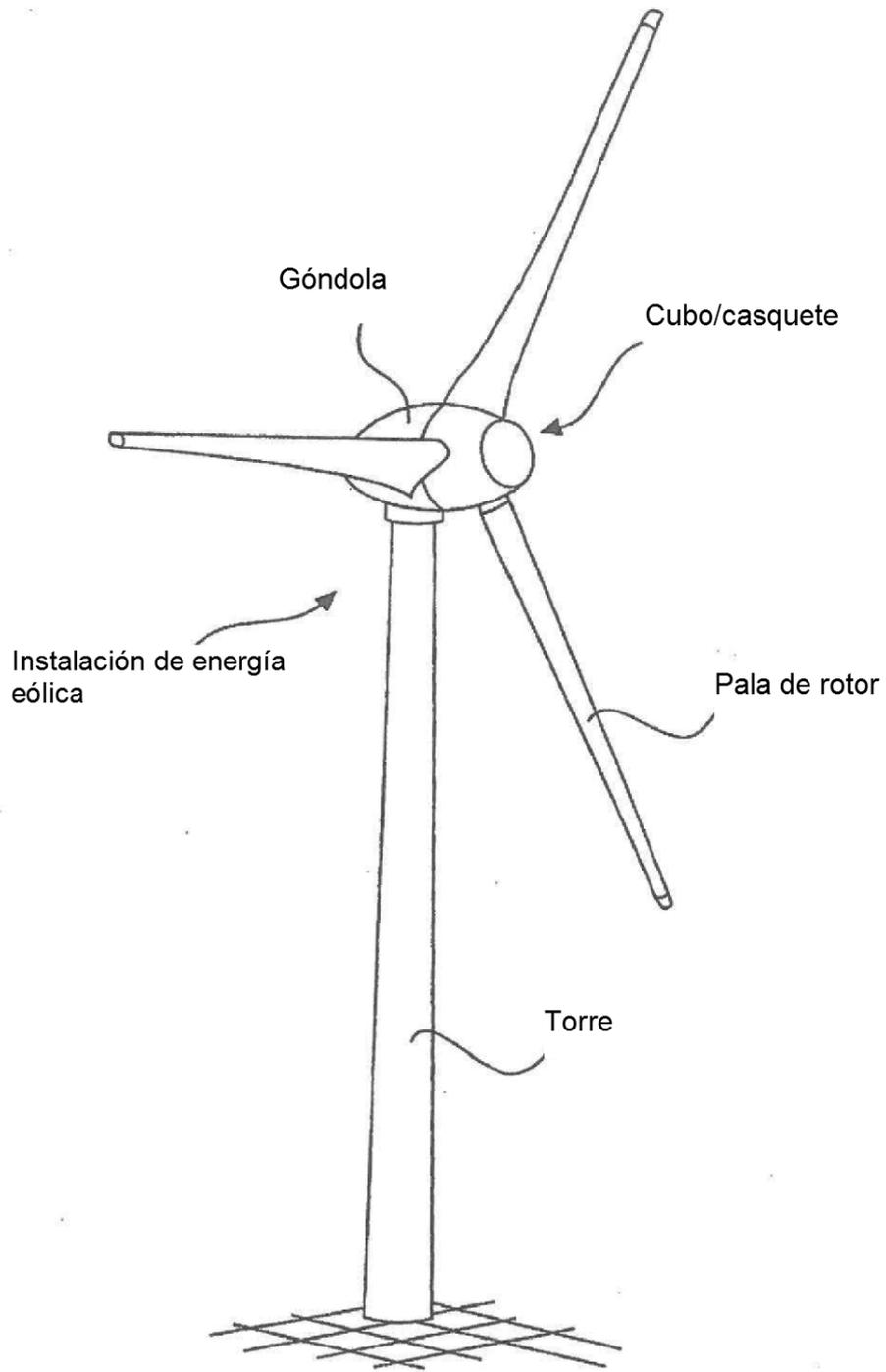


Fig.1

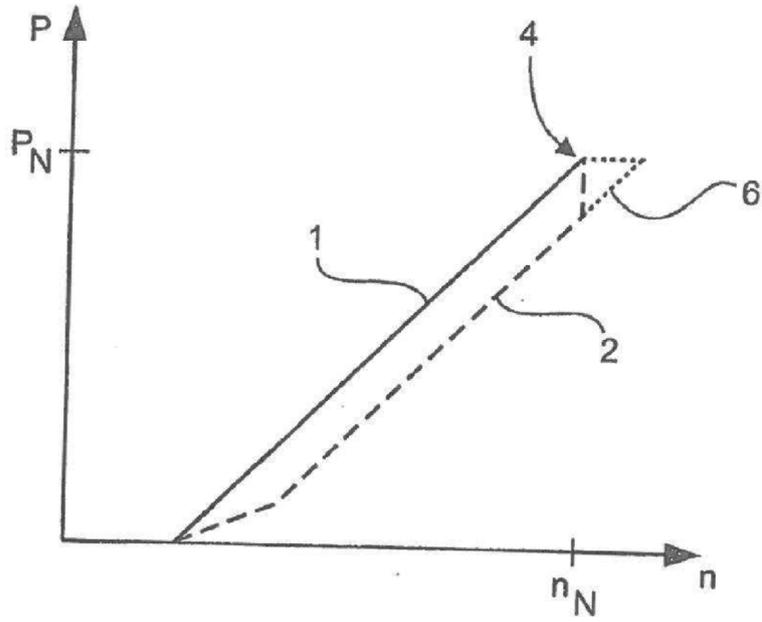


Fig. 2

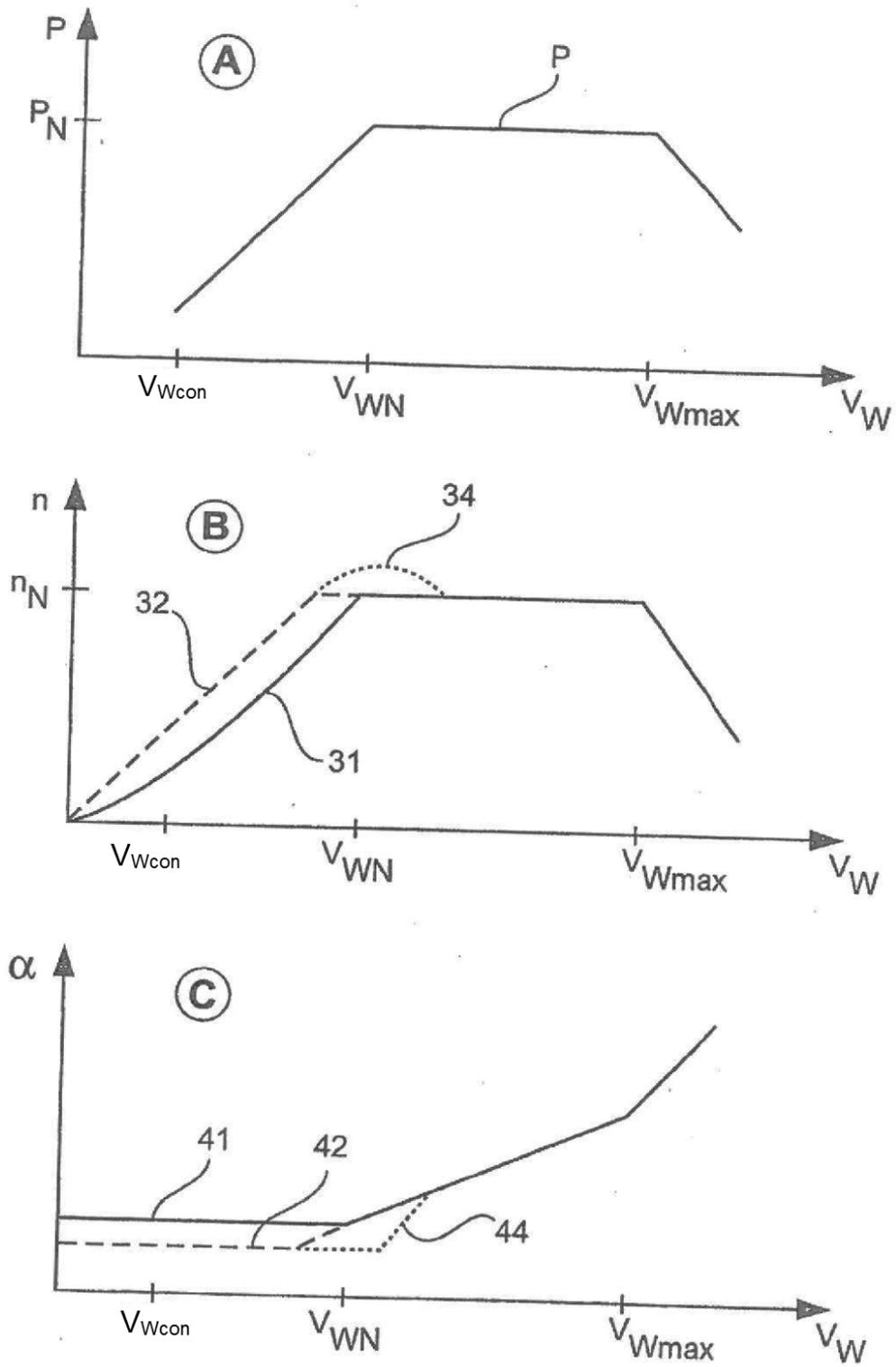


Fig. 3