

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 637 376**

51 Int. Cl.:

F03D 7/00 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.10.2008 E 08166423 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017 EP 2056210**

54 Título: **Sistema de energía eólica y procedimiento de control de un sistema de energía eólica**

30 Prioridad:

30.10.2007 US 929273

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

13.10.2017

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**SIEBERS, THOMAS y
KOOIJMAN, HENK-JAN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 637 376 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

Sistema de energía eólica y procedimiento de control de un sistema de energía eólica

5 La presente invención se refiere en general a un sistema de energía eólica y a un procedimiento de funcionamiento y, en particular, de control de un sistema de energía eólica. En particular, la presente invención se refiere a un procedimiento para determinar la condición operativa correcta de un sistema de energía eólica.

10 Se sabe que el funcionamiento de un sistema de energía eólica depende de la velocidad del viento. Los sistemas de energía eólica tienen valores de umbral de velocidad del viento predeterminados para determinar la condición operativa del sistema de energía eólica. Por ejemplo, un valor de umbral es la llamada velocidad de conexión que se define como la velocidad del viento en la que el sistema de energía eólica comienza a generar potencia. Otro ejemplo es la velocidad de desconexión que se define como la velocidad de viento más alta durante la que el sistema de energía eólica puede funcionar mientras se suministra potencia. Normalmente, la generación de energía se detiene a velocidades del viento superiores a la velocidad de desconexión.

15 Se conoce proporcionar sistemas de energía eólica con un sensor de velocidad del viento tal como un anemómetro para medir la velocidad del viento. La señal del anemómetro se proporciona como una señal de entrada para el controlador. Por ejemplo, funciones como la velocidad de conexión y la velocidad de desconexión se determinan sobre la base de esa señal del anemómetro. En el caso de que no pueda proporcionarse ninguna señal de anemómetro, el sistema de energía eólica no puede funcionar. Por lo tanto, la disponibilidad del sistema de energía eólica se ve afectada por la disponibilidad de la señal del anemómetro.

20 Los anemómetros conocidos están montados en la góndola de los sistemas de energía eólica en la estela del rotor. Por lo tanto, la señal del anemómetro está influenciada por el rotor. La influencia en el flujo de aire depende de la variedad de condiciones operativas y de contorno. Es difícil corregir la señal medida para estas condiciones. Como resultado, las lecturas del anemómetro son muy imprecisas. Además, los instrumentos de los anemómetros normalmente no se calibran individualmente en cada sistema de energía eólica, lo que contribuye a la incertidumbre general de la medición de la velocidad del viento. Como resultado de estas incertidumbres, los valores de umbral para las decisiones de control basadas en el anemómetro situado en la góndola tienen que elegirse de manera bastante conservadora lo que conduce a tiempos de parada innecesarios durante los que el sistema de energía eólica podría funcionar realmente dentro de sus límites de diseño y producir energía.

30 A la vista de lo anterior, se proporcionan varios aspectos y realizaciones de la presente invención, como se definen en las reivindicaciones adjuntas. La patente de Estados Unidos 5289041 A desvela un procedimiento para controlar un sistema de energía eólica.

Varios aspectos, ventajas y características de la presente invención son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una vista esquemática de un sistema de energía eólica de acuerdo con diversas realizaciones descritas en el presente documento.

35 La figura 2 es un diagrama que ilustra la dependencia de la desviación estándar de la dirección del viento sobre la velocidad del viento a valores de velocidad de viento pequeños relacionados con la primera condición operativa descrita en el presente documento.

Las figuras 3A a 3C son realizaciones relacionadas con la segunda condición operativa descrita en el presente documento.

40 Las figuras 4A a 4F son realizaciones relacionadas con la tercera condición operativa descrita en el presente documento.

45 A continuación se hará referencia en detalle a las diversas realizaciones de la invención, de las que se ilustran uno o más ejemplos en las figuras. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, y no se entiende como limitación de la invención. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una realización pueden utilizarse en o junto con otras realizaciones para proporcionar incluso una realización adicional. Se pretende que la presente invención incluya tales modificaciones y variaciones.

50 La figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica. La turbina 100 eólica tiene una torre 110 en la que está montada una góndola 120 de máquina en su extremo superior. La góndola aloja un tren de potencia al que está conectado un generador eléctrico (no mostrado). Un buje 130 que lleva tres palas 140 de rotor está montado en un extremo lateral de la góndola 120 de máquina. Las palas 140 de rotor pueden ajustarse mediante accionamientos de paso que normalmente se alojan dentro del buje 130.

A continuación, se explicarán las realizaciones con respecto a tres condiciones operativas diferentes del sistema de energía eólica. La primera condición operativa se refiere a velocidades efectivas del viento por debajo de la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada. La segunda condición se refiere a velocidades

efectivas del viento entre la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada y la velocidad de conexión. Además, la segunda condición se refiere a una velocidad efectiva del viento superior a la velocidad de desconexión. La tercera condición se refiere a velocidades efectivas del viento entre la velocidad de conexión y la velocidad de desconexión.

5 Un sensor de velocidad del viento como se describe en el presente documento se entiende como una unidad adaptada para medir la velocidad del viento. Más normalmente, un sensor de velocidad del viento como se describe en el presente documento está adaptado exclusivamente para medir la velocidad del viento. En otras palabras, un sensor de velocidad del viento como se describe en el presente documento no es capaz de generar energía consumible. Ejemplos de sensor de velocidad del viento comprenden un anemómetro de copelas, un anemómetro de hilo caliente, un anemómetro ultrasónico y similares.

10 La primera condición operativa de un sistema de energía eólica se refiere a que no hay viento o a una velocidad del viento muy lenta. En particular, se refiere a las velocidades del viento por debajo del punto en el que hay suficiente potencial en el viento para que el sistema de energía eólica comande el procedimiento de arranque y empiece a producir potencia neta. En esta condición operativa, puede determinarse la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada, que en el presente documento se denomina "velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada". En el caso de que el viento exceda la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada, el sistema de energía eólica funciona en la segunda condición operativa descrita con más detalle a continuación.

15 A una velocidad de viento muy baja, es decir, en la primera condición operativa del sistema de energía eólica, puede utilizarse la señal de dirección del viento para determinar la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada. Normalmente, si la velocidad del viento es cercana a cero, la dirección del viento cambiará con cada movimiento del aire que puede estar causado, por ejemplo, por efectos térmicos tales como convección. La señal mostrará entonces cambios frecuentes. Esta situación se muestra esquemáticamente en la figura 2. La figura 2 es un diagrama que ilustra una desviación estándar a modo de ejemplo de la dirección del viento en función de la velocidad del viento para velocidades de viento bajas. Normalmente, con velocidades del viento muy pequeñas, tales como en el intervalo de 1 m/s, la desviación estándar de la dirección del viento está en el intervalo de 30 a 40 grados. Con el aumento de la velocidad del viento, la desviación estándar de la dirección del viento disminuye. Como se muestra en la figura 2, puede darse, para cada sitio donde se instala un sistema de energía eólica, una relación normal de la desviación estándar de la dirección del viento y la velocidad del viento. Representa la relación entre la velocidad del viento y la turbulencia lateral, expresada mediante la desviación estándar de la dirección del viento.

20 Por lo tanto, de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada puede tomarse de una medición de la desviación estándar de la dirección del viento. Normalmente, se considera la relación específica del sitio de la desviación estándar de la dirección del viento y la velocidad del viento.

35 Por lo tanto, de acuerdo con ciertas realizaciones descritas en el presente documento, no es necesario tener una señal de anemómetro para determinar la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada. En su lugar, la señal del anemómetro puede reemplazarse por la velocidad efectiva del viento calculada que puede derivarse de la señal de dirección del viento y por el cálculo de la desviación estándar para velocidades de viento pequeñas. Obsérvese que la carga en las palas del rotor a velocidades de viento muy lentas está en el intervalo de cero. Por lo tanto, de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, la carga en el sistema de energía eólica en la primera condición operativa puede considerarse como cero.

40 De acuerdo con diversas realizaciones descritas en el presente documento, la guiñada del sistema de energía eólica no debe seguir la dirección del viento medida mientras la desviación estándar medida de la dirección del viento permanezca por encima del valor respectivo del valor umbral de la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada. Cuanto más disminuye la desviación estándar de la dirección del viento, más se estabiliza la señal del sensor de dirección del viento y más aumenta la velocidad del viento.

45 En el caso de que no exista ninguna variación en la dirección del viento en absoluto, el caso de que haya una velocidad del viento alta en una dirección constante tiene que distinguirse del caso en que la velocidad del viento es baja para tener influencia en la medición de la dirección del viento. En este último caso, la velocidad del viento es baja para superar la fricción del rodamiento del sensor de dirección del viento. Esto puede comprobarse girando la góndola algunos grados hacia una de las dos direcciones posibles. Si hay suficiente velocidad del viento para superar la fricción del rodamiento, la dirección del sensor de dirección debe seguir el giro. En el caso de que el sensor de dirección del viento no siga el movimiento de giro de la góndola, debe interpretarse como que no hay viento en absoluto o que el sensor de dirección del viento no está operativo. De cualquier manera, de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, el sistema de energía eólica no se lleva a la segunda condición operativa.

55 La segunda condición operativa está relacionada con el ralentí sin acoplamiento de rejilla. Procedente de velocidades de viento pequeñas, la segunda condición operativa se refiere a velocidades efectivas del viento por encima de la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada y por debajo de la velocidad de conexión.

Como se ha explicado con más detalle anteriormente, la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada es la velocidad del viento por encima de la que se hace funcionar el sistema de energía eólica de tal manera que la dirección de guiñada de la góndola esté alineada con la dirección del viento. La velocidad de conexión como se describe en el presente documento se define como la velocidad del viento en la que el sistema de energía eólica comienza a generar potencia. Además, la segunda condición operativa se refiere a velocidades efectivas del viento mayores que la velocidad de desconexión. La segunda condición operativa es, en palabras más básicas, un modo operativo en el que el sistema de energía eólica está preparado para generar energía y acoplarse a la red.

Para determinar la velocidad del viento durante la condición operativa, se establecerán dos realizaciones normales de determinación. Según una primera alternativa, la velocidad del viento se deriva de la velocidad de rotación del rotor cuando el ángulo de paso se mantiene constante. La velocidad efectiva del viento se calcula directamente a partir de la velocidad de rotación del rotor que se rige por el ángulo de paso.

Este procedimiento se ilustra en la figura 3A. La unidad 330 de cálculo para calcular la velocidad efectiva del viento se informa sobre el ángulo de paso de las palas de rotor mediante el control 310 de accionamiento de paso. Como se ha explicado anteriormente, el ángulo de paso no cambia de acuerdo con el procedimiento de la primera realización alternativa en la segunda condición operativa. Por lo tanto, en realizaciones normales, no es necesario un flujo de información constante desde el control 310 de accionamiento de paso a la unidad 330 de cálculo. Además, la unidad 330 de cálculo recibe constantemente información desde el sensor 320 de velocidad de rotación alrededor de la velocidad de rotación real del rotor. Teniendo el ángulo de paso y la velocidad de rotación real del rotor, la unidad de cálculo es capaz de calcular la velocidad efectiva del viento. El término "constantemente" tal como se entiende en el presente documento deberá incluir "repetidamente en espacios de tiempo predeterminados".

De acuerdo con las realizaciones de la segunda alternativa, el sistema de energía eólica se hace funcionar de tal manera que la velocidad de rotación se estabiliza a un valor deseado ajustando constantemente el ángulo de paso en consecuencia. La velocidad del viento se deriva entonces del ángulo de paso medio necesario para mantener constante la velocidad de rotación del rotor.

El procedimiento de funcionamiento del sistema de energía eólica de acuerdo con la segunda alternativa se ilustra en la figura 3B. Se informa constantemente al controlador 300 de la velocidad de rotación real del rotor que se mide mediante el sensor 320 de velocidad de rotación. Cualquier cambio en la velocidad de rotación hará que el controlador cambie el ángulo de paso. Por lo tanto, el controlador 300 envía constantemente información al control 310 de accionamiento de paso. Por ejemplo, si el sensor 320 de velocidad de rotación detecta un aumento de la velocidad de rotación del rotor, esta información se envía al controlador 300. El controlador 300 envía la información al control 310 de accionamiento de paso para cambiar el paso de las palas del rotor de manera que el par motor resultante se reduce y la velocidad de rotación se estabiliza a la velocidad del viento deseada. La unidad 330 de cálculo recibe tanto la información sobre el ángulo de paso real como sobre la velocidad de rotación real.

De acuerdo con las realizaciones ilustradas con respecto a las figuras 3A y 3B, la información sobre el ángulo de paso real y la velocidad de rotación real se envía directamente a la unidad 330 de cálculo mediante el control 310 de accionamiento de paso y el sensor 320 de velocidad de rotación. De acuerdo con diferentes realizaciones que pueden combinarse con todas las demás realizaciones descritas en el presente documento, el controlador 300 está conectado a la unidad 330 de cálculo y la información sobre el ángulo de paso y la velocidad de rotación se envía desde el controlador 300 a la unidad de cálculo. Esto se ejemplifica en la figura 3C.

De acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, el sistema de energía eólica comprende un controlador para determinar la condición operativa del sistema de energía eólica en función de la velocidad efectiva del viento. Por ejemplo, si el controlador recibe la información de que la velocidad efectiva del viento excede la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada, el controlador hace que el sistema de energía eólica funcione en la segunda condición operativa. Dicho controlador puede ser el controlador 300 descrito en diferentes realizaciones en el presente documento que pueden combinarse con cada realización descrita en el presente documento. De acuerdo con algunas realizaciones descritas en el presente documento, el controlador 300 y la unidad 330 de cálculo son físicamente idénticos.

La funcionalidad de determinar la velocidad del viento sin la necesidad de un sensor de velocidad del viento particular, tal como un anemómetro, durante la segunda condición operativa, puede utilizarse particularmente para determinar la velocidad de conexión así como la velocidad de reconexión. Normalmente, la velocidad de reconexión es menor que la velocidad de desconexión, por ejemplo, con una diferencia de entre 1 m/s a 4 m/s, más normalmente de entre 2 m/s y 3 m/s. Generalmente, y sin limitarse a la realización descrita, se calcula un valor medio de la velocidad efectiva del viento con el tiempo para compararla con los valores umbral tales como la velocidad conexión o la velocidad de reconexión. Normalmente, el valor medio se calcula durante un período de tiempo de entre 5 minutos y 15 minutos, tal como 10 minutos.

La velocidad de desconexión a veces también se llama velocidad de desconexión de tormenta. Si la velocidad del viento excede la velocidad de desconexión de tormenta, el sistema de energía eólica se apaga. Apagar en este contexto significa que el sistema de energía eólica detiene la generación de energía y normalmente cambia al modo de ralentí sin acoplamiento de rejilla. Durante la tormenta, las palas de rotor están a ralentí, en el que el ángulo de

paso se ajusta normalmente de manera que se genera un par motor pequeño. A baja velocidad del viento, el ángulo de paso para ralentí es normalmente de aproximadamente 65 °. Sin embargo, después de un apagado por tormenta puede ser necesario poner el rotor al ralentí a un ángulo de paso mayor, por ejemplo entre 70 ° y 80 °, tal como 75 °, para limitar las cargas resultantes. Durante la tormenta (es decir, después de un apagado debido a la superación de la velocidad de desconexión), el sistema de energía eólica puede hacerse funcionar de acuerdo con las realizaciones del procedimiento descrito en el presente documento, en particular de acuerdo con la primera o la segunda realización

La tercera condición operativa se refiere al funcionamiento normal del sistema de energía eólica con acoplamiento de rejilla. Normalmente, durante esta condición, la dirección de guiñada de la góndola está constantemente alineada con la dirección del viento. De acuerdo con las realizaciones normales descritas en el presente documento, la velocidad efectiva del viento se calcula a partir de los valores reales del ángulo de paso de las palas del rotor, de la velocidad de rotación del rotor y del par motor de las palas del rotor. Alternativa o además del par motor, pueden utilizarse valores sobre la potencia generada.

El ángulo de paso es solo una variable de accionamiento en el llamado funcionamiento estándar del sistema de energía eólica que asegura mantener constante el par motor y la velocidad de rotación. Por lo tanto, de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, mientras el sistema de energía eólica se encuentre en la condición operativa estándar, es decir, siempre que genere potencia máxima, la velocidad de rotación y la generación de par motor/potencia son casi constantes y pueden considerarse constantes para el cálculo de la velocidad efectiva del viento. Para calcular la velocidad efectiva del viento, puede ser suficiente tener información constantemente actualizada sobre el ángulo de paso de las palas.

La figura 4A es una ilustración a modo de ejemplo con respecto a las realizaciones para determinar eficazmente la velocidad del viento cuando el sistema de energía eólica está en la tercera condición operativa. La unidad 330 de cálculo recibe señales de información sobre el ángulo de paso real de las palas de rotor desde el control 310 de accionamiento de paso, sobre la velocidad de rotación real del rotor desde el sensor 320 de velocidad de rotación y sobre el valor real de par motor desde el dispositivo 400 de medición de par motor. La unidad 330 de cálculo normalmente está adaptada para calcular constantemente la velocidad efectiva del viento a partir de esta información. Alternativamente, o además de la información de par motor, puede utilizarse información sobre la potencia generada.

De acuerdo con las realizaciones normales descritas en el presente documento, el procedimiento de funcionamiento del sistema de energía eólica comprende controlar el funcionamiento del sistema de energía eólica de acuerdo con un programa predeterminado de par motor/potencia, velocidad de rotación del rotor y ángulo de paso de las palas de rotor. Dado que el funcionamiento estándar del sistema de energía eólica de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento se rige por estos valores, normalmente los valores tienen que medirse de forma constante. Como se ha explicado anteriormente, puede ser suficiente medir solo el ángulo de paso y/o tener información solamente sobre el ángulo de paso. Por ejemplo, mientras la generación de energía permanece máxima, puede ser dispensable medir el par motor y/o la velocidad de rotación constantemente. Una vez que la energía generada cae, puede ser necesario medir de nuevo valores tales como el par motor, la energía generada y/o la velocidad de rotación. Normalmente, con cambios de velocidad de rotación o de los valores de par motor/potencia, el ángulo de paso se adapta a la situación cambiada. De acuerdo con las realizaciones normales, el sistema de energía eólica comprende un controlador. El controlador normalmente recibe valores de medición tales como el valor de par motor, el valor de energía, el valor de velocidad de rotación y/o el ángulo de paso. Normalmente, el controlador controla constantemente los elementos operativos del sistema de energía eólica, tales como el accionamiento de paso dependiendo de los valores medidos.

Esta situación se ilustra a modo de ejemplo en la figura 4B. En la misma, el controlador 300 recibe información sobre el par motor real desde el dispositivo 400 de medición de par motor, sobre la velocidad de rotación real del rotor desde el sensor 320 de velocidad de rotación y sobre el ángulo real de desplazamiento de paso desde el control 310 de accionamiento de paso. Dependiendo de estos valores y de sus cambios en el tiempo, el controlador 300 ajusta el ángulo de paso. Esto puede hacerse, como se muestra en la figura 4B, a través del control 310 de accionamiento de paso. El cálculo de la velocidad efectiva del viento se realiza de forma similar a las realizaciones ilustradas con respecto a figura 4A. Alternativa o adicionalmente, es posible que la unidad 330 de cálculo esté conectada directamente al controlador 300 para obtener la información respectiva del dispositivo 400 de medición de par motor, del sensor 320 de velocidad de rotación y del control 310 de accionamiento de paso. Las realizaciones en las que la unidad 330 de cálculo está conectada exclusivamente al controlador 300 se ilustran a modo de ejemplo con respecto a la figura 4C.

En lugar de, o además del dispositivo 400 de medición de par motor de las realizaciones mostradas en las figuras 4A a 4C, puede proporcionarse un dispositivo 410 de medición de potencia. La información del dispositivo 410 de medición de potencia puede sustituir la información sobre el par motor del dispositivo 400 de medición de par motor en el cálculo de la velocidad efectiva del viento. Esto se ilustra a modo de ejemplo con respecto a las figuras 4D a 4F en las que el dispositivo 400 de medición de par motor es reemplazado por el dispositivo 410 de medición de potencia

De acuerdo con otras realizaciones, la información sobre la potencia generada se considera además de la información de par motor.

5 La determinación de la velocidad efectiva del viento durante la tercera condición operativa se utiliza normalmente para determinar la velocidad de desconexión de tormenta y la velocidad de conexión. De acuerdo con otras realizaciones, la velocidad de desconexión de tormenta también puede determinarse mediante el ángulo de paso real de las palas de rotor durante la tercera condición operativa. De acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, la velocidad de conexión puede determinarse mediante la potencia generada durante la tercera condición operativa. Por ejemplo, el sistema de energía eólica puede llevarse a la segunda condición operativa si la potencia generada se vuelve negativa.

10 El procedimiento de control del sistema de energía eólica de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento permite la determinación de la velocidad efectiva del viento. De acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, permite determinar qué valores de umbral se superan o suben por la velocidad efectiva del viento, estando normalmente correlacionados los valores de umbral con la velocidad del viento. Los valores de umbral normales son, por ejemplo, la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada, la velocidad de conexión, la velocidad de desconexión y la velocidad de reconexión.

15 La "velocidad efectiva del viento" como se describe en el presente documento, especifica la carga en las palas del rotor ejercida por el viento. En otras palabras, la velocidad efectiva del viento puede entenderse como un valor correlacionado con la velocidad del viento que refleja las condiciones reales de carga en las palas del rotor. Estas condiciones comprenden los efectos de la densidad del aire, la presión, la temperatura, la formación de hielo, la lluvia, la humedad de precipitación y cualquier otro efecto sobre el rendimiento de la superficie de la pala. Aunque la velocidad efectiva del viento está altamente correlacionada con la velocidad real del viento, los efectos sobre el rendimiento de la superficie de la pala pueden tener un impacto en la carga real, en las palas del rotor y en todo el sistema de energía eólica. La "velocidad real del viento" es, en contraste, la velocidad absoluta del viento que puede medirse con un sensor de velocidad del viento estándar tal como un anemómetro.

25 El control operativo del sistema de energía eólica en función de la velocidad efectiva del viento puede ser beneficioso para todas las decisiones del controlador con respecto a la limitación de carga. Esto se debe a que la carga real es el factor limitante con respecto al funcionamiento del sistema de energía eólica, por ejemplo durante condiciones con velocidades del viento próximas a la velocidad de desconexión. En otras palabras, se ha utilizado la velocidad absoluta del viento para el funcionamiento de un sistema de energía eólica conocido en la técnica por la única razón de que está altamente correlacionada con la carga en las palas del rotor. Sin embargo, la carga real se estima mejor mediante la determinación de la velocidad efectiva del viento. La carga real normalmente es el valor relevante para el funcionamiento del sistema de energía eólica. El anemómetro conocido en la técnica mide solo la velocidad del viento, mientras que las propiedades más relevantes para el control de la turbina eólica, como la carga estructural y la potencia, también dependen de valores tales como la densidad del aire, la calidad de la pala y otras condiciones. De acuerdo con las realizaciones normales de la presente invención, estas condiciones se consideran en el cálculo de la velocidad efectiva del viento.

40 De acuerdo con las realizaciones normales descritas en el presente documento, no se requieren necesariamente sensores de velocidad del viento adicionales, por ejemplo por razones de seguridad. Los sensores y dispositivos de medición necesarios para llevar a cabo los procedimientos de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, normalmente ya están provistos en el sistema de energía eólica y aplicados para su funcionamiento. Un mal funcionamiento de uno de los sensores activaría la turbina y, por lo tanto, evitaría cualquier evento inseguro.

45 De acuerdo con algunas realizaciones descritas en el presente documento, es posible proporcionar al sistema de energía eólica un sensor de velocidad del viento adicional, tal como un anemómetro. Por ejemplo, un sensor de velocidad del viento puede ser útil para medir la velocidad absoluta del viento para determinar la relación en el tiempo entre la velocidad absoluta del viento y la potencia del sistema de energía eólica. Esta dependencia puede utilizarse tanto para el análisis económico como técnico. Por ejemplo, si esta dependencia es extraordinariamente pobre, esto indica que algo no está funcionando correctamente en el sistema de energía eólica.

50 Las ventajas de las realizaciones descritas son múltiples. La velocidad de desconexión de tormenta puede determinarse basándose en señales de sensor que reflejen más estrechamente la carga de turbina más relevante y la potencia de salida que únicamente la velocidad absoluta del viento que se mide mediante un sensor de velocidad del viento. Esto conduce a una mayor velocidad de desconexión en sitios y/o condiciones meteorológicas con baja densidad de aire. Sin violar la envolvente de carga, se incrementa la captura de energía.

55 Además, de acuerdo con las realizaciones normales, puede ahorrarse un sensor de la configuración estándar del sistema de energía eólica. Aparte del efecto de disminución de coste, esto también puede tener un impacto positivo en la disponibilidad del sistema de energía eólica porque un fallo del sensor de velocidad del viento en los sistemas de energía eólica conocidos normalmente activa el sistema de energía eólica y conduce al tiempo de inactividad del sistema de energía eólica. Sin embargo, de acuerdo con algunas realizaciones descritas en el presente documento, puede proporcionarse un anemómetro con el sistema de energía eólica para otros fines distintos del control del sistema de energía eólica, tales como monitorización del rendimiento energético, detección de formación de hielo,

etc.

5 De acuerdo con diversas realizaciones descritas en el presente documento, se proporciona un medio legible por ordenador. En el medio legible por ordenador se proporcionan instrucciones que, cuando se ejecutan mediante una plataforma informática, hacen que la plataforma informática realice operaciones de procedimiento de acuerdo con las realizaciones del procedimiento descritas en el presente documento. En particular, las instrucciones pueden comprender la determinación de la velocidad efectiva del viento teniendo en cuenta la carga ejercida por el viento en las palas de rotor de dicho sistema de energía eólica. La velocidad efectiva del viento puede determinarse de acuerdo con las realizaciones descritas anteriormente. Además, las instrucciones pueden comprender la determinación de la condición operativa del sistema de energía eólica en función de la velocidad efectiva del viento.

10 Un medio legible por ordenador, de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, puede ser una memoria USB, un disco duro, un disquete, o similar.

15 De acuerdo con ciertas realizaciones normales descritas en el presente documento, la velocidad efectiva del viento se deriva de la variación de la dirección del viento. Esto se hace normalmente sin la información de un sensor de velocidad del viento. El sistema de energía eólica, de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, comprende normalmente un control de accionamiento de paso para controlar el ángulo de paso de las palas de rotor y un sensor de velocidad de rotación para medir la velocidad de rotación del rotor en el que la unidad de cálculo está conectada al control de accionamiento de paso y al sensor de velocidad de rotación. De acuerdo con otras realizaciones adicionales, el sistema de energía eólica comprende un dispositivo de medición de par motor para medir el par motor del rotor, en el que la unidad de cálculo está conectada al dispositivo de medición de par motor.

20 Alternativa o adicionalmente, el sistema de energía eólica comprende un generador para transformar la energía eólica en energía eléctrica y un dispositivo de medición de potencia para medir la potencia generada, en donde la unidad de cálculo está conectada al dispositivo de medición de potencia

25 En general, la unidad de cálculo del sistema de energía eólica de acuerdo con muchas realizaciones no está adaptada para recibir señales de un sensor de velocidad del viento. Más normalmente, el sistema de energía eólica es un sistema de energía eólica libre del sensor de velocidad del viento. Esta descripción escrita utiliza ejemplos para desvelar la invención, incluyendo el modo preferido, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia fabricar y utilizar la invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento de control de un sistema (100) de energía eólica, el sistema de energía eólica que tiene un sistema de guiñada y un rotor, comprendiendo el procedimiento determinar la velocidad efectiva del viento teniendo en cuenta la carga ejercida por el viento en el rotor del sistema de energía eólica, en el que dicha determinación de la velocidad efectiva del viento comprende
- 10 - calcular la velocidad efectiva del viento a partir de la velocidad de rotación del rotor, del ángulo de paso de las palas de rotor y de al menos una de la potencia generada o del par motor del rotor, para velocidades efectivas del viento en un intervalo entre una velocidad de conexión para el sistema de energía eólica y una velocidad de desconexión para el sistema de energía eólica, y
- 10 - calcular la velocidad efectiva del viento a partir de la velocidad de rotación del rotor y del ángulo de paso de las palas del rotor, para velocidades efectivas del viento entre una velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada y la velocidad de conexión, así como para velocidades efectivas de viento mayores que la velocidad de desconexión,
- 15 determinar la condición operativa del sistema (100) de energía eólica en función de la velocidad efectiva del viento, en el que la condición operativa se elige del grupo que consiste en una primera condición relativa a dicha velocidad efectiva del viento por debajo de la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada, una segunda condición relativa a dichas velocidades efectivas del viento entre la velocidad del viento de arranque para el sistema de guiñada y la velocidad de conexión, así como a velocidades efectivas del viento mayores que la velocidad de desconexión, y una tercera condición relativa a dichas velocidades efectivas del viento entre la velocidad de
- 20 conexión y la velocidad de desconexión,
controlar el funcionamiento del sistema de energía eólica en función de la condición operativa determinada.
- 25 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la velocidad efectiva del viento representa los efectos de uno o más miembros del grupo que consisten en densidad del aire, temperatura, presión, formación de hielo, lluvia, precipitación y humedad.
- 30 3. Un sistema (100) de energía eólica adaptado para llevar a cabo el procedimiento de cualquier reivindicación anterior, comprendiendo el sistema de energía eólica:
- un sistema de guiñada y un rotor con palas (140) de rotor;
una unidad (330) de cálculo adaptada para llevar a cabo dichos cálculos de la velocidad efectiva del viento; y
un controlador (300) adaptado para llevar a cabo dicha determinación de la condición operativa del sistema de energía eólica en función de la velocidad efectiva del viento calculada y adaptada para hacer que el sistema de energía eólica funcione en función de dicha condición operativa determinada.
- 35 4. El sistema (100) de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el sistema (100) de energía eólica es un sistema de energía eólica libre de sensor de velocidad del viento.

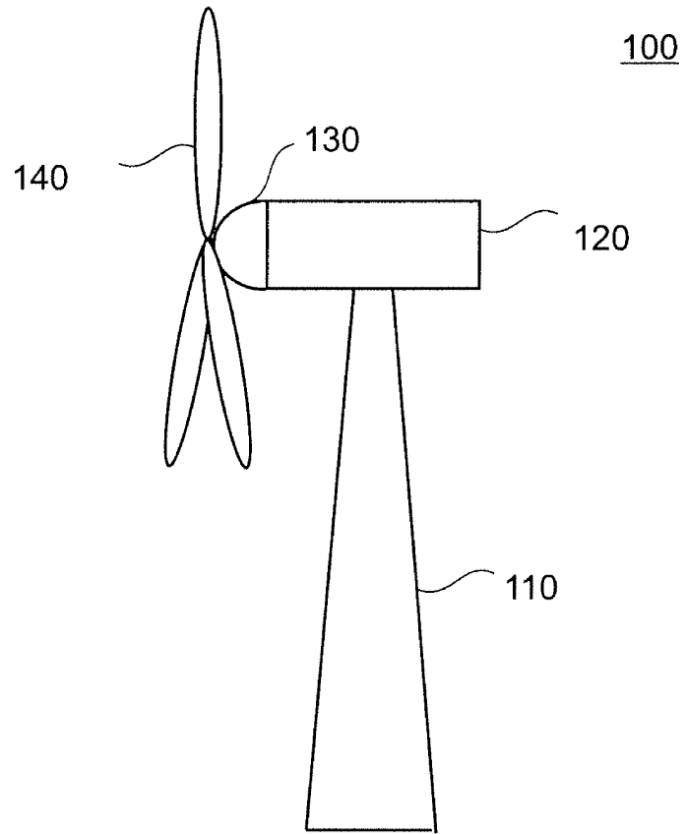


Fig. 1

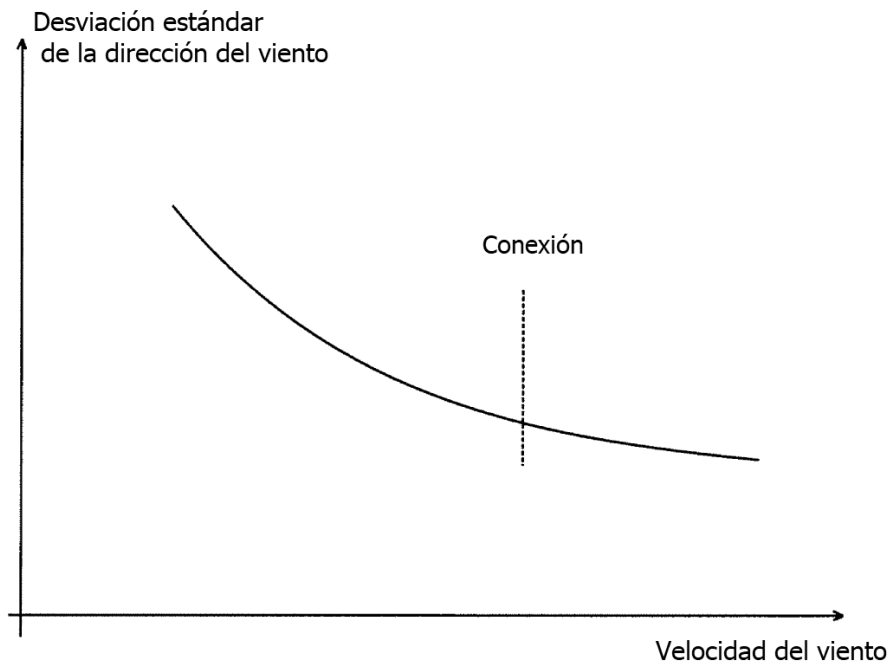


Fig. 2

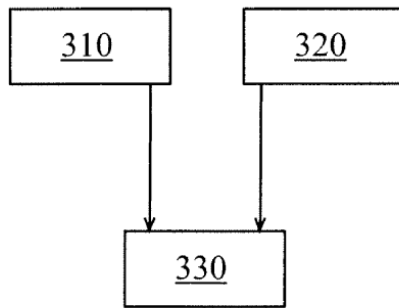


Fig. 3A

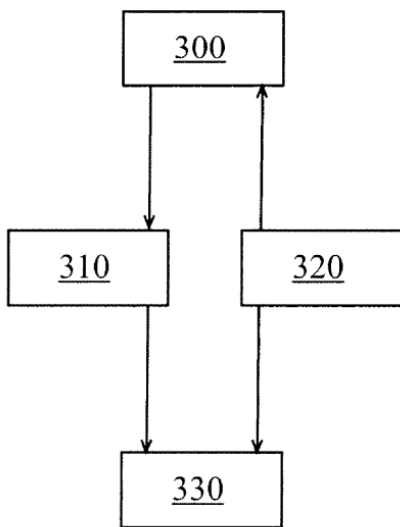


Fig. 3B

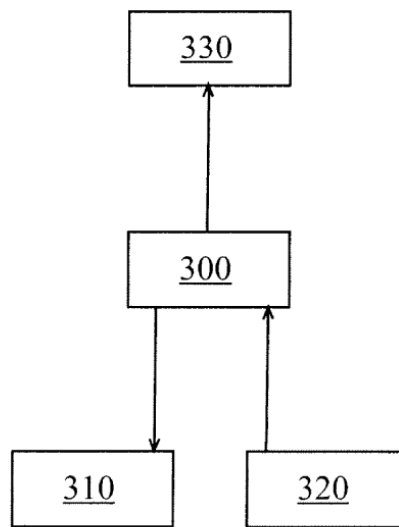


Fig. 3C

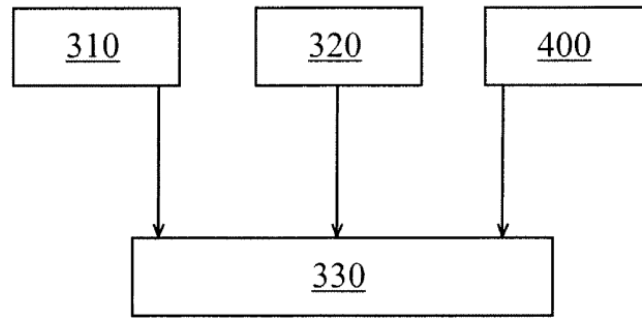


Fig. 4A

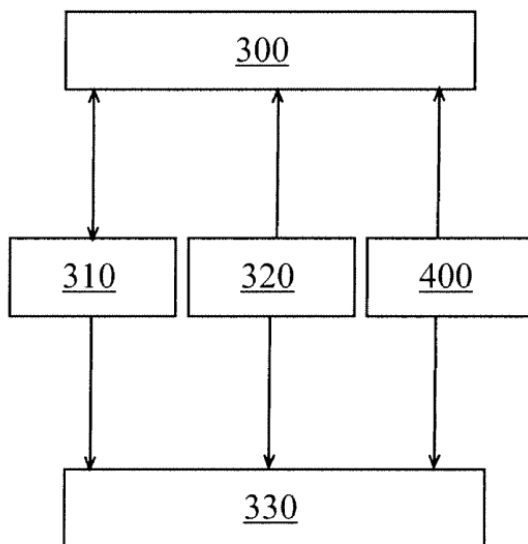


Fig. 4B

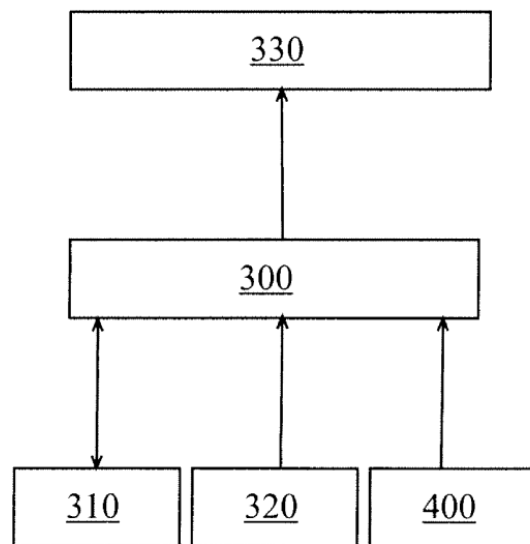


Fig. 4C

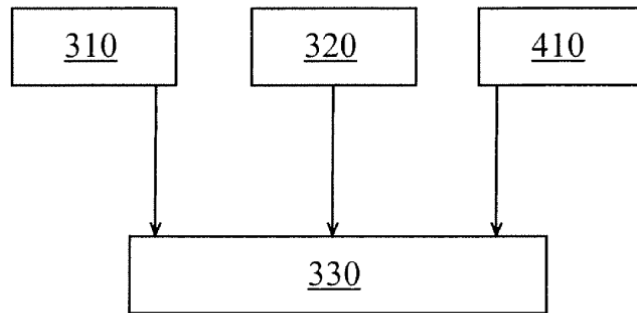


Fig. 4D

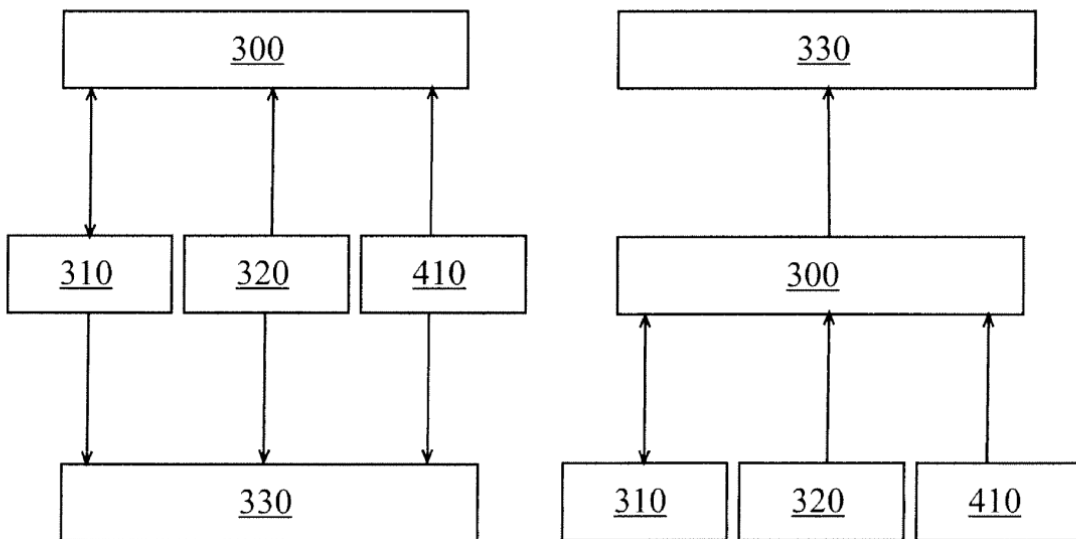


Fig. 4E

Fig. 4F