

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 121**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.06.2020 PCT/EP2020/065729**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.12.2020 WO20249489**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.06.2020 E 20732169 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2024 EP 3983670**

54 Título: **Procedimiento para controlar una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

**12.06.2019 DE 102019115943**

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

**08.11.2024**

73 Titular/es:

**WOBBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)  
Borsigstraße 26  
26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:

**BROMBACH, JOHANNES**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

ES 2 986 121 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para controlar una instalación de energía eólica

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para controlar una instalación de energía eólica. La presente invención también se refiere a una instalación de energía eólica. La presente invención también se refiere a un parque eólico con una pluralidad de instalaciones de energía eólica.

10 Se conocen instalaciones de energía eólica que generan potencia eléctrica a partir del viento y la alimentan a una red de suministro eléctrico. Esto significa que las instalaciones de energía eólica pueden contribuir al suministro de energía, pero también se utilizan cada vez más para apoyar la red de suministro eléctrico. Es especialmente importante destacar que las instalaciones de energía eólica son uno de los más rápidos en regularse de todos los generadores que alimentan. Esto significa que se pueden utilizar especialmente para cambios rápidos y de corta duración en la alimentación de potencia.

15 Estas buenas propiedades de las instalaciones de energía eólica son cada vez más reconocidas y se utilizan cada vez más para respaldar o apoyar la red. Además de la idoneidad de control rápido de las instalaciones de energía eólica, las instalaciones de energía eólica pueden realizar tales tareas de apoyo, en particular un rápido aumento o disminución de potencia, pero no a cualquier nivel y/o en un corto tiempo. Es especialmente importante tener en cuenta que las instalaciones de energía eólica solo pueden suministrar a la red eléctrica tanta potencia de forma permanente, es decir, si no se les asigna ningún almacenamiento correspondiente, como sea posible en función del viento dominante y, por supuesto, del diseño de la instalación de energía eólica.

20 Por este motivo, es conocido el modo de operar instalaciones de energía eólica con una estrangulación voluntaria, para poder, en caso necesario, aumentar su potencia alimentada en el valor de potencia estrangulado.

30 Aparte del hecho de que un procedimiento de este tipo desperdicia energía que puede generarse a partir del viento, tampoco tiene en cuenta el hecho de que la potencia que debe alimentar la instalación de energía eólica no se puede cambiar sin cargar la instalación de energía eólica. Los cambios de potencia especialmente rápidos pueden ejercer una carga sobre la instalación de energía eólica, lo que es desfavorable y puede repercutir, por ejemplo, desfavorablemente en la vida útil de la instalación de energía eólica. En otras palabras, una carga de este tipo puede conducir a una reducción de la vida útil de la instalación de energía eólica. Aunque hay propuestas mediante las cuales se puede estimar dicha reducción en la vida útil, esto no impide dicha reducción en la vida útil.

35 En la solicitud prioritaria de la presente solicitud, la Oficina Alemana de Patentes y Marcas ha investigado el siguiente estado de la técnica: DE 10 2017 112 936 A1, US 2017/0 328 342 A1, EP 2 354 541 A1, HEIER, Siegfried: Windkraftanlagen: Systemauslegung, Integration und Regelung, tercera edición revisada y ampliada, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2003, págs. 431-434 y 456-462. - ISBN 978-3-663-07668-1, DE 10 2009 059 669 A1, DE 10 2011 100 981 A1, US 2009/0 230 681 A1 y DE 10 2016 120 700 A1.

40 Por lo tanto, la invención se basa en el objetivo de solucionar al menos uno de los problemas mencionados. En particular, se debería proponer una solución que limite o reduzca la carga en la instalación de energía eólica que surge de los requisitos de apoyo de red. Se debería proponer al menos una solución alternativa a las soluciones conocidas anteriormente.

45 Según la invención se propone un procedimiento según la reivindicación 1.

50 En consecuencia, se propone un procedimiento para controlar una instalación de energía eólica. Aquí se parte de una instalación de energía eólica, que está configurada para alimentar potencia eléctrica a una red de suministro eléctrico y que comprende una torre con una góndola dispuesta de forma giratoria sobre ella. Además, la instalación de energía eólica comprende un rotor aerodinámico que puede ser impulsado por el viento y un generador acoplado al rotor aerodinámico para generar potencia eléctrica a partir del viento. Para este propósito, también está prevista una unidad de potencia para controlar el generador con el fin de controlar una potencia eléctrica entregada por el generador.

55 El generador es accionado, directa o indirectamente, por el rotor aerodinámico para generar así potencia eléctrica a partir del viento. Además, se proporciona una unidad de potencia para controlar el generador con el fin de controlar la potencia eléctrica entregada por el generador. De este modo, la potencia eléctrica entregada por el generador se puede controlar a través de la unidad de potencia. Para ello puede estar previsto un rectificador activo que rectifica la corriente de estator del generador, pero al mismo tiempo la controla. Controlando la corriente de estator también se puede controlar la instalación de energía eólica. Al menos esto permite controlar la potencia de entrega de la instalación de energía eólica.

Además, también está prevista una unidad de alimentación para alimentar la potencia eléctrica entregada por el generador, o una parte de la misma, a la red de suministro eléctrico.

5 La presente invención se basa en estos elementos de una instalación de energía eólica. Sobre esta base, el proceso incluye los siguientes pasos o etapas.

10 La instalación de energía eólica se controla de tal manera que, en una operación normal, se alimenta una potencia eléctrica de alimentación a la red de suministro eléctrico en función del viento. En este sentido, el funcionamiento u operación normal es aquel en el que no se solicitan solicitudes de soporte o apoyo de red. Por lo tanto, la instalación de energía eólica alimenta en la llamada operación en paralelo de red, en la que se alimenta tanta potencia como sea posible debido al viento predominante y, por supuesto, al diseño de la instalación de energía eólica.

15 Se propone además que la potencia eléctrica de alimentación se cambie en función de un estado de red o de una demanda de red de la red de suministro eléctrico. Por ejemplo, puede estar previsto que la potencia alimentada o inyectada se reduzca a medida que aumenta la frecuencia de la red, al menos tan pronto como la frecuencia de la red haya superado un valor límite predeterminado. En este caso, la potencia eléctrica de alimentación cambia dependiendo de un estado de red. En la medida en que esta reducción de potencia en función de la frecuencia sea una prescripción de la red de suministro eléctrico, también se modifica la potencia eléctrica de alimentación en función de una demanda de red, al menos indirecta.

20 Sin embargo, también es posible que deba cumplirse una demanda de red actual y específica, por ejemplo, la red de suministro eléctrico o su operador exigen expresamente que se reduzca en un porcentaje la potencia alimentada.

25 Para ello ahora se propone además que el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se realice de tal manera que se mantenga un límite de carga mecánica especificable, en particular momentáneo, de la instalación de energía eólica. Por lo tanto, la instalación de energía eólica no realiza directamente el cambio exigido en la potencia alimentada, ya sea en función de un estado de red o en función de una demanda concreta de modificación de potencia, sino que realiza el cambio de la potencia eléctrica de alimentación. El cambio de la potencia eléctrica de alimentación se realiza de tal manera que se mantenga el límite de carga mecánica especificable de la instalación de energía eólica. Un límite de carga mecánica de este tipo también puede ser o incluir un conjunto de varios límites de carga individuales.

30 La idea subyacente es que, por ejemplo, un aumento repentino de la potencia alimentada sólo es posible mediante un aumento repentino del torque. Realmente no importa si el torque se aumentó directamente o si la potencia entregada o absorbida por el generador aumentó repentinamente, lo que resulta en un aumento repentino del torque.

35 En cualquier caso, la limitación de la potencia mecánica especificable se puede conseguir, en particular, garantizando que una demanda de potencia correspondiente no se transmita para su realización a la instalación de energía eólica, en particular al generador, sin control o sin filtrar. Especialmente en el caso de un salto de potencia deseado, es decir, que es deseado por la red de suministro eléctrico, éste se transmite de forma algo más débil al generador para su realización. Por ejemplo, se puede considerar el uso de un límite en un borde para cambiar la potencia, o dicho requisito de potencia se puede gestionar mediante un filtro dinámico. En un caso sencillo, dicho filtro dinámico puede ser un filtro con un comportamiento de paso bajo simple, como un elemento de retardo de primer o segundo orden.

40 Como resultado, se puede evitar un salto de potencia y la carga asociada en la instalación de energía eólica simplemente verificando el filtrado del valor de cambio especificado en la potencia.

45 Cabe señalar que la transmisión sin obstáculos de un cambio de potencia repentino, para seguir con este ejemplo, puede provocar un cambio repentino en el momento del generador y esto conduce directamente a una carga mecánica en el generador. Una carga mecánica de este tipo sobre el generador también puede irradiarse sobre las palas del rotor de la instalación de energía eólica. Un salto de torque de este tipo puede repercutir también en el montaje del generador sobre un soporte de máquina de la instalación de energía eólica.

50 Para una carga indeseable de este tipo, que ahora se evita según la invención, también se tienen en cuenta otros cambios de potencia además del salto de potencia mencionado a modo de ejemplo, tales como, por ejemplo, cambios de potencia no repentinos, pero sí muy rápidos.

55 En las simulaciones se pueden registrar previamente qué cambios de torque y/o de potencia provocan qué cargas mecánicas o qué nivel de carga mecánica. Sin embargo, también se pueden considerar mediciones in situ, en las que se realizan cambios rápidos de potencia y/o de torque rápidos de este tipo. La carga resultante se puede registrar, por ejemplo, mediante galgas extensométricas en las palas del rotor o mediante galgas extensométricas en otros elementos cargados, como por ejemplo el cubo del rotor. Preferentemente se tiene cuidado de que sólo se realicen unas pocas mediciones de este tipo y, por tanto, sólo unas pocas excitaciones de las cargas correspondientes

necesarias para ellas. Alternativamente, una medición de este tipo puede realizarse con valores de carga muy bajos y luego calcular desde esta carga baja una carga correspondientemente alta, en particular mediante extrapolación.

5 Cabe destacar que la propuesta se centra en cambiar la potencia eléctrica de alimentación. Por lo tanto, se comprueba en qué medida la modificación de la potencia eléctrica de alimentación conduce a una carga mecánica y, en consecuencia, se realiza entonces el cambio de la potencia eléctrica de alimentación, en particular con variaciones tan débiles en el tiempo, que se mantiene el límite de carga mecánica especificable. El límite de carga mecánica especificable también puede denominarse límite de carga mecánica predeterminada.

10 Según una forma de realización se propone especificar al menos un gradiente límite para el cambio de la potencia de alimentación. Un gradiente límite de este tipo es un cambio temporal máximo en términos de cantidad de un valor de potencia, en particular de un valor de potencia de una potencia eléctrica generada por el generador. El gradiente límite también puede ser un cambio temporal máximo en términos de cantidad de un momento de generador a controlar. Para ilustrar gráficamente, tal gradiente límite forma en el tiempo un flanco ascendente, que no debe ser superado por la potencia correspondiente o el momento de generador correspondiente, y un flanco descendente, que no debe ser superado por la potencia correspondiente o el momento de generador a controlar. Por lo tanto, se propone no especificar la potencia correspondiente o el momento de generador correspondiente en términos de su recorrido, sino limitarlo en términos de su recorrido.

20 En la medida en que el cambio en la potencia eléctrica de alimentación en función del estado de red o en función de la demanda de red conduzca a un cambio en la potencia o a un cambio en el momento de generador, que no exceda el gradiente límite en cantidad, no se produce ningún cambio. Sin embargo, si el cambio en la potencia eléctrica de alimentación requiriera un cambio mayor en la cantidad, se alcanzaría el gradiente límite y, por lo tanto, el cambio sería limitado. El resultado es que no se transmiten cambios demasiado fuertes o rápidos al generador y, por lo tanto, no se implementan cambios demasiado fuertes o rápidos. Esto garantiza que se mantenga un límite de carga mecánica para la instalación de energía eólica.

25 A través de las investigaciones preliminares ya mencionadas, que pueden determinar una relación entre los cambios de potencia y las cargas resultantes, se puede determinar la carga mecánica y seleccionar un gradiente límite correspondiente basándose en la relación registrada.

30 Preferiblemente, los gradientes límite son variables. En particular, se pueden especificar según la situación. Por ejemplo, una instalación de energía eólica en operación a carga parcial, es decir, cuando el viento es tan débil que la instalación de energía eólica no puede alcanzar su potencia nominal, puede verse sometida a una carga mecánica más débil debido a un cambio en la potencia de alimentación que una instalación de energía eólica que alimenta en operación a plena carga, es decir, cuando funciona con vientos más fuertes.

35 Preferiblemente, el gradiente límite también se puede variar para un mismo proceso permitiendo un fuerte aumento desde el principio, pero que se puede reducir, por ejemplo, sólo unos segundos más tarde, por ejemplo 3, 4 o 5 segundos más tarde. Esto se basa en la idea de que un aumento inicial breve y rápido de la potencia conduce a una carga mecánica que sigue siendo admisible, mientras que la carga mecánica adicional se superaría si se siguiera permitiendo un cambio correspondientemente grande de la potencia de alimentación.

40 También es posible que una carga mecánica se deba únicamente a una oscilación. Una oscilación de este tipo también puede evitarse especificando un gradiente límite correspondiente. A este respecto, cabe señalar que una limitación del cambio de potencia o un cambio de momento de generador es una función no lineal. Por tanto, el efecto depende de la amplitud. Dependiendo de la amplitud limitada, esto puede provocar oscilaciones, que a la inversa se pueden evitar especificando adecuadamente el gradiente límite. También en este caso es necesario realizar investigaciones preliminares, como por ejemplo simulaciones, para comprobar qué gradientes límite pueden evitar o limitar tales u otras oscilaciones.

45 Según una forma de realización se propone controlar el momento de generador mediante un valor de consigna de torque, donde el valor de consigna de torque se pasa a través de un elemento de filtro para reducir la oscilación y/o para evitar una excitación de oscilación del generador, donde el elemento de filtro está configurado en particular como filtro de paso bajo y/o como elemento de retardo, en particular como elemento de retardo lineal de primer o segundo orden.

50 En este sentido se propone un prefiltrado especial para el control del generador. Un elemento de filtro de este tipo también puede denominarse precontrol. El elemento de filtro impide que se realice un salto de consigna en la consigna de torque directamente en el control del generador. De esta manera se puede evitar una sacudida en el generador, que podría provocar una oscilación en el mismo. El elemento de filtro evita tales sacudidas y evita así tales excitaciones de oscilaciones o también puede servir para reducir las oscilaciones.

Mediante el uso de un filtro de paso bajo se eliminan especialmente las frecuencias más altas del valor de consigna de torque. En particular, el uso de un filtro de paso bajo lineal, como por ejemplo un elemento de retardo lineal de primer o segundo orden, permite la observación dinámica, en particular también la observación en el rango de frecuencia. Esto permite tener en cuenta valores propios específicos o una frecuencia de resonancia del generador.

5 También se puede combinar el uso de un gradiente límite y un elemento de filtro, que también puede denominarse como sinónimo filtro. En particular, una combinación de este tipo puede ser tal que la potencia y/o el momento de generador se limiten en primer lugar mediante el gradiente límite y la señal así limitada se procese a continuación. La señal así limitada puede representar ya una limitación de un valor de consigna de torque y luego puede transmitirse como tal a través del elemento de filtro. O bien, la señal limitada, especialmente si se trata de una potencia, se puede convertir primero en un valor de consigna de torque y el valor de consigna de torque resultante se puede transmitir a través del elemento de filtro.

15 Según la invención está previsto que el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se controle de tal manera que tras un torque de generador que supera un valor límite de torque predeterminado en términos de cantidad se suprima otro torque de generador que supera el valor límite de torque predeterminado durante un intervalo de recuperación predeterminado o se limite al valor límite de torque. Esto significa que inicialmente se permite un momento de generador excesivo. Si luego se produce otro momento de generador que supera el límite de torque, esto ya no estará permitido. Dependiendo de la situación, esto puede significar que generalmente no está permitido, pero preferiblemente se limita al límite de torque. Preferiblemente esto se hace durante 5 a 30 segundos. Preferiblemente, el momento de generador que excede el valor límite de torque predeterminado también se permite durante un período de tiempo predeterminado y este período puede corresponder al período o intervalo de recuperación.

25 Sin embargo, se reconoció que el problema subyacente puede ser que el generador y la estructura mecánica detrás de él puedan oscilar debido a varios grandes momentos de generador seguidos. En este sentido, generalmente no existe ningún problema de que el momento de generador sea permanentemente demasiado grande. También hay que tener en cuenta aquí que un momento del generador tan elevado, que también puede denominarse como sinónimo torque de generador, se produce en particular mediante un cambio de potencia.

30 Un momento de generador tan elevado puede producirse especialmente si se debe extraer energía de impulso, es decir, energía cinética, del rotor de la instalación de energía eólica. Si se produce un momento de generador tan grande, esto significa que el generador también se frena considerablemente. Si este gran momento de generador se mantuviera durante un largo periodo de tiempo, por ejemplo, durante un minuto, podría provocar un frenado tan fuerte del generador y, con ello, del rotor de la instalación de energía eólica, que podría detenerse. Una situación de este tipo también es desfavorable y generalmente indeseable, pero ya no se produce una carga mecánica elevada.

35 Sin embargo, la presente invención se refiere a la reducción o limitación de una carga mecánica y, siguiendo con el ejemplo mencionado, esto puede ocurrir en particular tomando la energía cinética a corto plazo y por un corto periodo de tiempo del rotor de la instalación de energía eólica mediante un momento de generador correspondientemente alto, por ejemplo, durante 5 segundos. Este puede ser el caso, por ejemplo, si la frecuencia en la red de suministro eléctrico varía y la instalación de energía eólica quiere contrarrestar esto aumentando la alimentación de potencia a corto plazo.

45 Si el momento de generador es muy elevado durante un breve momento, como los 5 segundos mencionados a modo de ejemplo, se puede suponer que en los siguientes 5 segundos no se solicitará energía adicional debido a la oscilación de frecuencia en la red de suministro eléctrico y el momento de generador habrá vuelto a caer en consecuencia. También 5 segundos más tarde, siguiendo con el ejemplo anterior, puede volver a surgir una demanda de potencia elevada, con el correspondiente momento de generador alto. Esto significa que potencialmente hay cambios de torque fuertes cada 5 segundos. Dependiendo de la frecuencia de estos fuertes cambios de torque, pueden hacer que el generador o el sistema del rotor-generador oscilen. Para evitar esto, se proporciona el intervalo de recuperación mencionado. Esto evita una secuencia rápida de momentos de generador altos.

50 Según otra forma de realización se propone que el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se controle de tal manera que en caso de una oscilación decreciente del momento de generador con una amplitud máxima que supera el valor límite de amplitud predeterminado, se evita otro impulso de torque de generador con al menos la mitad de la amplitud del valor límite de amplitud. Así, si el momento de generador oscila, lo que puede ir acompañado de una oscilación mecánica del generador y del rotor, se suprimen otros impulsos de torque de generador. Si estos impulsos de torque de generador son pequeños, concretamente menos de la mitad de la amplitud del valor límite de amplitud, se puede prescindir de esta supresión.

60 De este modo se puede evitar que se vuelva a excitar una oscilación del torque de generador que está disminuyendo y, por lo tanto, aún existente. Para ello se propone que esta supresión de tales impulsos de torque de generador adicionales se lleve a cabo hasta que la oscilación decreciente haya decaído hasta una amplitud que se encuentre por

debajo de un valor de caída de amplitud predeterminado. Este valor de caída de amplitud se elige preferentemente para que sea inferior al 25% del valor límite de amplitud.

5 A lo sumo se produce todavía una oscilación con una amplitud de un cuarto del valor límite de amplitud y con un valor tan pequeño de un cuarto se puede suponer que la oscilación se considera esencialmente amainada.

10 Alternativamente también se puede seleccionar un período de caída o disminución, de modo que la supresión de otros impulsos de torque de generador con el nivel correspondiente sólo se realice hasta que haya transcurrido un período de disminución predeterminado. Dicho tiempo de caída está preferiblemente en el intervalo de 5 a 30 segundos. Aquí se constató que, dependiendo del generador, la oscilación del generador había disminuido, lo que se puede suponer después de 30 segundos incluso en generadores con una frecuencia de oscilación baja. Por supuesto, dependiendo del generador, también se puede seleccionar un tiempo de caída diferente.

15 Según una realización, se propone que para controlar el generador esté formado un circuito de control de generador, que incluye al menos el generador y la unidad de potencia. Se propone además que se especifique una dinámica de control para el circuito de control de generador, en particular valores propios y/o posiciones de polos, y la especificación de la dinámica de control, en particular los valores propios o las posiciones de polos se realizan de tal manera que se pueda mantener el límite de carga mecánica especificable de la instalación de energía eólica.

20 Cuando se utiliza un circuito de control de generador configurado de esta manera, el torque se puede especificar como valor de consigna y así constituir la variable de entrada para el circuito de control. A este valor se le resta el valor real actual del valor de torque y la diferencia de control resultante se obtiene a través de un controlador cuya dinámica se puede especificar o mediante el cual se puede especificar la dinámica de circuito de control.

25 El resultado de un controlador de este tipo puede ser entonces una variable manipulada. La variable manipulada se puede entregar a la unidad de potencia para su implementación. La variable manipulada puede ser, por ejemplo, una corriente de excitación ajustable si el generador está configurado como generador síncrono excitado externamente. A través de esta corriente de excitación se puede ajustar o al menos modificar fundamentalmente el torque de generador.

30 Pero éste es sólo un ejemplo particularmente ilustrativo. Según otro ejemplo, el torque de generador se puede ajustar mediante un rectificador activo. El rectificador activo puede hacer esto controlando la corriente del estator entregada por el generador y a partir de ella la potencia entregada por el generador. Esto a su vez permite ajustar el torque de generador.

35 El circuito de control de generador también se puede utilizar para ajustar directamente la potencia del generador, es decir, su potencia de entrega. En este caso, hay que establecer un valor de consigna para la potencia de entrega. Esto se puede comparar con un valor real de la potencia de entrega, es decir, la potencia del generador, y la diferencia de control resultante se puede dar a través del controlador, que calcula una variable manipulada a partir de esto y la envía a la unidad de potencia para su implementación.

40 Por lo tanto, se reconoció que dicha dinámica se puede especificar a través de este circuito de control de generador, que también puede influir en la carga mecánica y evitar así una sobrecarga mecánica. En particular, mediante la parametrización de este circuito de control de generador, el control del generador puede hacerse tan lento que se eviten momentos de generador excesivos y, por tanto, cargas mecánicas excesivas.

45 El uso de un circuito de control de generador de este tipo se puede combinar también con la sugerencia de los gradientes límite y/o la sugerencia del elemento de filtro conectado previamente. Si es necesario, se debe adaptar correspondientemente la parametrización del circuito de control de generador.

50 Según una forma de realización se propone que el circuito de control de generador comprenda elementos mecánicos o se tengan en cuenta propiedades mecánicas, a saber, el rotor aerodinámico, en particular su momento de inercia, y/o al menos una frecuencia propia de la pala y también, o alternativamente, la torre con la góndola, en particular al menos una frecuencia propia de una oscilación de la torre con la góndola.

55 Por lo tanto, se propone tener en cuenta esta dinámica, que resulta de las propiedades mecánicas, en el circuito de control de generador. Esta consideración se refleja especialmente en la parametrización del circuito de control. En particular, se sabe que tanto el rotor aerodinámico como las palas del rotor, así como la interacción entre la torre y la góndola, pueden presentar respectivamente una frecuencia propia y/o valores propios complejos conjugados correspondientes. Estas propiedades pueden conocerse o determinarse mediante simulaciones. Estas propiedades pueden fluir entonces al circuito de control de generador, especialmente en la parametrización del circuito de control de generador.

60

Según una forma de realización, se propone que en el circuito de control de generador esté incluida una propiedad o un comportamiento de la red de suministro eléctrico, en particular que esté incluida una frecuencia propia y/o una oscilación de la red de suministro eléctrico. Una propiedad, en particular una frecuencia natural, de la red de suministro eléctrico es, por tanto, una propiedad general que puede conducir, aunque no necesariamente, a una oscilación. Si provoca una oscilación, se conoce la frecuencia asociada. Esta frecuencia también es importante para la cuestión de su excitación y es precisamente por ello que se propone tenerla en cuenta en el circuito de control de generador.

De manera adicional, o alternativa, se puede registrar el comportamiento actual, en particular una oscilación actual de la red de suministro eléctrico, y luego tenerse en cuenta directamente en el circuito de control. En este caso, el circuito de control podría diseñarse de forma adaptativa para tener en cuenta dicho comportamiento actual, en particular una frecuencia actual de una oscilación. Alternativamente, el circuito de control puede configurarse de manera tan robusta que pueda cubrir un espectro de frecuencias posibles. Un espectro así puede ser el resultado de valores empíricos.

Según una forma de realización se propone que en el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se tenga en cuenta un modelo mecánico de la instalación de energía eólica, para realizar el cambio de potencia eléctrica de alimentación de tal manera que se pueda mantener un límite de carga mecánica especificable, en particular momentáneo de la instalación de energía eólica. De manera especialmente preferente se propone que el modelo mecánico esté contenido en el circuito de control de generador o al menos sea tenido en cuenta allí.

Un modelo mecánico de este tipo modula especialmente las relaciones entre movimientos mecánicos, desviaciones mecánicas y fuerzas mecánicas, es decir, las representa. Esto incluye preferentemente modular una relación entre el momento de generador que se produce, que por tanto actúa también sobre el rotor, y el movimiento resultante del rotor, así como otras fuerzas que se producen sobre el rotor. Por lo tanto, puede incluir un comportamiento de aceleración del rotor en función de tal torque, incluyendo una flexión resultante de las palas del rotor, las fuerzas resultantes sobre las palas del rotor y en particular sobre el cojinete de paso al que están fijadas las palas del rotor en el cubo del rotor y posibles oscilaciones que se produzcan.

Si, por ejemplo, se planea aumentar la potencia eléctrica de alimentación, se puede determinar cómo aumentará el momento de generador. Este momento de generador o su aumento esperado puede constituir entonces una magnitud de entrada para el modelo mecánico y, en función de ello, se puede reconocer qué cargas mecánicas deben esperarse. Estos se pueden comparar entonces con el límite de carga mecánica especificable y, dependiendo de esto, se puede ajustar, en caso necesario, la variación o cambio de la potencia eléctrica de alimentación, es decir, reducirla o ralentizarla, en particular si es necesario.

Esta consideración se puede lograr incluyendo el modelo mecánico en el circuito de control del generador. Por ejemplo, una carga mecánica reconocida por el modelo mecánico puede cambiar una ganancia de control en el circuito de control de generador mediante una prescripción de control. Para ello, el modelo mecánico se puede integrar directamente en el circuito de control de generador. Sin embargo, por ejemplo, el modelo mecánico también se puede tener en cuenta en el circuito de control de generador adaptando la variable de entrada del circuito de control de generador, es decir, el valor de consigna para el momento de generador o el valor de consigna para la potencia de generador a ajustar, dependiendo del modelo mecánico.

Según una forma de realización se propone que esté previsto un medio de detección de oscilación para detectar al menos una oscilación de la instalación de energía eólica, en particular para detectar oscilaciones mecánicas y/u oscilaciones del generador, donde se utiliza la al menos una oscilación detectada para realizar el cambio en la potencia de alimentación eléctrica de tal manera que se pueda mantener el límite de carga mecánica especificable de la instalación de energía eólica.

Por lo tanto, una variante propuesta aquí es que las oscilaciones mecánicas y/o las oscilaciones del generador se detecten directamente. La atención se centra aquí en las oscilaciones mecánicas de la instalación de energía eólica y/o en las oscilaciones del generador. Las oscilaciones mecánicas de la instalación de energía eólica también pueden ser oscilaciones del rotor, especialmente en el sentido de rotación. Esto puede deberse, por ejemplo, a la elasticidad de las palas del rotor. Sin embargo, también se tienen en cuenta las oscilaciones en la dirección longitudinal de un eje de rotación del rotor y, por tanto, del eje de rotación del generador. Estas oscilaciones también pueden deberse a cambios de potencia y, por tanto, a cambios de carga.

También se propone registrar las oscilaciones del generador. Tales oscilaciones de generador pueden ser también oscilaciones mecánicas. Sin embargo, también es posible detectar una oscilación de torque, que puede detectarse eléctricamente. Sin embargo, una oscilación de torque de este tipo conduce regularmente a una oscilación mecánica. En particular se propone aquí utilizar el procedimiento para una instalación de energía eólica sin engranajes. En este caso, las oscilaciones de generador actúan también directamente sobre el rotor, es decir, sin interposición de un engranaje, y las oscilaciones del rotor también actúan sobre el generador.

Un medio de detección de oscilación puede ser, por ejemplo, un sensor de aceleración, que puede detectar en particular, pero no únicamente, oscilaciones del rotor y, por tanto, de la góndola de la instalación de energía eólica en la dirección longitudinal del eje del rotor. También se pueden considerar galgas extensométricas que pueden detectar oscilaciones debidas a tensiones en la torre de la instalación de energía eólica y/o que, cuando se instalan adecuadamente, pueden detectar oscilaciones de las palas del rotor si, por ejemplo, están dispuestas en una zona de la raíz de las palas del rotor. También se puede registrar una medición de oscilación a través de un sensor de posición del rotor, si se evalúa un desarrollo temporal de la posición del rotor registrada de esta manera, que también se puede denominar posición de giro del rotor.

Las oscilaciones de torque del generador pueden derivarse del control de la instalación de energía eólica, que conoce regularmente la potencia de entrega actual del generador. Las oscilaciones del torque también pueden detectarse mediante un sensor de corriente específico como medio de detección de oscilación. Este es sólo otro ejemplo de un medio de detección de oscilación. Otro ejemplo que podría considerarse son los sensores ópticos que pueden registrar movimientos de elementos.

Según una forma de realización se propone que, para controlar el generador, en particular para controlar mediante un valor de consigna de torque, esté previsto un filtro limitador para limitar una señal de control, en particular el valor de consigna de torque, a una amplitud límite predeterminada en un rango de frecuencia específico.

La amplitud límite se especifica preferentemente como una curva de variación de amplitud dependiente de la frecuencia. La idea subyacente es que ya se conocen las relaciones entre el torque de generador y las cargas mecánicas resultantes. Estas relaciones pueden registrarse de antemano mediante mediciones o simulaciones. También se puede definir y especificar correspondientemente el rango de frecuencia predeterminado, incluida la amplitud límite asociada, que de este modo se puede predeterminar. A través de este filtro limitador se puede conseguir entonces de forma sencilla y especialmente rápida el cumplimiento del límite de carga mecánica especificable. En particular, esta propuesta no exige ninguna trazabilidad de las mediciones.

Especialmente en investigaciones preliminares, ya sea en un sistema real o mediante simulaciones, también se puede reconocer y registrar fundamental y cuantitativamente una dependencia de la frecuencia. Por consiguiente, la amplitud límite puede variar dependiendo de la frecuencia. Una curva de variación de amplitud dependiente de la frecuencia puede referirse especialmente al uso de, por ejemplo, una señal escalonada como valor de consigna de torque. Según la teoría de Fourier, una señal de salto de este tipo se compone de diferentes componentes de frecuencia y esto es exactamente lo que se puede tener en cuenta al especificar una curva de amplitud dependiente de la frecuencia. Se puede considerar que una amplitud límite de este tipo está configurada como una función correspondiente en función de la frecuencia o como un sistema limitador en función de la frecuencia. Aquí se tiene en cuenta un filtro correspondiente en función de la frecuencia.

La instalación de energía eólica presenta preferentemente un generador síncrono y, en particular, está configurada sin engranajes. También está previsto que la unidad de potencia presente un rectificador y un convertidor elevador, o que presente un rectificador controlado. Si tiene un rectificador controlado, el convertidor elevador es innecesario.

Para este uso de un generador síncrono, ahora se prevé que el convertidor elevador o el rectificador controlado se utilicen para controlar el generador para controlar la potencia eléctrica entregada por el generador o para controlar el torque de generador. La corriente de estator del generador se puede controlar tanto con el convertidor elevador como con el rectificador controlado. Esta corriente de estator es una corriente de entrega del generador síncrono.

Mediante el control de esta corriente de estator, se puede controlar la potencia de entrega del generador síncrono. Con una conversión adecuada y teniendo en cuenta la velocidad rotacional del rotor del generador, a partir de la corriente de estator también se puede derivar un torque o ajustar un torque de generador a través de la corriente del estator. De este modo se puede especificar a voluntad el momento de generador y, con ello, también el torque que actúa sobre el rotor.

En el caso de una instalación de energía eólica sin engranajes utilizada preferentemente, el torque del rotor se puede especificar directamente. Especialmente si el momento del rotor es una magnitud crítica con respecto al límite de carga mecánica especificable, a través de este control del generador síncrono se puede influir directamente en una carga correspondiente y, en caso necesario, ajustarla y limitarla. Incluso si otros elementos o elementos adicionales son relevantes para el límite de carga mecánica especificable, como por ejemplo una flexión y/u oscilación de las palas del rotor, esto también se puede influir fácilmente mediante el control de la potencia eléctrica entregada por el generador o del momento de generador a través de la unidad de potencia mencionada.

El generador síncrono está configurado preferentemente como generador síncrono excitado externamente y la unidad de potencia comprende entonces un controlador de excitación, en particular un controlador de corriente continua, para controlar de este modo una corriente de excitación del generador síncrono. Esto permite controlar la excitación del

generador síncrono y, por tanto, controlar fácilmente el momento de generador. Esto también se puede utilizar para controlar la potencia eléctrica entregada por el generador. De este modo, la unidad de potencia tiene una buena y, en particular, posibilidad adicional de ajustar la potencia y/o el momento de generador y, de este modo, influir en la carga mecánica.

5 Según la invención también se propone una instalación de energía eólica, que está configurada para alimentar energía eléctrica a una red de suministro eléctrico. Esta comprende

- 10 - una torre con una góndola dispuesta de forma giratoria sobre ella,
- un rotor aerodinámico que puede ser impulsado por el viento,
- un generador acoplado al rotor aerodinámico para generar potencia eléctrica a partir del viento,
- una unidad de potencia para controlar el generador para controlar una potencia eléctrica entregada por el generador y/o para controlar un torque de generador y
- 15 - una unidad de alimentación para alimentar la potencia eléctrica entregada por el generador, o parte de la misma, a la red de suministro eléctrico,
- una unidad de control para controlar la instalación de energía eólica, de modo que, en una operación normal, se alimente una potencia eléctrica de alimentación a la red de suministro eléctrico en función del viento, donde la unidad de control está preparada para,
- 20 - controlar un cambio de la potencia eléctrica de alimentación dependiendo de un estado de red y/o una demanda de red de la red de suministro eléctrico, donde
- el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se realiza de tal manera que se mantiene un límite de carga mecánica especificable, en particular momentáneo, de la instalación de energía eólica.

25 Por lo tanto, la instalación de energía eólica está configurada como ya se explicó anteriormente en relación con el procedimiento según la invención para controlar una instalación de energía eólica.

La unidad de control de la instalación de energía eólica puede estar configurada en particular como un procesador y puede estar acoplada en particular a la unidad de potencia y a la unidad de alimentación. A este respecto, la unidad de control controla preferentemente tanto la unidad de potencia como la unidad de alimentación. Sin embargo, también es posible al menos en parte que la unidad de alimentación sea controlada indirectamente por la unidad de potencia.

30 Un control de este tipo puede configurarse de tal manera que la unidad de potencia también controle un suministro de potencia y, con el tiempo, un suministro de energía a la unidad de alimentación controlando la entrega de potencia eléctrica por el generador o indirectamente controlando el momento de generador. Una parte del control de la unidad de alimentación puede entonces configurarse de manera que la unidad de alimentación controle la alimentación a la red de suministro eléctrico dependiendo de la potencia o energía que recibe de la unidad de potencia o mediante el control de la unidad de potencia.

40 La unidad de control también puede conectarse a una unidad de detección para detectar al menos un estado de la red. En particular se puede registrar aquí la tensión en la red de suministro eléctrico o una tensión representativa en la salida de la unidad de alimentación y además la corriente y/o la potencia alimentada.

45 La detección de la tensión de la red de suministro eléctrico incluye no sólo una amplitud de tensión sino también una frecuencia de la tensión eléctrica. Además, se detecta una posición de fase, en particular una posición de fase de la tensión eléctrica con respecto a la corriente eléctrica alimentada. De esto también se puede derivar una proporción de potencia reactiva alimentada. A partir de estos valores, en particular de la frecuencia de red registrada y/o de un cambio de la frecuencia de red, también se puede deducir la necesidad de un cambio de la potencia a alimentar a la red de suministro eléctrica.

50 Esta necesidad de cambio se puede evaluar entonces en la unidad de control y, en función de ello, se puede controlar de nuevo el control del generador, concretamente controlando la unidad de potencia. La unidad de control puede recibir información sobre el estado de la red y también de la unidad de alimentación si esta registra las variables de red o estados de red, o parte de los mismos.

55 La unidad de control también puede contener el límite de carga mecánica especificable. Por lo tanto, esto se puede especificar en la unidad de control. Si esto se especifica en función de una prescripción y/o en función de variables de entrada, dicha especificación también se puede realizar en la unidad de control. Allí también se puede calcular o determinar de otro modo el límite de carga mecánica. Para los valores absolutos del límite de carga mecánica especificable también es posible almacenarlos previamente en la unidad de control, especialmente en fábrica. Sin embargo, también es posible que estos se actualicen ocasionalmente.

60

Según una forma de realización está previsto que la instalación de energía eólica, en particular la unidad de control, esté configurada para llevar a cabo un procedimiento para controlar una instalación de energía eólica según al menos una forma de realización descrita anteriormente.

5 La unidad de control puede configurarse correspondientemente para este fin. Una configuración de este tipo también puede incluir las relaciones mencionadas entre la unidad de control y la unidad de potencia, así como la unidad de alimentación. A esta preparación de la unidad de control para la realización del procedimiento mencionado también puede pertenecer la conexión de una unidad de medición para registrar los estados de la red, en particular las magnitudes eléctricas de la red de suministro eléctrico.

10 Mediante un modelo mecánico de la instalación de energía eólica se pueden estimar cargas mecánicas, en particular estimarlas de antemano. Este modelo mecánico también puede configurarse y usarse como se explicó anteriormente en relación con realizaciones del procedimiento para controlar una instalación de energía eólica.

15 Según la invención también se propone un parque eólico con una pluralidad de instalaciones de energía eólica. Está previsto que las instalaciones de energía eólicas, al menos una parte de ellas, estén configuradas según al menos una forma de realización de una instalación de energía eólica descrita anteriormente.

20 Lo que es especialmente importante aquí es que las instalaciones de energía eólica alimenten juntas la red de suministro eléctrico en un punto de conexión a la red y, de este modo, cambien esta potencia eléctrica de alimentación total en función del estado de la red y/o de las demandas de la red, donde un cambio de la potencia eléctrica de alimentación de cada instalación de energía eólica individual se controla de tal manera que se mantenga un límite de carga mecánica especificable para cada instalación de energía eólica individual. Con esto se puede lograr un mejor seguimiento de la potencia total alimentada en el punto de conexión de red en función del estado de red o de la demanda de red.

25 Según una forma de realización se propone que el parque eólico esté conectado a la red de suministro eléctrico en un punto de conexión de red para alimentar una potencia eléctrica de parque a la red de suministro eléctrico. La potencia eléctrica de parque es esencialmente la suma de toda la potencia eléctrica de alimentación de las instalaciones de energía eólica del parque eólico en cada momento.

30 Además, para el parque eólico está previsto un control central de parque para coordinar las instalaciones de energía eólica de modo que la potencia eléctrica de parque se alimente a la red de suministro eléctrico en el punto de conexión a la red, en particular teniendo en cuenta el respectivo límite de carga especificable de cada instalación de energía eólica. De este modo, el control central de parque coordina las instalaciones de energía eólica en cuanto a su potencia eléctrica de alimentación.

35 Para ello, el control central del parque puede asignar a cada instalación de energía eólica un valor de consigna individual para la potencia eléctrica de alimentación. La instalación de energía eólica ajusta entonces la potencia eléctrica de alimentación correspondiente y la suma de todas estas potencias eléctricas de alimentación es esencialmente la potencia eléctrica de parque. Sin embargo, si se requiere un cambio en la potencia eléctrica de alimentación, o si se anuncia dicho cambio, cada instalación de energía eólica puede enviar una señal al control central de parque para indicarle al control central de parque un límite al posible cambio en la potencia de alimentación.

40 Dependiendo de esto, el control central de parque puede entonces ajustar la distribución de la potencia eléctrica de parque entre las instalaciones de energía eólica, por ejemplo, haciendo que una instalación de energía eólica que aún no haya alcanzado un límite de carga mecánica especificable se haga cargo de parte de la potencia que otra instalación de energía eólica no puede entregar en ese momento debido a un límite de carga mecánica.

45 También es posible considerar que, si no se puede lograr un cambio deseado en la potencia eléctrica de parque debido a los límites de carga mecánica especificables de todas las instalaciones de energía eólica, entonces se especifica una nueva potencia eléctrica de parque que sí se pueda lograr.

50 Además, se considera que, según una realización, se propone que el control central de parque transmita información a un operador de red que opera la red de suministro eléctrico sobre en qué medida se puede implementar un cambio en la potencia eléctrica de parque. La red de suministro eléctrico o su operador de red pueden entonces adaptarse a esta situación.

55 La invención se explica a continuación con más detalle utilizando ejemplos de realización con referencia a las figuras adjuntas.

60 Figura 1 muestra una instalación de energía eólica en una vista en perspectiva.

Figura 2 muestra un parque eólico en representación esquemática.

Figura 3 muestra un control de generador en una representación esquemática.

5 La Figura 1 muestra una instalación de energía eólica 100 con una torre 102 y una góndola 104. En la góndola 104 está dispuesto un rotor 106 con tres palas de rotor 108 y un spinner 110. Durante la operación, el viento hace que el rotor 106 gire y por lo tanto acciona un generador en la góndola 104.

10 Además, se proporciona una unidad de alimentación 101 para alimentar potencia eléctrica entregada por el generador a una red de suministro eléctrico 120. Para ello, la unidad de alimentación emite una corriente alterna trifásica, que se puede alimentar a la red eléctrica 120 a través de un transformador de red 116 en el punto común de conexión a la red 118.

15 Además, en la figura 1 están representados un sensor de corriente 103 y un sensor de tensión 105, que juntos también pueden formar un dispositivo de medición. La corriente y el voltaje que se pueden detectar de esta manera se pueden usar como señal de entrada para la unidad de alimentación 101. Esto significa que también se pueden registrar estados de red, como la frecuencia de la red o la tensión de la red. Para detectar la tensión de red se puede tener en cuenta el comportamiento de transmisión del transformador de red 116. A través del sensor de corriente 103 y del sensor de tensión 105 también es posible detectar la posición de fase de la corriente y la tensión entre sí y, por tanto, también  
20 detectar la potencia activa alimentada y la potencia reactiva alimentada o, detectar también con ellas un factor de potencia. Estas cantidades forman estados de red. Por lo tanto, estos valores también se pueden utilizar al alimentar y también al tener en cuenta límites de carga mecánicos especificables.

25 La figura 2 muestra un parque eólico 112 con, por ejemplo, tres instalaciones de energía eólica 100, que pueden ser iguales o diferentes. Por lo tanto, las tres instalaciones de energía eólica 100 son representativas de básicamente cualquier número de instalaciones de energía eólica en un parque eólico 112. Las instalaciones de energía eólica 100 ponen a disposición su potencia, en particular la corriente generada, a través de una red de parque eléctrico 114. Las corrientes o potencias generadas en cada caso de las instalaciones de energía eólica 100 individuales se suman y normalmente se proporciona un transformador 116, que transforma la tensión en el parque para luego alimentarla a la  
30 red de suministro 120 en el punto de alimentación 118, que también se denomina generalmente PCC. Por ejemplo, la red de parque 114 se puede diseñar de manera diferente, por ejemplo, teniendo también un transformador en la salida de cada instalación de energía eólica 100, por nombrar sólo otra realización ejemplar.

35 El parque eólico 112 también tiene un control central de parque 130. Las instalaciones de energía eólica 100 pueden coordinarse con este control central de parque 130. Para ello, existe una comunicación entre el control central de parque 130 y las instalaciones de energía eólica 100. Esta comunicación puede ser por cable o inalámbrica. En aras de la claridad, no se muestran conexiones de comunicación entre el control central de parque 130 y las instalaciones de energía eólica 100.

40 También entra en consideración la comunicación entre el control central de parque 130 y un operador de red. Dicha comunicación puede tener lugar con un centro de control de red 132 del operador de red y esto se indica en la Figura 2. El operador de red también puede solicitar una potencia de apoyo y el control central de parque puede informar al operador de red de en qué medida y de qué manera se puede satisfacer la solicitud. Aquí se puede tener en cuenta una restricción para mantener un límite de carga mecánica especificable. De este modo, el operador de la red puede  
45 recibir información sobre en qué medida el parque eólico 112 puede cubrir su solicitud, incluso teniendo en cuenta dicha limitación de carga mecánica.

50 En la figura 3 se muestra esquemáticamente un control de un generador síncrono 302. En el generador síncrono, el rotor 304 y el estator 306 están configurados cada uno como áreas anulares. La Figura 3 los muestra en una vista en sección indicada, de modo que se muestran como áreas sombreadas. Estas áreas sombreadas son esencialmente las áreas magnéticamente efectivas del rotor 304 o del estator 306.

55 El rotor 304 está representado aquí como rotor situado internamente, de modo que el generador síncrono 302 está configurado en este ejemplo como rotor interno, y como generador anular. El rotor 304 está firmemente conectado a un rotor aerodinámico 106 indicado. Este rotor aerodinámico 106 corresponde por lo tanto al rotor aerodinámico 106 según la figura 1 y tiene las palas de rotor 108 correspondientemente indicadas.

60 Solo con fines ilustrativos, en la figura 3 solamente se muestran dos palas de rotor 108. En aras de la simplicidad, se han elegido aquí los mismos números de referencia que en la figura 1 para indicar que estos también pueden ser los mismos elementos que en la figura 1. Lo mismo se aplica a los demás elementos de la figura 3, que tienen los mismos números de referencia que en la figura 1 y/o la figura 2. Todos estos elementos pueden corresponder a los elementos correspondientes de las figuras 1 o 2 o de ambas, incluso si se ha elegido una forma de representación diferente.

De este modo, el generador síncrono 302 puede estar dispuesto en la góndola 104 de la instalación de energía eólica 100 según la figura 1. El estator 306 del generador síncrono 302 está configurado en el ejemplo mostrado en seis fases, es decir, con dos sistemas trifásicos desplazados entre sí 30 grados. El estator 306 está unido a un marco de soporte 308, que sólo se indica. Por medio de este marco de soporte 308, el generador síncrono 302 se fija así en una góndola como la de la góndola 104 en la figura 1, es decir, en un soporte de máquina.

La corriente de estator de seis fases  $I_S$  se suministra entonces a un rectificador activo 310. El rectificador activo 310 rectifica esta corriente de estator de seis fases  $I_S$  y genera una corriente continua con tensión continua y la transmite al circuito intermedio de tensión continua 312. El rectificador activo 310 también puede controlar específicamente la corriente de estator  $I_S$  y con ello también controlar un torque del generador síncrono 302. Para ello, el rectificador activo 310 puede recibir un valor de consigna de potencia  $P_S$  y opcionalmente un valor de consigna de potencia reactiva  $Q_S$ , no representada en la figura 3.

Los valores de consignas de potencia  $P_S$  y, en su caso,  $Q_S$ , puede especificarse mediante una unidad de control 314, por ejemplo. Tal valor de consigna de potencia  $P_S$ , que es especificado por la unidad de control 314, puede especificarse, por ejemplo, dependiendo de una velocidad rotacional del rotor aerodinámico 106 de acuerdo con una curva de velocidad rotacional-potencia. La unidad de control 314 puede calcular esto en consecuencia. Sólo para simplificar la ilustración, no se muestra una entrada de una velocidad rotacional detectada  $n$  en la unidad de control 314. Por lo demás, la unidad de control 314 representada esquemáticamente puede llevar a cabo de todos modos cualquier control de la instalación de energía eólica o puede llevar a cabo una gran parte del control de la instalación de energía eólica y luego tener disponible de todos modos un valor de velocidad rotacional de este tipo.

De este modo se ajusta un punto de funcionamiento de la instalación de energía eólica mediante el valor de consigna de potencia  $P_S$ . En una situación especial, que se describirá a continuación, esta potencia ajustada se puede cambiar al menos brevemente mediante un diferencial de potencia  $\Delta P_F$ . A este respecto,  $\Delta P_F$  se muestra en la figura 3 como una variable de entrada adicional para el rectificador activo 310.

En cualquier caso, la potencia o la energía que el rectificador activo 310 ha introducido en el circuito intermedio de tensión continua 312 se convierte mediante la unidad de alimentación 101 en una corriente alterna trifásica con una tensión alterna trifásica y finalmente se alimenta a la red de suministro eléctrico 120 en la conexión de red común 118.

La unidad de alimentación 101 mostrada esquemáticamente puede usar las corrientes y tensiones medidas, especialmente las registradas con el sensor de corriente 103 y el sensor de tensión 105, para registrar estados de red de la red de suministro eléctrico 120. Una posibilidad es registrar una frecuencia de red  $f_N$  como estado de red.

Ahora puede estar previsto que, en función de la frecuencia de red detectada, se alimente a la red de suministro eléctrico una potencia de apoyo, concretamente además de la potencia actual, en particular además de la potencia predeterminada  $P_S$  del punto de trabajo. Lo que es especialmente importante en este caso es que, en caso de caídas breves de la frecuencia de red  $f_N$ , la potencia de apoyo debe alimentarse rápidamente y sólo durante un breve periodo de tiempo a la red eléctrica. Un breve periodo de tiempo puede estar particularmente en el intervalo de 5 a 30 segundos. Tal potencia de apoyo puede estar en el rango del 5 al 20 por ciento de la potencia entregada actual del generador síncrono 302, es decir, en el rango del 5 al 20 por ciento de la potencia  $P_S$ .

Esta potencia de apoyo adicional puede generarse mediante el generador síncrono frenándolo eléctricamente, con lo que la energía cinética se convierte en potencia eléctrica. Para ello, el rectificador activo 310 puede aumentar correspondientemente la corriente de estator  $I_S$ . Si es necesario, se puede configurar una corriente de excitación. Esto también aumenta el momento de generador, lo que provoca dicho frenado eléctrico del rotor y por tanto un aumento de la potencia generada. En particular se frena el rotor aerodinámico 106 pero también el rotor 304, que también puede denominarse rotor electrodinámico.

Su energía cinética por tanto se convierte.

Ahora se ha reconocido que dicho apoyo puede ser muy útil, pero también puede representar una gran carga mecánica para la instalación de energía eólica. En consecuencia, se propone cambiar la potencia eléctrica, concretamente aumentar la potencia eléctrica entregada por el generador, para gestionar la potencia diferencial  $\Delta P_F$  de tal manera que se mantenga un límite de carga mecánica especificable de la instalación de energía eólica. Una forma de implementar esto se explica en la figura 3.

En consecuencia, la unidad de alimentación 101 emite la frecuencia de red  $f_N$  y la transfiere al bloque de cambio de potencia 320. Es posible que este haya implementado una función que determina un cambio de potencia dependiente de la frecuencia  $f$ , que aquí se da como frecuencia de red  $f_N$ . Para simplificar, se puede suponer que el bloque de cambio de potencia 320 también conoce, es decir, ha implementado o almacenado, la frecuencia nominal de la red, es decir, la frecuencia que debería tener la red de suministro eléctrico, es decir, normalmente 50 Hz o 60 Hz. La función

implementada normalmente será de la siguiente manera: si la frecuencia corresponde a la frecuencia nominal, el cambio de potencia requerido es el valor 0.

5 Sin embargo, en el ejemplo explicado se parte del supuesto de que la frecuencia de red  $f_N$  ha caído claramente por debajo de la frecuencia nominal. Luego, dependiendo de esto, el bloque de cambio de potencia 320 calcula un valor de consigna de diferencial de potencia correspondiente  $\Delta P_S$ . La potencia entregada del generador síncrono 302 debería incrementarse mediante este valor de consigna de diferencial de potencia  $\Delta P_S$ . La idea subyacente es que las pérdidas de potencia son insignificantes y que esta potencia aumentada también se alimenta, de modo que la potencia eléctrica de alimentación se modifica de la misma manera.

10 Para cumplir con los límites de carga mecánica especificables de la instalación de energía eólica, este valor de consigna del cambio de potencia  $\Delta P_S$  no se proporciona directamente como valor de consigna al rectificador activo 310, sino que primero se hace pasar a través de un elemento de filtro 322.

15 Hay varias formas en las que se puede diseñar este elemento de filtro 322. Dos de estas opciones se indican gráficamente en la figura 3. La variante izquierda se muestra en un bloque sólido y la variante derecha en un área discontinua. Con esto se pretende indicar que estas variantes pueden ser alternativas.

20 La variante indicada en la parte izquierda del elemento de filtro 322 está diseñada como paso bajo. Las frecuencias bajas se dejan pasar y las frecuencias más altas se atenúan más cuanto más altas sean. En el caso del valor de consigna de cambio de potencia  $\Delta P_S$ , se tiene en cuenta que este valor de consigna puede ser generado por el bloque de cambio de potencia 320 cuando la frecuencia de red  $f_N$  cambia muy rápidamente como un valor de consigna ajuste escalonado o un valor de consigna que aumenta repentinamente. En este caso, el flanco ascendente de tal valor escalonado corresponde a una señal de alta frecuencia o componente de alta frecuencia de una señal y el filtro de paso bajo indicado atenuaría correspondientemente de este modo dicho flanco pronunciado.

25 La variante de la derecha especifica un gradiente máximo, concretamente para la cantidad de cambio, de modo que un flanco positivo ascendente y un flanco negativo descendente forman los límites correspondientes. Por tanto, el valor de consigna introducido en el bloque de filtro 322 está limitado a estos flancos. Por cierto, además de estas dos variantes mostradas, pueden existir, por supuesto, otras variantes del filtro de paso bajo y de los gradientes limitados. También se puede considerar una combinación.

30 El resultado del elemento de filtro 322 es un cambio de potencia filtrado  $\Delta P_F$ , que ahora se introduce en el rectificador activo 310 como valor de consigna. A través del elemento de filtro 322 el rectificador activo 310 no recibe una señal fuerte en forma de salto, de modo que el generador síncrono 302 ya no se puede controlar con tanta fuerza.

35 Sin embargo, también se tiene en cuenta que el elemento de filtro 322 es variable en el tiempo o se controla de manera variable en el tiempo para cambiar la función de filtrado respectiva. Esto se aplica tanto a la variante de filtro de paso bajo como a la variante de gradiente límite, es decir, a otras variantes.

40 Con tal dependencia del tiempo o control dependiente del tiempo, se puede prever y realizar específicamente que se tenga en cuenta con qué frecuencia la instalación de energía eólica, especialmente el generador síncrono 302, ya ha tenido que soportar una carga fuerte debido a una demanda repentina de un rápido aumento de potencia. Se ha reconocido que un fuerte aumento repentino de potencia, que va acompañado de un correspondiente aumento del momento de generador, no daña directamente la instalación de energía eólica, pero en caso de carga continua puede ser crítico y puede dañar la instalación de energía eólica.

45 Una carga continua es particularmente aquella en la que dichos aumentos de potencia se solicitan en intervalos cortos, como intervalos de minutos o intervalos de 5 a 10 segundos. En este caso, es posible que el primer aumento de potencia de este tipo se transmita sin filtrar al rectificador activo 310 y, por tanto, como resultado, al generador síncrono 302. Sin embargo, si en poco tiempo llega otra solicitud de este tipo para un aumento repentino de potencia, entonces, o sólo a partir de un número predeterminado en un período de tiempo predeterminado, el elemento de filtro 322 puede desarrollar su efecto de tal manera que ya no se permite el paso de dicho salto de potencia.

50 En particular se reconoció aquí que muchos de estos saltos de potencia en rápida sucesión también crean el riesgo de que el generador síncrono 302 o el rotor 106 entren en oscilación. Esto puede evitarse mediante el elemento de filtro 322, donde un primer cambio repentino en la potencia puede transmitirse sin filtrar.

55 En la figura 3 se muestra con líneas discontinuas otra variante, según la cual un cambio de potencia lo indica un operador de red en lugar de un estado de red medido. Esto está indicado por el centro de control 132, que puede corresponder al centro de control 132 en la figura 2. Este centro de control puede, por ejemplo, demandar un cambio de potencia  $\Delta P_P$  de una potencia de parque. Por lo tanto, el centro de control de red puede demandar que la potencia

total de parque alimentada por un parque eólico, tal como el parque eólico 112 en la figura 2, cambie en la cantidad dada por este cambio en la potencia de parque  $\Delta P_p$ .

5 Tal solicitud de una potencia de parque cambiada se puede enviar a un control central de parque 130, como se muestra en la figura 2. El control central de parque 130 puede entonces convertir y emitir este valor de consigna de potencia de parque en un valor de consigna para una potencia de instalación modificada. Por lo tanto, el control central de parque 130 genera un valor de consigna de cambio de potencia  $\Delta P_s$  y lo entrega al elemento de filtro 322. Esto reemplaza entonces la especificación de un valor de consigna de cambio de potencia  $\Delta P_s$ , que fue generado por el bloque de cambio de potencia 320 según la primera variante. De lo contrario, se puede llevar a cabo un procesamiento adicional de este valor de consigna de potencia en el elemento de filtro 322 como se explicó anteriormente.

15 Por lo tanto, se propone una solución que crea un cambio en la potencia de alimentación teniendo en cuenta la carga mecánica. El cambio de la potencia alimentada puede deberse a un estado de red, incluida una oscilación de la red, que se puede detectar. El estado de red, que en principio también puede incluir varios elementos y, por lo tanto, también es sinónimo de varios estados de red, puede registrarse en particular mediante la instalación de energía eólica o un control de parque, o puede introducirse a través de una interfaz externa, por ejemplo, por un operador de red que puede solicitar un cambio de potencia. Estas tres opciones también pueden denominarse como 3 niveles.

20 En particular, se propone una solución para acceder a la energía rotacional del rotor de la instalación de energía eólica para mejorar las propiedades de la red.

Por tanto, la solución consiste en utilizar un almacenamiento rotativo, especialmente para los servicios del sistema local. Esto puede incluir la provisión de potencia de control, una simulación del volante, una impresión de tensión y una limitación de gradiente de potencia optimizado.

25 Se reconoció que un rectificador activo permite gradientes de potencia activa muy altos en el generador y, por lo tanto, puede realizar gradientes de torque correspondientes. Para ello se propone una limitación adecuada para limitar la tensión mecánica. Así se propone una reducción o limitación de las cargas sobre la estructura mecánica en caso de gradientes de potencia relacionados con la red.

30 Preferiblemente está prevista una limitación dinámica de los gradientes de potencia activa en función de la carga sobre la estructura mecánica.

35 En particular, se reconoció que el acceso a la energía de rotación del rotor se puede lograr a través de un rectificador activo, que posibilita altos gradientes de torque en el árbol del rotor. Esto significa que son posibles cargas elevadas sobre la estructura mecánica.

Se pueden utilizar nuevos servicios de sistema para vincular el sistema de oscilación mecánica de una instalación de energía eólica con los sistemas de oscilación de la red. Esto se contrarresta con la solución propuesta.

40 En particular, se sugiere lo siguiente:

Limitar los gradientes de torque o la curva de torque para evitar tensiones mecánicas o superar cargas máximas.

45 En particular se propone una limitación de gradiente y/o un desplazamiento de un espectro de excitación mediante una igualación de la curva de torque, por ejemplo, mediante un filtro de paso bajo, especialmente según un elemento de retardo de primer o segundo orden (PT1/PT2).

50 Una sugerencia es especificar definiciones de tiempos muertos que se mantendrán después de aumentos repentinos de torque. Una variante es esperar a que disminuya la oscilación mecánica.

Otro enfoque básico es evitar las oscilaciones mecánicas. Para ello, se puede sugerir la consideración de las frecuencias de resonancia en el sistema mecánico al controlar el torque de generador.

55 También se tiene en cuenta la memorización de las posiciones de polos en el control utilizado, según el cual se ajusta o aumenta una distancia entre las posiciones de polos en el plano complejo respecto al eje imaginario.

Se lleva a cabo preferentemente una representación del modelo mecánico en el control.

60 Una variante propone detectar las oscilaciones y la reacción del control de generador para poder reaccionar técnicamente a tales oscilaciones.

## ES 2 986 121 T3

También se sugiere evitar cualquier excitación especificando un rango de frecuencia específico como curva límite. Esto también puede depender de una amplitud predeterminada o la amplitud se especifica como una curva límite.

5 Las ventajas de las soluciones propuestas incluyen evitar/reducir el estrés mecánico al tiempo que mejoran las propiedades de la red en comparación con soluciones que no tienen en cuenta el estrés mecánico.

10 También es posible desacoplar los sistemas de oscilación de la red de suministro eléctrico por un lado y de la instalación de energía eólica por otro. Esto se puede lograr mediante un control de generador adaptado que tenga en cuenta estos dos sistemas de oscilación.

15 En particular, se ha reconocido que cuando cambia el momento de generador, la estructura mecánica puede sufrir cargas especiales de las dos maneras siguientes.

20 En el primer tipo de carga, se produce una carga única absoluta inmediatamente en el salto de torque. Esto puede influir en la flexión de la torre de la instalación de energía eólica, en la flexión de las palas de rotor, así como en las cargas y vida útil máximas.

25 Un segundo tipo de carga resulta de una variación cíclica del torque. Esto puede excitar una resonancia en el sistema mecánico.

30 Para ello hay que tener en cuenta las frecuencias de resonancia del sistema mecánico. Una primera oscilación de la torre puede estar en el rango de 0,25 Hz. Una segunda oscilación de la torre puede estar en el rango de 1 - 3 Hz.

35 Una primera frecuencia de pala en la dirección de aleteo puede estar en el intervalo de 0,55 Hz, y una primera frecuencia de pala en la dirección de giro puede estar en el intervalo de 0,75-0,9 Hz.

40 Para ello se propone tener en cuenta las frecuencias de la red de suministro eléctrico. Se reconoció que las llamadas oscilaciones interregionales, es decir, oscilaciones de potencia entre secciones de la red, pueden oscilar entre 0,2 y 0,8 Hz.

45 Las llamadas oscilaciones del sistema de potencia ("Power System Oscillations" PSO), es decir, oscilaciones de potencia locales, pueden tener frecuencias a partir de 1 Hz. Además, las llamadas resonancias subsíncronas (SSR), es decir, oscilaciones de tensión con frecuencias inferiores a la frecuencia de la red, pueden situarse especialmente en el rango de 15 Hz.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar una instalación de energía eólica (100) para alimentar potencia eléctrica a una red de suministro eléctrico (120), y la instalación de energía eólica (100) comprende
- una torre (102) con una góndola (104) dispuesta de forma giratoria sobre ella,
  - un rotor aerodinámico (106), que puede ser impulsado por el viento,
  - un generador (302), que está acoplado al rotor aerodinámico (106) para generar potencia eléctrica a partir del viento,
  - una unidad de potencia (310) para el control del generador (302) para controlar una potencia eléctrica entregada por el generador (302) y/o para controlar un torque del generador y
  - una unidad de alimentación (101) para alimentar la potencia eléctrica entregada por el generador (302), o parte de la misma, a la red de suministro eléctrico (120),
- y el procedimiento comprende las etapas de
- controlar la instalación de energía eólica (100) de manera que, en una operación normal, se alimente una potencia eléctrica de alimentación a la red de suministro eléctrico (120) en función del viento,
  - cambiar la potencia eléctrica de alimentación dependiendo de un estado de red ( $f_N$ ) y/o una demanda de red ( $\Delta P_S$ ) de la red de suministro eléctrico (120), donde
  - el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se realiza de modo que se mantenga un límite de carga mecánica especificable, en particular momentáneo, de la instalación de energía eólica (100), caracterizado por que
- el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se controla de manera que
- tras un torque de generador que supera un valor límite de torque predeterminado en términos de cantidad, se suprime otro torque de generador que supera el valor límite de torque predeterminado durante un intervalo de recuperación predeterminado o se limita al valor límite de torque, en particular durante 5 a 30 segundos, y/o
  - en el caso de una oscilación decreciente del momento de generador con una amplitud máxima que supera un valor límite de amplitud predeterminado, se evita otro impulso de torque de generador con al menos la mitad de la amplitud del valor límite de amplitud,
  - hasta que la oscilación decreciente haya decaído hasta una amplitud que se encuentre por debajo de un valor de caída de amplitud predeterminado, que se elige en particular para que sea inferior al 25% del valor límite de amplitud, o
  - hasta que haya transcurrido un tiempo de caída predeterminado, que se sitúa en particular en el intervalo de 5 a 30 segundos.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado en que
- para el cambio de la potencia de alimentación se especifica al menos un gradiente límite, donde el gradiente límite
  - define un cambio máximo, en términos de cantidad, en el tiempo, de un valor de potencia, en particular para la potencia eléctrica generada por el generador (302), o
  - define un cambio máximo, en términos de cantidad, en el tiempo, de un momento de generador a controlar.
3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado en que
- un momento de generador del generador (302) se controla mediante un valor de consigna de torque, donde el valor de consigna de torque se pasa a través de un elemento de filtro (322), para una reducción de oscilación y/o para evitar una excitación de oscilación del generador (302), donde el elemento de filtro (322) está configurado en particular como filtro de paso bajo y/o como elemento de retardo, en particular como elemento de retardo lineal de primer o segundo orden.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado en que
- un circuito de control de generador, que comprende al menos el generador (302) y la unidad de potencia (310), está formado para controlar el generador (302),
  - se especifica una dinámica de control, en particular valores propios y/o posiciones de polos, para el circuito de control de generador, y
  - la especificación de la dinámica de control, en particular de los valores propios o posiciones de polos, se realiza de tal manera que se pueda mantener el límite de carga mecánica especificable de la instalación de energía eólica.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado en que
- en un, o en el, circuito de control de generador están incluidos elementos mecánicos o se tienen en cuenta propiedades mecánicas, de la lista que comprende:
- el rotor aerodinámico (106), en particular su momento de inercia, y/o al menos una frecuencia propia de la pala,
- y

- la torre (102) con la góndola (104), en particular al menos una frecuencia propia de una oscilación de la torre (102) con la góndola (104).

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

5 caracterizado en que

en un, o en el, circuito de control de generador está incluida una propiedad o un comportamiento de la red de suministro eléctrico (120), en particular una frecuencia propia y/o una oscilación de la red de suministro eléctrico (120).

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

10 caracterizado en que

- en el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se tiene en cuenta un modelo mecánico de la instalación de energía eólica (100), para realizar el cambio de la potencia eléctrica de alimentación de tal manera que se pueda mantener un límite de carga mecánica especificable, en particular momentáneo, de la instalación de energía eólica (100), en particular en que

15 - el modelo mecánico está contenido o se tiene en cuenta en un, o en el, circuito de control de generador.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

caracterizado en que

20 - se proporciona un medio de detección de oscilación, para detectar al menos una oscilación de la instalación de energía eólica (100), particularmente para detectar oscilaciones mecánicas y/u oscilaciones del generador (302), donde

- se utiliza la al menos una oscilación detectada para realizar el cambio de la potencia eléctrica de alimentación de manera que se pueda mantener el límite de carga mecánica especificable de la instalación de energía eólica (100).

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

25 caracterizado en que

- está previsto un filtro limitador (322) para controlar el generador (302), en particular mediante un valor de consigna de torque, para limitar una señal de control, en particular el valor de consigna de torque, a una amplitud límite predeterminada en un rango de frecuencia específico, donde preferiblemente

30 - la amplitud límite se especifica como una curva de variación de amplitud dependiente de la frecuencia.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

caracterizado en que

35 - la instalación de energía eólica (100) tiene un generador síncrono (302) y

- la unidad de potencia (310) tiene un rectificador y un convertidor elevador o un rectificador controlado (310), y

- el convertidor elevador o el rectificador controlado (310) se utilizan para controlar el generador (302) para controlar la potencia eléctrica entregada por el generador (302) y/o para controlar el torque de generador, donde preferiblemente

40 - el generador síncrono (302) está configurado como un generador síncrono excitado por separado y la unidad de potencia comprende un controlador de excitación, en particular un controlador de corriente continua y controla de ese modo una corriente de excitación del generador síncrono (302).

11. Una instalación de energía eólica (100) para alimentar energía eléctrica a una red de suministro eléctrico (120), que comprende:

45 - una torre (102) con una góndola (104) dispuesta de forma giratoria sobre ella,

- un rotor aerodinámico (106), que puede ser impulsado por el viento,

- un generador (302), que está acoplado al rotor aerodinámico (106) para generar potencia eléctrica a partir del viento,

50 - una unidad de potencia (310) para el control del generador (302) para controlar una potencia eléctrica entregada por el generador (302) y/o para controlar un torque de generador y

- una unidad de alimentación (101) para alimentar la potencia eléctrica entregada por el generador (302), o parte de la misma, a la red de suministro eléctrico (120),

55 - una unidad de control (314) para controlar la instalación de energía eólica (100) de tal manera que, en una operación normal, se alimente una potencia eléctrica de alimentación a la red de suministro eléctrico (120) en función del viento, donde la unidad de control (314) está configurada para

- controlar un cambio de la potencia eléctrica de alimentación dependiendo de un estado de red y/o una demanda de red de la red de suministro eléctrico (120), donde

- el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se realiza de modo que se mantenga un límite de carga mecánica especificable, en particular momentáneo, de la instalación de energía eólica (100), donde

60 el cambio de la potencia eléctrica de alimentación se controla de manera que

- tras un torque de generador que supera un valor límite de torque predeterminado en términos de cantidad, se suprime otro torque de generador que supera el valor límite de torque predeterminado durante un intervalo de recuperación predeterminado o se limita al valor límite de torque, en particular durante 5 a 30 segundos, y/o

- en el caso de una oscilación decreciente de momento de generador con una amplitud máxima que supera un valor límite de amplitud predeterminado, se evita otro impulso de torque de generador con al menos la mitad de la amplitud del valor límite de amplitud,
  - hasta que la oscilación decreciente haya decaído hasta una amplitud que se encuentre por debajo de un valor de caída de amplitud predeterminado, que se elige en particular para que sea inferior al 25% del valor límite de amplitud, o
  - hasta que haya transcurrido un tiempo de caída predeterminado, que se sitúa en particular en el intervalo de 5 a 30 segundos.
- 5
- 10 12. La instalación de energía eólica (100) según la reivindicación 11, caracterizada en que
- 15 la instalación de energía eólica (100), en particular la unidad de control (314), está preparada para la realización de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, estando implementado en particular un modelo mecánico de la instalación de energía eólica (100) en instalación de energía eólica (100), en particular en la unidad de control (314).
13. Un parque eólico (112) con una pluralidad de instalaciones de energía eólica (100) según la reivindicación 11 o 12.
- 20 14. El parque eólico según la reivindicación 13, caracterizado en que
- 25 - el parque eólico (112) está conectado a la red de suministro eléctrico (120) en un punto de conexión a la red (118), para alimentar una potencia eléctrica de parque a la red de suministro eléctrico (120),
- está previsto un control central de parque (130) para coordinar las instalaciones de energía eólica (100) de manera que la potencia eléctrica de parque se alimente a la red de suministro eléctrico (120) en el punto de conexión a la red (118), en particular mientras se toma en cuenta el respectivo límite de carga especificable de cada instalación de energía eólica (100).

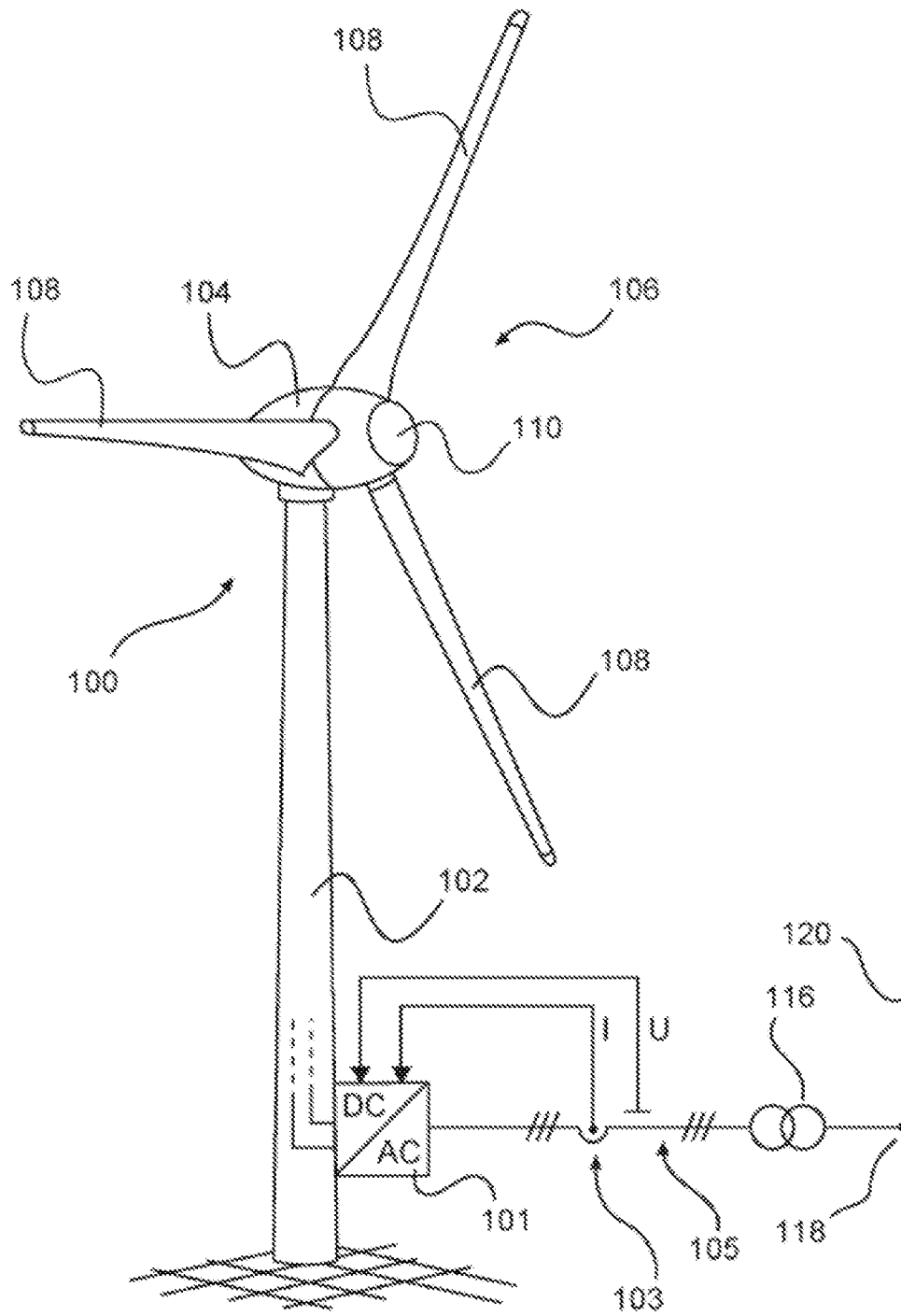


Fig. 1

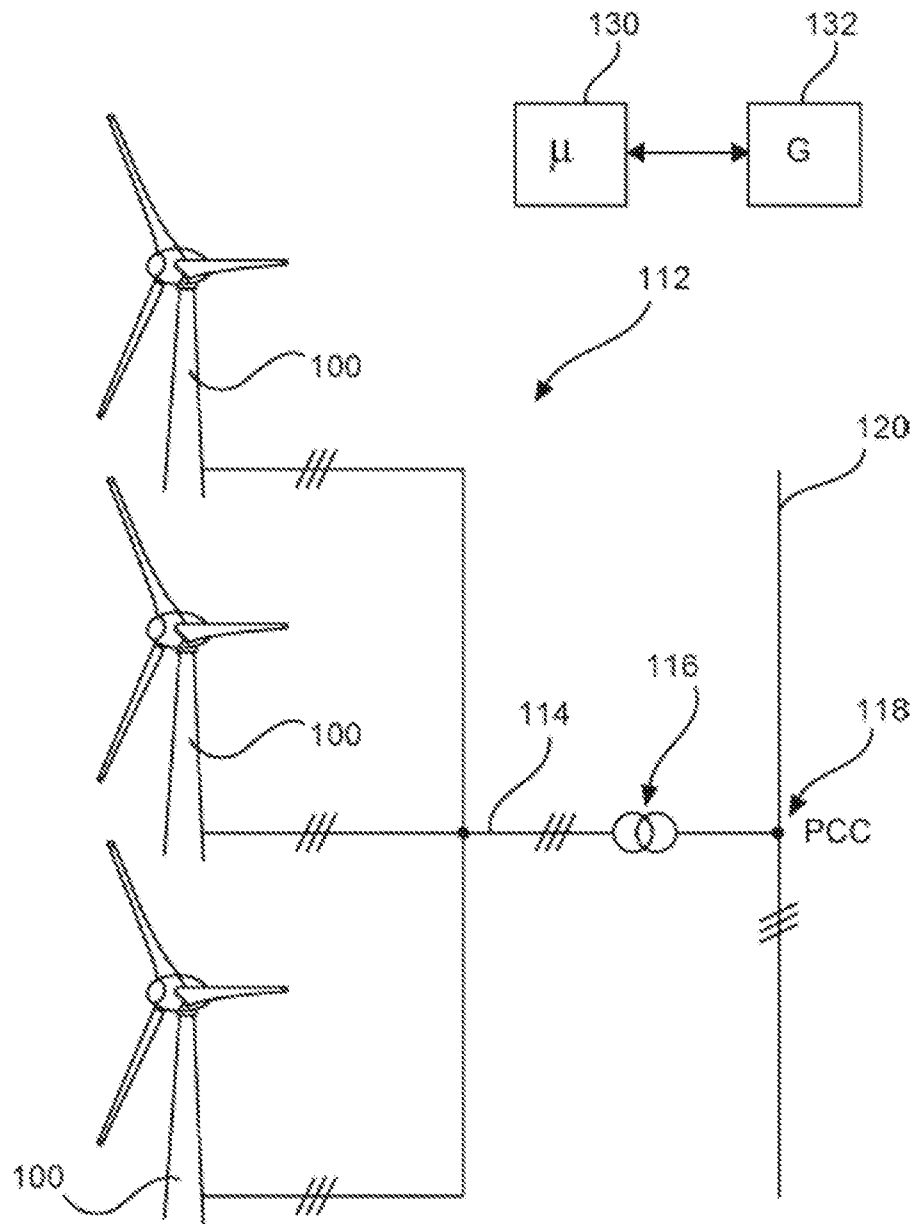


Fig. 2

