

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 291**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18 (2006.01)
H02P 9/00 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)
F03D 9/25 (2006.01)
H02M 5/458 (2006.01)
H02J 3/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.02.2009** **PCT/EP2009/001140**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.08.2009** **WO09103505**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.02.2009** **E 09712140 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017** **EP 2245728**

54 Título: **Aerogenerador con regulación de convertidor**

30 Prioridad:

20.02.2008 DE 102008010260
24.07.2008 DE 102008034532

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
11.01.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

FORTMANN, JENS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 649 291 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

Aerogenerador con regulación de convertidor

La invención se refiere a un convertidor de un aerogenerador que se conecta al rotor de un generador asíncrono de doble alimentación para la aportación de energía eléctrica a una red eléctrica, comprendiendo el convertidor un

5 ondulador por el lado del generador y un ondulador por el lado de la red, así como a un procedimiento para el control del convertidor.

En los aerogeneradores se utilizan cada vez más los convertidores de frecuencia. Los aerogeneradores modernos son generalmente de velocidad variable, de manera que el generador genera corriente alterna a diferentes frecuencias. Para alimentar una red de suministro de frecuencia fija (normalmente 50 Hz) se requiere una conversión de la frecuencia. Con esta finalidad se utilizan convertidores de frecuencia. Preferiblemente se utilizan convertidores que se componen de un ondulador por el lado del generador conectado eléctricamente al rotor del generador, de un

10 circuito intermedio de corriente continua y de un ondulador por el lado de la red conectado eléctricamente a la red. Normalmente los aerogeneradores funcionaban de manera que se desconectan de la red en caso de fallos de red, especialmente en caso de cortocircuitos. Sin embargo, con la proliferación de aerogeneradores y el aumento de la potencia eólica instalada ya no es necesaria una simple aportación de la corriente activa a la red eléctrica, sino que resulta deseable un funcionamiento de los aerogeneradores que apoye la tensión de red. El problema en los generadores asíncronos de doble alimentación utilizados preferiblemente para aerogeneradores de mayor potencia consiste en que los onduladores que alimentan la red sólo están diseñados para aproximadamente 1/3 de la potencia eléctrica y ya no pueden alcanzar las corrientes adicionalmente necesarias para garantizar las propiedades de apoyo a la red.

El documento US 2007/216164 revela un aerogenerador según el preámbulo de la reivindicación 12.

El documento US 2007/121354 revela un aerogenerador según el concepto de convertidor completo.

En el documento DE 10 2007 028 582 A1 se propone, en caso de un generador con convertidor completo en el que toda la potencia eléctrica se alimenta a la red eléctrica a través del convertidor, conectar el ondulador por el lado del generador también directamente a la red si el generador ya no genera más energía, a fin de aportar la potencia reactiva adicional a la red a través del ondulador por el lado del generador conectado directamente a la red.

25 El inconveniente de esta solución es que ésta sólo se puede utilizar si el rotor del generador no transmite energía.

La tarea de la presente invención consiste en evitar los inconvenientes antes expuestos, evitar cargas excesivas de los onduladores y aprovechar mejor las reservas existentes de los onduladores.

La solución según la invención se basa en un procedimiento y en un dispositivo según las características de las reivindicaciones independientes, siendo los perfeccionamientos ventajosos objeto de las reivindicaciones dependientes.

Según la invención se procede de manera que al controlar un convertidor de un aerogenerador, que está conectado al rotor de un generador asíncrono de doble alimentación para la aportación de energía eléctrica a una red eléctrica, comprendiendo el convertidor un ondulador por el lado del generador, un ondulador por el lado de la red y al menos un regulador de convertidor para la regulación y/o el control de las corrientes transmitidas por al menos uno de los onduladores al generador y/o a la red eléctrica, se lleven a cabo los pasos de procedimiento de detección de una variación en la tensión eléctrica existente, de las corrientes activas transmitidas y/o de las corrientes reactivas transmitidas a un ondulador, determinación de la variación detectada para comprobar que ésta corresponde a una variación predeterminada y variación de los valores teóricos de las corrientes activas a transmitir y/o de las corrientes reactivas a transmitir del otro ondulador, siempre que la variación detectada corresponda a una variación predeterminada.

35 La invención ha revelado que la producción de corriente y la regulación de un aerogenerador con un generador asíncrono de doble alimentación se pueden mejorar considerablemente si las regulaciones de los dos onduladores no funcionan independientemente uno de otro, como sucedía hasta ahora, sino adaptándose la regulación de los dos onduladores la una a la otra de manera que se optimice la producción de corriente total. En el caso de un convertidor con un circuito intermedio de corriente continua en un generador asíncrono de doble alimentación sucede que éste no sólo puede influir en la transmisión de corriente activa o reactiva del ondulador por el lado de la red, para lo que modifica las corrientes que fluyen por el rotor del generador, sino que el ondulador por el lado del generador influye principalmente en la transmisión de corriente activa o reactiva provocando mediante la aplicación de corriente del rotor un ajuste en gran parte independiente de la corriente activa y reactiva en el estator.

La invención ha revelado que la producción de corriente y la regulación de un aerogenerador con un generador asíncrono de doble alimentación se pueden mejorar considerablemente si las regulaciones de los dos onduladores no funcionan independientemente uno de otro, como sucedía hasta ahora, sino adaptándose la regulación de los dos onduladores la una a la otra de manera que se optimice la producción de corriente total. En el caso de un convertidor con un circuito intermedio de corriente continua en un generador asíncrono de doble alimentación sucede que éste no sólo puede influir en la transmisión de corriente activa o reactiva del ondulador por el lado de la red, para lo que modifica las corrientes que fluyen por el rotor del generador, sino que el ondulador por el lado del generador influye principalmente en la transmisión de corriente activa o reactiva provocando mediante la aplicación de corriente del rotor un ajuste en gran parte independiente de la corriente activa y reactiva en el estator.

45 La invención ha revelado que la producción de corriente y la regulación de un aerogenerador con un generador asíncrono de doble alimentación se pueden mejorar considerablemente si las regulaciones de los dos onduladores no funcionan independientemente uno de otro, como sucedía hasta ahora, sino adaptándose la regulación de los dos onduladores la una a la otra de manera que se optimice la producción de corriente total. En el caso de un convertidor con un circuito intermedio de corriente continua en un generador asíncrono de doble alimentación sucede que éste no sólo puede influir en la transmisión de corriente activa o reactiva del ondulador por el lado de la red, para lo que modifica las corrientes que fluyen por el rotor del generador, sino que el ondulador por el lado del generador influye principalmente en la transmisión de corriente activa o reactiva provocando mediante la aplicación de corriente del rotor un ajuste en gran parte independiente de la corriente activa y reactiva en el estator.

En Asurdis, por ejemplo, se describió la aplicación de corriente del rotor del ondulador por el lado del generador mediante una regulación orientada al campo: "Generador de corriente trifásica de doble alimentación con convertidor de circuito intermedio de tensión en el circuito del rotor para aerogeneradores"; tesis doctoral TU Braunschweig; 1989.

55 La invención comienza en el punto en el que las regulaciones anteriores bien no poseen un generador asíncrono y, por lo tanto, sólo pueden regular la transmisión de corriente activa y reactiva a través del ondulador por el lado de la red o bien, en el caso del generador asíncrono, principalmente a través de la aplicación de corriente del rotor del

alternador por el lado del generador, sin adaptar los onduladores el uno al otro que por su parte sólo se han adaptado a sus respectivas magnitudes de entrada corriente del rotor o tensión del circuito intermedio. La ventaja fundamental de una regulación coordinada entre los onduladores consiste en que en las condiciones de funcionamiento de un aerogenerador que varían constantemente de forma imprevisible, los onduladores pueden apoyarse entre sí de manera que en el caso de cambios o eventos predeterminados en un ondulador, que llevan al ondulador a un punto de funcionamiento poco propicio, el otro cambie su punto de funcionamiento de modo que se produzca una descarga. Por lo tanto, la regulación de los onduladores ya no sólo se adapta individualmente a la red eléctrica o al generador, sino que también persigue estrategias de regulación adicionales destinadas a reducir la carga total de los distintos onduladores.

Como resultado, se evitan puntos de funcionamiento especialmente críticos que podrían sobrecargar los distintos convertidores pudiendo entonces el convertidor dimensionarse más pequeño o funcionar de forma más eficaz.

A continuación se explican algunos términos:

En este caso, por corriente reactiva o activa no sólo se entiende la transmisión de corriente a través del estator del generador, del rotor de generador o del ondulador, sino también la absorción de corriente.

Por una variación de las corrientes activas o reactivas y sus valores teóricos se entiende una variación de la amplitud o de la posición de fase de las corrientes entre sí o en relación con la tensión existente en la red o con otro valor de referencia. Especialmente, por el convertidor por el lado del generador también se entiende la variación de las corrientes aplicadas en el estator del generador. Aquí las corrientes por el lado del generador son reguladas a menudo por el regulador de convertidor mediante una transformación matemática en las así llamadas coordenadas orientadas al campo, por ejemplo i_q e i_d , y sólo se transfieren de nuevo a un sistema trifásico durante el control del ondulador.

Por una variación predeterminada de la tensión eléctrica aplicada, de las corrientes activas transmitidas y/o de las corrientes reactivas transmitidas en uno de los onduladores se entiende, por ejemplo, la obtención de un valor límite, la velocidad de variación o una variación repentina más allá de un valor preestablecido de las respectivas magnitudes. Sin embargo, en este caso también puede tratarse de una secuencia de eventos a intervalos de tiempo predeterminados o la ejecución de determinadas funciones por parte del convertidor. La variación no sólo debe limitarse a la tensión o a las distintas corrientes, sino que también puede ser una combinación de estas magnitudes, por ejemplo, de la potencia. En este caso, la variación predeterminada no tiene que producirse en las tres fases al mismo tiempo, sino que también puede afectar sólo a una o a dos fases.

Preferiblemente el procedimiento se aplica si la variación predeterminada de la tensión eléctrica aplicada, de las corrientes activas transmitidas y/o de las corrientes reactivas transmitidas en uno de los onduladores implica alcanzar un valor límite preestablecido. Al alcanzar un valor límite en un ondulador, el otro ondulador puede entonces asumir una parte de la transmisión de corriente y/o intentar modificar la tensión, de manera que sea posible evitar un rebasamiento del valor límite y daños o una desconexión del ondulador.

Además se prevé que el valor teórico máximo que se puede preestablecer de las corrientes reactivas a transmitir del otro ondulador se determine teniendo en cuenta las corrientes activas transmitidas y una reserva de regulación de las corrientes activas que se puede preestablecer. La tarea principal de los onduladores consiste en regular la transmisión de corriente activa que, por su parte, se preestablece a través de las condiciones ambientales externas existentes del aerogenerador. Para garantizar dicha regulación, el control de corriente activa debe tener siempre prioridad sobre la corriente reactiva, no pudiendo un aumento de la corriente reactiva en el otro ondulador dar lugar a una reducción de la corriente activa. No obstante, adicionalmente debe mantenerse una reserva que se puede preestablecer para la corriente activa, a fin de poder reaccionar rápidamente a los cambios en las condiciones ambientales del aerogenerador. En un perfeccionamiento preferido se prevé que al alcanzar un valor límite superior de la tensión aplicada de un ondulador, el otro ondulador aumente la transmisión de corriente reactiva para reducir la tensión aplicada en el ondulador limitado. Esto se logra por el hecho de que el otro ondulador proporciona una reducción de la alta tensión adicionalmente al ondulador limitado.

De acuerdo con una forma de realización preferida se prevé que la suma de las corrientes reactivas y/o activas o las potencias reactivas y/o activas transmitidas por los onduladores a la red eléctrica permanezca prácticamente inalterada. En la mayoría de los casos, esto significa un cambio en la transmisión total inferior o igual al 10%.

Así se consigue, por ejemplo, que toda la corriente reactiva transmitida por los onduladores permanezca invariable en la suma y que, sin embargo, la transmisión de corriente reactiva en el ondulador con una carga más elevada se reduzca y en el ondulador con una carga más baja aumente, de manera que no se perciba ninguna variación en la red eléctrica, sino que el ondulador reduzca la carga máxima en los distintos onduladores o en las cadenas de potencia asignadas a los onduladores. En especial, la regulación del convertidor puede tener en cuenta los límites de diseño de los onduladores y las cadenas de potencia asignadas a los onduladores y ajustar en la medida de lo posible la carga de corriente, en relación con la carga, relativamente con respecto al límite de diseño en los respectivos onduladores o en las cadenas de potencia asignadas a los mismos. Esto tiene la ventaja de que, en caso de una carga breve elevada o excesiva de los componentes eléctricos del aerogenerador, por ejemplo, como consecuencia de cortocircuitos en las proximidades del aerogenerador, las dos cadenas de potencia tengan la misma reserva proporcional y se pueda evitar una sobrecarga unilateral excesiva.

En este contexto, por las cadenas de potencia asignadas a los onduladores se entienden los componentes eléctricos que, vistos desde el punto de vista eléctrico del ondulator, se encuentran entre el ondulator y la red eléctrica; es decir, para el ondulator por el lado de la red, en función del modelo son, por ejemplo, la inductancia de red, el filtro de red, los cables de la torre por el lado del ondulator y, según el modelo del transformador, el devanado del transformador por el lado del convertidor. Para el ondulator por el lado del generador estos son, dependiendo del modelo, por ejemplo, los cables de conexión al rotor del generador, incluidos los cables de la torre del rotor, el rotor del generador, el estator del generador, los cables de la torre por el lado del estator y, según el modelo del transformador, el devanado del transformador por el lado del generador.

De acuerdo con otra forma de realización preferida se prevé que, en caso de una asimetría de tensión, la desviación de una tensión aplicada a un ondulator de una o dos fases supere un valor límite y que la transmisión de corriente reactiva del otro ondulator se modifique de manera que se reduzca la asimetría de tensión. Por lo tanto, si una variación en forma de un salto de tensión se produce sólo en una o dos fases de un ondulator, el otro ondulator puede contrarrestar la asimetría de tensión mediante una alimentación específica de la potencia reactiva, evitando causar daños al aerogenerador.

Según una forma de realización especialmente preferida se prevé que el regulador del convertidor regule las corrientes reactivas a transmitir de manera que, en caso de grandes variaciones rápidas, el ondulator transmita preferiblemente una mayor proporción de corrientes reactivas que presenta una dinámica más alta, es decir, que también alcanza más rápidamente las corrientes a transmitir. Gracias a esta invención se consigue aprovechar la reserva hasta ahora no utilizada en la dinámica de regulación del ondulator más rápido. En este caso, el ondulator más rápido alcanza los límites de su máximo aumento en la transmisión de corriente, de modo que al menos una parte de la transmisión de corriente también sea asumida por el ondulator con la dinámica más baja. En total se consigue una velocidad de reacción considerablemente mejorada de todo el sistema.

En un perfeccionamiento preferido, después de alcanzar la corriente total, la parte fundamental de la transmisión de corriente también es transmitida por el ondulator con la dinámica más baja. De este modo se logra que el ondulator con la dinámica alta se descargue y pueda funcionar de manera que pueda regular hasta el máximo variaciones menores con mayor rapidez.

Conforme a una forma de realización especialmente preferida, en caso de un regulador de convertidor que comprende para cada ondulator un regulador de ondulator propio, se prevé un módulo de ajuste que transmite entre los reguladores de ondulator los respectivos valores teóricos, los valores reales y/o las variaciones de regulación relevantes para las corrientes activas, las corrientes reactivas y/o las tensiones aplicadas.

Según otro aspecto de la invención, que en su caso merece protección independiente, la variación predeterminada es un rebasamiento de un valor límite de temperatura preestablecido de al menos un componente del aerogenerador causado especialmente por la transmisión de corriente activa y/o de corriente reactiva del ondulator, encontrándose el componente directamente en el flujo de potencia entre el ondulator y la red eléctrica. La transmisión de corriente del ondulator es fundamentalmente responsable de que se calienten los componentes de las cadenas de potencia que conducen la potencia de los respectivos onduladores. Para el ondulator por el lado del generador estos son, dependiendo del modelo, por ejemplo, los cables de conexión al rotor del generador, incluidos los cables de la torre del rotor, el rotor del generador, el estator del generador, los cables de torre por el lado del estator y, según el modelo del transformador, el devanado del transformador por el lado del generador de un transformador de tres devanados. Para el ondulator por el lado de la red estos son, en función del modelo, por ejemplo, la inductancia de red, el filtro de la red, los cables de torre por el lado del convertidor y, dependiendo del modelo del transformador, el devanado del transformador por el lado del convertidor de un transformador de tres devanados. La temperatura de los componentes conductores de corriente depende en gran medida de la corriente que fluye a través de los mismos. Si un componente asignado al ondulator rebasa un valor límite de temperatura preestablecido, el aumento de temperatura se puede limitar o la temperatura incluso se puede reducir mediante una disminución de la transmisión de corriente en el otro ondulator y un aumento de la transmisión de corriente correspondiente en el otro ondulator.

De acuerdo con una forma de realización especialmente preferida, uno de los onduladores alcanza un límite de corriente admisible para el funcionamiento continuo, pero aporta una cantidad de corriente superior a dicho límite de corriente. Además de este evento, la variación predeterminada comprende la finalización de un tiempo predeterminado o la obtención de un valor límite de temperatura predeterminado en la cadena de potencia asignada al ondulator. Si se rebasa el tiempo predeterminado o el límite de temperatura, el ondulator de alimentación excesiva reduce su transmisión de corriente y el otro ondulator aumenta su transmisión de corriente para compensar, al menos en parte, la reducción de corriente.

En relación con otras explicaciones y formas de realización ventajosas se hace referencia a las descripciones dadas con respecto al primer aspecto de la invención.

La invención se refiere además a un aerogenerador correspondiente con un convertidor y con un generador asíncrono de doble alimentación para llevar a cabo el procedimiento.

La invención se describe a continuación a modo de ejemplo haciéndose referencia a los dibujos adjuntos por medio de una forma de realización ventajosa. Con respecto a todos los detalles según la invención no explicados en el texto con mayor detalle se hace referencia expresamente a los dibujos. Se muestra en la:

Figura 1 un aerogenerador;

Figura 2 el regulador de convertidor según la invención;

Figura 3 el regulador de convertidor según la invención en una forma de realización alternativa; y

Figura 4 el regulador de convertidor según la invención con una regulación de temperatura conectada.

5 En la figura 1 se explica brevemente la estructura del aerogenerador. El rotor eólico 2 del aerogenerador 1 gira por medio del viento. El rotor eólico 2 se conecta mecánicamente a través de un engranaje 3 al generador 4 que hace girar el rotor 6 del generador 4. El estator 5 del generador se conecta a la red eléctrica 10 a través del cable 13 en la torre, de un transformador 8 y de un seccionador 9. El rotor 6 del generador 4 se conecta a un convertidor 7 que a su vez también se conecta a la red eléctrica 10 a través del cable de alimentación 14 en la torre, del transformador 8 y de un seccionador 9.

10 Aquí el transformador 8 se realiza como un transformador con tres devanados, es decir, con devanados respectivamente separados para la cadena de potencia del ondulator por el lado de la red 72 y para el ondulator por el lado del generador 71. También se pueden concebir realizaciones con dos devanados o con un número diferente de devanados. Si el generador 4 accionado por el rotor eólico 2 funciona dentro del rango de velocidad nominal, es decir, en el rango de supersíncronico, el generador 4 transmite al convertidor 7, según el diseño, un 60-90% de su potencia eléctrica a través del estator y un 10-40% de su potencia eléctrica a través del rotor 6.

15 La figura 2 muestra el convertidor 7 con un ondulator 71 por el lado del generador y con un ondulator 72 por el lado de la red que se conectan a través de un circuito intermedio de corriente continua 73. El ondulator 72 por el lado de la red se conecta a un transformador 8 a través de un diafragma 12. El ondulator 71 por el lado del generador está conectado al rotor 6 del generador 4 que por su parte está conectado al transformador 8. En el circuito intermedio de tensión 73 se encuentra, además de un condensador 82, un elemento de protección 81 que en la figura se compone de un conmutador y de una resistencia y que, en caso de sobretensiones en el circuito intermedio de tensión continua 73, reduce la misma. Sin embargo, el elemento de protección 81 también puede presentar otras topologías de conexión distintas a las mostradas en la figura 2.

20 El regulador del convertidor 20 contiene un regulador de convertidor 20' por el lado del generador y un regulador de convertidor 20'' por el lado de la red que intercambian valores teóricos, valores reales y variaciones de regulación a través de un módulo de ajuste 40. Cada regulador de convertidor 20', 20'' comprende un regulador de ondulator 21, 22 que controla los conmutadores de los onduladores 71, 72 a través de líneas de control 42' y 42''.

25 Las respectivas magnitudes eléctricas de los onduladores y del aerogenerador, especialmente las tensiones aplicadas y las corrientes activas, así como reactivas que fluyen y la tensión del circuito intermedio, se miden mediante los sensores 30, 31, 32, 33 y se aportan en un módulo de medición 23', 23'' a los reguladores del convertidor 20', 20''. El módulo de medición 23', 23'' proporciona los valores de medición a un módulo de determinación de variaciones 24', 24'' y al módulo de desviación del regulador 26', 26''. El módulo de determinación de variaciones 24', 24'' determina, mediante las variaciones almacenadas en forma de valores límite, curvas características o secuencias de eventos, la existencia de una variación predeterminada de los valores de medición transmitidos por el módulo de valores de medición 23', 23'' y el tipo de variación. Este puede ser, por ejemplo, un rebasamiento del valor límite de la tensión aplicada al ondulator 72 por el lado de la red o también un valor teórico de corriente reactiva a aplicar que rebasaría la cantidad de corriente máxima admisible del ondulator.

30 Por otra parte, el módulo de determinación de variaciones 24', 24'' también puede detectar modificaciones predeterminadas en los valores teóricos del ondulator antes de que éstos sean aplicados por el módulo de regulador 27', 27'' a los respectivos reguladores del ondulator 21, 22. El módulo de determinación de variaciones 24', 24'' transmite al módulo de regulador 27', 27'' las variaciones asignadas a los valores de medición o a los valores teóricos del ondulator.

35 El módulo de determinación del valor teórico 25', 25'' determina los valores teóricos de potencia y de corriente a transmitir respectivamente por el aerogenerador y los distintos onduladores, teniendo en cuenta los valores preestablecidos aplicados por el control del aerogenerador 29 y otros valores de sensor adicionales 28', 28'' del aerogenerador como, por ejemplo, la velocidad del generador, la velocidad del viento o las temperaturas de los componentes del generador, del convertidor o de las líneas de corriente. El módulo de determinación del valor teórico 25', 25'' tiene en cuenta las diferentes características de par de giro/velocidad según el modo de funcionamiento. Para un funcionamiento optimizado por sonido se puede utilizar, por ejemplo, una curva característica diferente a la utilizada para un funcionamiento optimizado por rendimiento. Ahora, el módulo de desviación del regulador 26', 26'' determina la desviación del regulador entre los valores reales aplicados por el módulo de valores de medición 23', 23'' y los valores teóricos existentes del módulo de valor teórico 25', 25'' y transmite la desviación detectada al módulo de regulador 27', 27''.

40 El módulo de regulador 27', 27'' compara las respectivas desviaciones del regulador de los onduladores 71, 72 con respecto a los valores teóricos y las transmite a los reguladores de ondulator 21, 22, siempre que el módulo de determinación de variaciones 24', 24'' no detecte ninguna modificación. Sin embargo, si el módulo de determinación de variaciones 24', 24'' reconoce una variación predeterminada, el módulo de regulador 27', 27'' transmite los valores

correspondientes al módulo de ajuste 40 y el otro módulo de regulador corrige los valores teóricos a aplicar al otro regulador del ondulator 21, 22 de acuerdo con las funciones de corrección almacenadas.

A continuación, los reguladores del ondulator 21, 22 controlan los conmutadores de los respectivos ondulatores 71, 72 conforme a los valores teóricos aplicados, de manera que se transmitan las corrientes activas y/o reactivas correspondientes.

La figura 3 muestra una configuración alternativa de un regulador de convertidor 20 para la estructura del regulador descrita en la figura 2. En este caso, los reguladores de convertidor 20', 20'' se agrupan en un regulador de convertidor 20. Los módulos de funciones separados también se agrupan respectivamente en un módulo de funciones correspondiente. En este caso, la secuencia de la regulación ya no se realiza necesariamente separada por ondulatores, sino que la coordinación entre los ondulatores sólo se lleva a cabo en este ejemplo durante la especificación del valor teórico del módulo de regulador central 47 a los reguladores de ondulator 21, 22. El módulo de regulador central 47 combina las funciones de las que, en el ejemplo de realización representado en la figura 2, se encargan el módulo de regulador 27', 27'' y el módulo de ajuste 40. Por consiguiente, la adaptación entre los reguladores del ondulator 21, 22 se lleva a cabo de forma más rápida y flexible.

La figura 4 muestra el regulador de convertidor 20 según la invención con sensores de temperatura 91, 92 conectados. En este caso, en la cadena de potencia 4, 8, 13 del ondulator 71 por el lado del generador, los sensores de temperatura 91 se prevén en los componentes 4, 8, 13 que proporcionan los valores de temperatura detectados en el regulador del convertidor 20. Igualmente, en la cadena de potencia 8, 12, 14 del ondulator 72 por el lado de la red, los sensores de temperatura 92 se prevén en los componentes 8, 12, 14. Si un valor de temperatura rebasa un valor límite de temperatura preestablecido, la regulación del convertidor 20 reduce la transmisión de corriente en el ondulator en cuestión 71, 72 y aumenta la transmisión de corriente en el mismo valor en el otro ondulator 71, 72. Preferiblemente este proceso se lleva a cabo durante la transmisión de corriente reactiva.

A continuación se explican a modo de ejemplo, aunque no de forma concluyente, algunos casos en los que se aplica el procedimiento según la invención sin hacer referencia a las figuras.

Para que el ondulator por el lado de la red sea capaz de alimentar potencia a la red, la tensión, que se puede poner a disposición a través del ondulator por el lado de la red, debe ser más alta que la tensión de los componentes situados por delante como, por ejemplo, el diafragma. La tensión en el ondulator por el lado de la red está determinada por la tensión del circuito intermedio y el procedimiento de modulación utilizado. Si la tensión del componente situado por delante rebasa la tensión, que se puede poner a disposición a través del ondulator por el lado de la red, éste ya no puede alimentar potencia a la red, produciéndose una desconexión del ondulator. Por lo tanto, la transmisión de corriente reactiva capacitiva (funcionamiento sobreexcitado) del generador asíncrono de doble alimentación debe limitarse cuando la tensión de red aumenta, a fin de evitar un aumento adicional de la tensión de red.

El procedimiento puede optimizarse de manera que, al aumentar la tensión en el ondulator por el lado de la red, se produzca en primer lugar un aumento de la tensión en el circuito intermedio hasta la tensión máxima admisible y, al aumentar aún más la tensión en el ondulator por el lado de la red, se lleve a cabo un desplazamiento de la transmisión de corriente reactiva del ondulator por el lado de la red al campo inductivo (funcionamiento reductor de tensión) con el fin de limitar la tensión en el ondulator por el lado de la red a un valor máximo admisible.

No obstante, la transmisión de potencia activa para la regulación de la tensión del circuito intermedio no puede verse afectada, de modo que la alimentación de corriente reactiva inductiva máxima posible esté limitada por la parte restante de corriente reactiva del ondulator por el lado de la red. Sin embargo, la potencia reactiva transmitida a la red no debe reducirse, sino que en la suma debe permanecer igual. Por lo tanto, se incrementa la transmisión de potencia reactiva capacitiva del ondulator por el lado del generador, a fin de compensar la reducción del ondulator por el lado de la red. Esto puede significar que, mediante el control de la transmisión de corriente del ondulator por el lado del generador en el estator, se alimenta la corriente reactiva capacitiva, mientras que el ondulator por el lado de la red transmite corriente reactiva inductiva para limitar la tensión en el ondulator por el lado de la red.

Si aún no se alcanza el límite de tensión admisible del ondulator por el lado de la red, se produce definitivamente un descenso de la transmisión de corriente reactiva capacitiva del ondulator por el lado del generador y, por consiguiente, de todo el sistema hasta que se cumpla de nuevo el límite de tensión del ondulator por el lado de la red.

La cantidad de corriente que se puede aportar a la red desde el ondulator por el lado de la red está limitada por el dimensionamiento de los conmutadores y el diseño térmico del ondulator por el lado de la red. Para el funcionamiento del ondulator por el lado de la red siempre debe preverse una prioridad para la alimentación de corriente activa para que la tensión en el circuito intermedio pueda mantenerse constante. La corriente restante se puede utilizar (menos una cierta reserva para los procesos de regulación de la regulación de corriente activa) para la alimentación de corriente reactiva.

Si durante el funcionamiento se alcanza el límite admisible de alimentación de corriente para el funcionamiento continuo en el ondulator por el lado de la red, se lleva a cabo una reducción de la alimentación de corriente reactiva del ondulator por el lado de la red (independientemente de si es inductiva o capacitiva) en dirección a cero. No

obstante, a fin de no reducir la potencia reactiva transmitida por el aerogenerador a la red eléctrica, se realiza un control de la transmisión de corriente en el estator a través del ondulator por el lado del generador, de manera que una corriente reactiva aumentada se aporte a la red eléctrica a través del estator.

En funcionamiento, este procedimiento ofrece la ventaja de que siempre se puede utilizar la máxima potencia reactiva disponible del ondulator por el lado de la red y si se alcanza un límite de la capacidad de suministro de corriente del ondulator por el lado de la red, el ondulator por el lado del generador puede hacerse cargo de esta alimentación sin que se produzca en su conjunto una reducción de la alimentación de potencia reactiva del aerogenerador.

La tensión en el ondulator por el lado del generador depende sobre todo de la tensión de red, de la velocidad del equipo y de la alimentación de corriente reactiva del ondulator por el lado del generador. Si la tensión del ondulator por el lado del generador se eleva por encima de un límite admisible, en especial en caso de altas velocidades y alta tensión o de una variación de la frecuencia de red, generalmente se lleva a cabo una desconexión del aerogenerador. Esto se contrarresta en primer lugar introduciendo el generador en un punto de funcionamiento más inductivo. Sin embargo, si la reducción de tensión por medio del ondulator por el lado del generador no es suficiente para lograr una tensión suficientemente baja, el ondulator por el lado de la red alimenta potencia reactiva inductiva adicional para reducir aún más la tensión en el ondulator por el lado del generador. En el caso de un transformador de tres devanados, como se muestra en la figura 1, el ondulator por el lado de la red también puede contribuir a la reducción de tensión en el ondulator por el lado del generador.

No obstante, si la tensión en el ondulator por el lado del generador sigue siendo demasiado alta es posible reducir la transmisión de potencia activa del generador asíncrono de doble alimentación. De este modo hay disponible corriente adicional para la alimentación de corriente reactiva tanto en el ondulator por el lado del generador como también en el ondulator por el lado de la red.

Por regla general se lleva a cabo una compensación de la absorción de corriente reactiva del generador por medio del ondulator por el lado del generador. En el caso de un aerogenerador de 2MW se trata, por ejemplo, de aproximadamente 200MVA o aproximadamente 100A. Si ahora debe accionarse un par de giro elevado, por ejemplo, para el funcionamiento de un aerogenerador a velocidades más bajas, dicho accionamiento puede requerir una reducción de potencia del ondulator por el lado del generador, especialmente en las proximidades del punto de sincronización del generador, a fin de evitar una sobrecarga térmica. Esto se debe a que la frecuencia del ondulator por el lado del generador en la zona del punto de sincronización es casi cero, de manera que sea necesaria la alimentación de corrientes continuas.

Sin embargo éstas dan lugar a una carga desigual del ondulator por el lado del generador, de modo que los distintos semipuentes están sometidos a cargas considerablemente más elevadas. Para evitar una sobrecarga del ondulator por el lado del generador normalmente se lleva a cabo, próxima al punto de sincronización, una reducción del límite de corriente para el funcionamiento continuo. Si se alcanza el límite de funcionamiento continuo para la transmisión de corriente del ondulator por el lado del generador (especialmente cerca del punto de sincronización), se reduce la alimentación de corriente reactiva del ondulator por el lado del generador, de manera que esté disponible una mayor proporción de corriente para la alimentación de corriente activa. La parte que falta de la corriente reactiva es asumida por los ondulator por el lado de la red, de modo que no se influya negativamente en la alimentación de potencia reactiva de todo el sistema. Por otra parte, la velocidad del aerogenerador se regula de manera que sólo permanezca cerca del punto de sincronización durante un corto periodo de tiempo a fin de evitar una reducción de la transmisión de potencia activa.

Si en la red se aplican a las tres fases tensiones diferentes se produce una alimentación desequilibrada de corriente. Como consecuencia, los componentes pueden sobrecargarse y además la carga desequilibrada del generador puede dar lugar a oscilaciones de potencia. Adicionalmente las corrientes del sistema invertido en el generador provocan pérdidas no deseadas, dado que se produce un efecto superficial (especialmente en el rotor) en virtud de la mayor frecuencia de la corriente. Para evitar este tipo de perturbaciones, los aerogeneradores están dotados de un generador asíncrono de doble alimentación con regulaciones del sistema invertido que igualan de nuevo la transmisión de corriente a la red. En caso de un aerogenerador con generador asíncrono de doble alimentación se realiza una regulación de sistema invertido de las corrientes activas con el ondulator por el lado del generador para minimizar la carga del aerogenerador. La regulación según la invención mejora esta regulación de sistema invertido en sí conocida gracias a que el ondulator por el lado de la red alimenta adicionalmente corriente reactiva del sistema invertido (inductiva en el sistema invertido) para la reducción de la asimetría de tensión. La tensión de sistema invertido reducida estabiliza la red y actúa además positivamente sobre el aerogenerador, dado que así se reduce, por ejemplo, el sistema invertido de la tensión en los accionamientos (bombas, ventiladores, azimut, ...).

El aerogenerador con generador asíncrono de doble alimentación está dotado de un conmutador de estator que permite seguir alimentando potencia reactiva a la red incluso con el ondulator por el lado del generador desconectado. Para asegurar una alimentación continua de la potencia reactiva también durante el encendido y apagado del estator, al no alcanzar una velocidad definida se elige un modo de funcionamiento en el que la compensación de la absorción de corriente reactiva del generador sólo se realiza por medio del ondulator por el lado del generador, aunque una puesta a disposición de corriente reactiva adicional para la red se lleva a cabo exclusivamente a través del ondulator por el lado de la red. Como consecuencia, la red eléctrica no experimenta ninguna variación en la cuantía de la alimentación de potencia reactiva al conectar o desconectar el estator, por

ejemplo, para una regulación continua de la tensión o el funcionamiento como fuente de energía reactiva en la red (STATCOM).

La regulación de las corrientes a través del ondulator por el lado del generador suele tener constantes de tiempo de más de 10 ms debido al modo de funcionamiento indirecto a través del generador. Por el contrario, las constantes de tiempo de regulación del ondulator por el lado de la red pueden ser mucho más bajas, dado que éste funciona directamente en la red eléctrica. En caso de un salto de tensión de la tensión aplicada al aerogenerador, también es preciso modificar bruscamente la transmisión de corriente activa y/o de corriente reactiva. Esto puede deberse, por una parte, a que la transmisión de potencia debe mantenerse constante y, por otra parte, a que la tensión después del salto de tensión se encuentra fuera de la tolerancia, siendo necesaria una influencia de la tensión de red a través de la transmisión de corriente reactiva. Ahora se lleva a cabo una regulación rápida de las corrientes teniendo en cuenta las constantes de tiempo de regulación arriba citadas. Al regular el ondulator por el lado de la red, el regulador de convertidor no sólo tiene en cuenta el valor teórico, sino que también tiene en cuenta adicionalmente la diferencia de regulación entre el valor teórico y el valor real del ondulator por el lado del generador y añade la diferencia de regulación al valor teórico del ondulator por el lado de la red. Si el ondulator por el lado del generador funciona fuera de sus límites de corriente o si el aumento de corriente no es suficiente, se utilizan las reservas de corriente del ondulator por el lado de la red para mejorar la velocidad de regulación de todo el sistema.

Una condición previa esencial para esta regulación consiste en que la comunicación entre el ondulator por el lado del generador y el ondulator por el lado de la red sea rápida, dado que tanto el valor teórico de la corriente reactiva del ondulator por el lado de la red, como también el valor real de la corriente reactiva de todo el sistema son necesarios para la regulación del ondulator por el lado de la red.

En caso de una regulación repartida con dos reguladores completamente independientes de los onduladores sin un regulador de convertidor superior, es necesario, en caso de transmisión de valores al ondulator por el lado de la red y para garantizar la velocidad de regulación requerida, transmitir también el valor real de la corriente reactiva del ondulator por el lado del generador en cada paso de cálculo al controlador del ondulator por el lado de la red.

El aerogenerador con generador asíncrono de doble alimentación posee una corriente máxima asimétrica de cortocircuito más alta que los aerogeneradores con sistemas de convertidor completo en los que toda la potencia eléctrica fluye a través del convertidor. La corriente máxima asimétrica de cortocircuito es una punta de corriente que se produce en la red durante los cortocircuitos y que el aerogenerador transmite a la red. Una corriente máxima asimétrica de cortocircuito puede dañar los componentes situados por delante del aerogenerador en la red. La corriente máxima asimétrica de cortocircuito se puede detectar por medio de una punta de corriente en el ondulator por el lado del generador. La invención permite ahora utilizar una regulación en la que una parte de la corriente máxima asimétrica de cortocircuito es compensada y/o asumida por el ondulator por el lado de la red. Una corriente máxima asimétrica de cortocircuito presenta componentes de corriente reactiva y componentes de corriente activa, por lo que el ondulator por el lado de la red puede compensar la corriente reactiva normalmente inductiva mediante la alimentación de corriente reactiva de compensación, es decir, corriente reactiva en la mayoría de los casos capacitiva. La corriente activa no se puede compensar fácilmente. Ésta debe desviarse a una carga eléctrica. Para ello, el ondulator por el lado de la red conduce la corriente al circuito intermedio del convertidor. Esto da lugar a que la tensión del circuito intermedio aumente, absorbiendo el elemento de protección conectado en el circuito intermedio del convertidor, en la mayoría de los casos un contactor vibratorio del circuito intermedio con resistencia de carga, la energía o al menos una parte de la energía de la corriente máxima asimétrica de cortocircuito. Mediante esta regulación es posible reducir significativamente la corriente máxima asimétrica de cortocircuito.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador que se conecta al rotor de un generador
5 asíncrono de doble alimentación conectado con su estator a una red eléctrica para la aportación de energía eléctrica a la red eléctrica, comprendiendo el convertidor un ondulator por el lado del generador conectado al rotor, un ondulator por el lado de la red y al menos un regulador de convertidor para el control de las corrientes transmitidas por al menos uno de los ondulatores, que comprende los siguientes pasos de procedimiento:
 - detección de una variación de la tensión eléctrica aplicada, de las corrientes activas transmitidas y/o de las corrientes reactivas transmitidas a cada uno de los ondulatores,
 - 10 - determinación de la variación detectada para comprobar que ésta corresponde a una variación predeterminada y - variación de los valores teóricos de las corrientes activas a transmitir y/o de las corrientes reactivas a transmitir del otro ondulator, siempre que la variación detectada corresponda a una variación predeterminada.
2. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado por
15 que la variación predeterminada de la tensión eléctrica aplicada, de las corrientes activas transmitidas y/o de las corrientes reactivas transmitidas a uno de los ondulatores consiste en alcanzar un valor límite preestablecido.
3. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado
20 por que el valor teórico máximo que se puede preestablecer de las corrientes reactivas a transmitir del otro ondulator se determina teniendo en cuenta las corrientes activas transmitidas y una reserva de regulación de las corrientes activas que se puede preestablecer.
4. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según una de las reivindicaciones
25 anteriores, caracterizado por que la variación predeterminada consiste en alcanzar un valor límite de tensión superior de la tensión aplicada en un ondulator, aumentando el otro ondulator la transmisión de corriente reactiva para reducir la tensión aplicada en el ondulator que alcanza el valor límite.
5. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según una de las reivindicaciones
30 anteriores, caracterizado por que la variación predeterminada consiste en un rebasamiento, provocado especialmente por la transmisión de corriente activa y/o reactiva del ondulator, de un valor límite de temperatura preestablecido de al menos un componente del aerogenerador, encontrándose el componente en la cadena de potencia asignada al ondulator.
6. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según la reivindicación 5, caracterizado por
35 que la variación predeterminada consiste en una secuencia de eventos que incluye el rebasamiento de un límite de la transmisión de corriente seguido del rebasamiento de un valor límite de temperatura.
7. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según una de las reivindicaciones
40 anteriores, caracterizado por que la suma de las corrientes reactivas y/o activas transmitidas por los ondulatores a la red eléctrica o las potencias reactivas y/o activas permanecen en gran medida inalteradas.
8. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según una de las reivindicaciones
45 anteriores, caracterizado por que la transmisión de corriente reactiva y/o activa se regula de manera que la carga relativa con respecto a la transmisión de corriente máxima de los ondulatores o de las cadenas de potencia asignadas a los ondulatores es igual en la medida de lo posible.
9. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según una de las reivindicaciones
50 anteriores, caracterizado por que en caso de una asimetría de tensión configurada de manera que la desviación de una tensión de una fase aplicada a un ondulator sobrepase un valor límite, la transmisión de corriente reactiva del otro ondulator se modifica de modo que se reduzca la asimetría de tensión.
10. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según una de las reivindicaciones
55 anteriores, caracterizado por que en caso de un salto del valor teórico de las corrientes reactivas a transmitir en total por parte del aerogenerador a un nuevo valor teórico más alto, especialmente como consecuencia de una variación brusca de la tensión aplicada, el regulador de convertidor distribuye los nuevos valores teóricos entre el ondulator por el lado del generador y el ondulator por el lado de la red, de manera que la suma de los nuevos valores teóricos para las corrientes del ondulator corresponda al nuevo valor teórico, pudiendo alcanzarse un valor límite para corrientes reactivas para estos ondulatores y resultando el valor teórico del ondulator con la dinámica más baja de la diferencia restante entre el valor teórico de la potencia reactiva total y el valor teórico de la potencia reactiva del
60 ondulator con la dinámica más alta.
11. Procedimiento para el control de un convertidor de un aerogenerador según la reivindicación 10, caracterizado
65 por que después de un período de tiempo que se puede preestablecer y/o después de alcanzar un valor teórico que se puede preestablecer, el regulador de convertidor varía los valores teóricos del ondulator en pasos que se pueden preestablecer, de modo que el ondulator con la dinámica más baja transmita una parte lo más grande posible de las

corrientes reactivas a transmitir hasta alcanzar un valor límite para este ondulator y resultando el valor teórico del ondulator con la dinámica más alta de la diferencia entre el valor teórico de la potencia reactiva total y el valor teórico de la potencia reactiva del ondulator con la dinámica más baja.

- 5 12. Aerogenerador con un generador asíncrono (4) de doble alimentación y con un convertidor (7) que se conecta al rotor (6) de un generador asíncrono (4) de doble alimentación conectado con su estator a una red eléctrica para la aportación de energía eléctrica a la red eléctrica (10), comprendiendo el convertidor (7) un ondulator (71) por el lado del generador conectado al rotor, un ondulator (72) por el lado de la red y al menos un regulador de convertidor (20) para el control de las corrientes transmitidas por al menos uno de los ondulatores (71, 72), caracterizado por que por medio de los sensores (31, 32) se registran las tensiones eléctricas aplicadas a los ondulatores (71, 72), las corrientes activas transmitidas por los ondulatores (71, 72) y/o las corrientes reactivas transmitidas, se comparan en un módulo de determinación de variaciones (24) en el que están almacenadas las variaciones predeterminadas y en caso de existir una variación predeterminada de la tensión eléctrica aplicada, de las corrientes activas transmitidas y/o de las corrientes reactivas transmitidas en cada uno de los ondulatores (71, 72), se varían los valores teóricos aplicados al otro ondulator (72, 71) para las corrientes activas transmitidas y/o para las corrientes reactivas transmitidas.
- 10 13. Aerogenerador con un convertidor según la reivindicación 12, caracterizado por que la variación predeterminada almacenada en el módulo de determinación de variaciones (24) de la tensión eléctrica aplicada, de las corrientes activas transmitidas y/o de las corrientes reactivas transmitidas en uno de los ondulatores (71, 72) consiste en alcanzar un valor límite preestablecido.
- 15 14. Aerogenerador con un convertidor según la reivindicación 12 ó 13, caracterizado por que el valor teórico para la transmisión de corriente reactiva del ondulator (71, 72) que alcanza el valor límite se varía de manera que el valor teórico corresponda a una transmisión reducida de corriente reactiva capacitiva y/o a una transmisión aumentada de corriente reactiva inductiva.
- 20 15. Aerogenerador con un convertidor según una de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizado por que si el módulo de determinación de variaciones (24) ha determinado que se ha alcanzado un valor límite de la tensión aplicada de un ondulator (71, 72), el valor teórico para la transmisión de corriente reactiva en el otro ondulator (72, 71) se modifica de manera que el valor teórico corresponda a un aumento de la transmisión de corriente reactiva.
- 25 16. Aerogenerador con un convertidor según una de las reivindicaciones 12 a 15, caracterizado por que el regulador de convertidor (20) determina, por medio de sensores de temperatura (91, 92), los valores de temperatura de los componentes de las cadenas de potencia asignadas a los ondulatores (71, 72), siendo la variación predeterminada almacenada en el módulo de determinación de variaciones (24) un rebasamiento de un valor límite preestablecido de al menos un componente del aerogenerador causado especialmente por la transmisión de corriente activa y/o reactiva del ondulator (71, 72), encontrándose el componente en la cadena de potencia asignada al ondulator (71, 72).
- 30 17. Aerogenerador con un convertidor según una de las reivindicaciones 12 a 16, caracterizado por que en caso de un regulador de convertidor (20), que para cada ondulator (71, 72) comprende un regulador de ondulator propio (21, 22), un módulo de ajuste (40) transmite los respectivos valores teóricos, los valores reales y/o las desviaciones de regulación para las corrientes activas, las corrientes reactivas y/o las tensiones aplicadas entre los ondulatores.
- 35 40

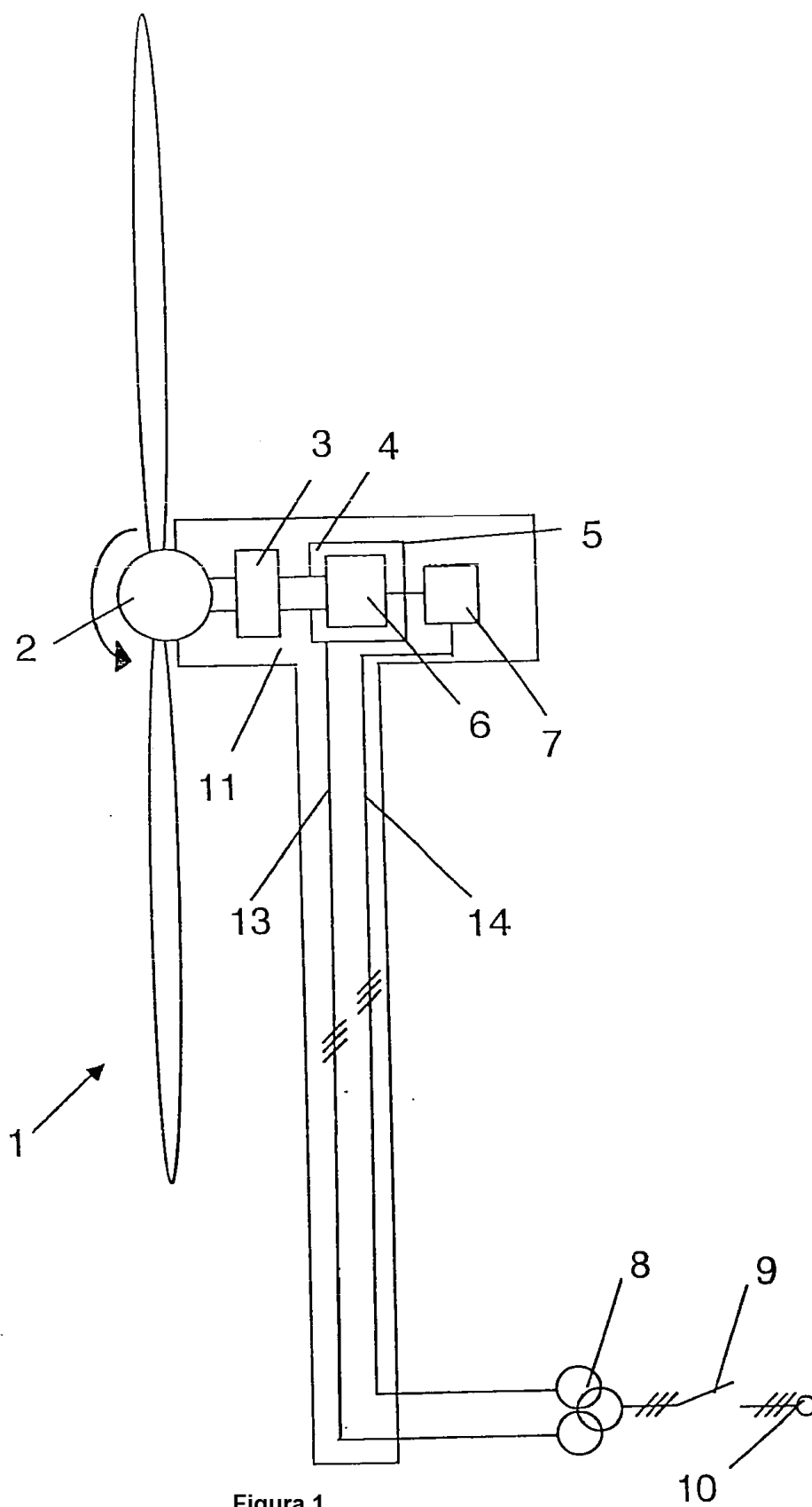


Figura 1

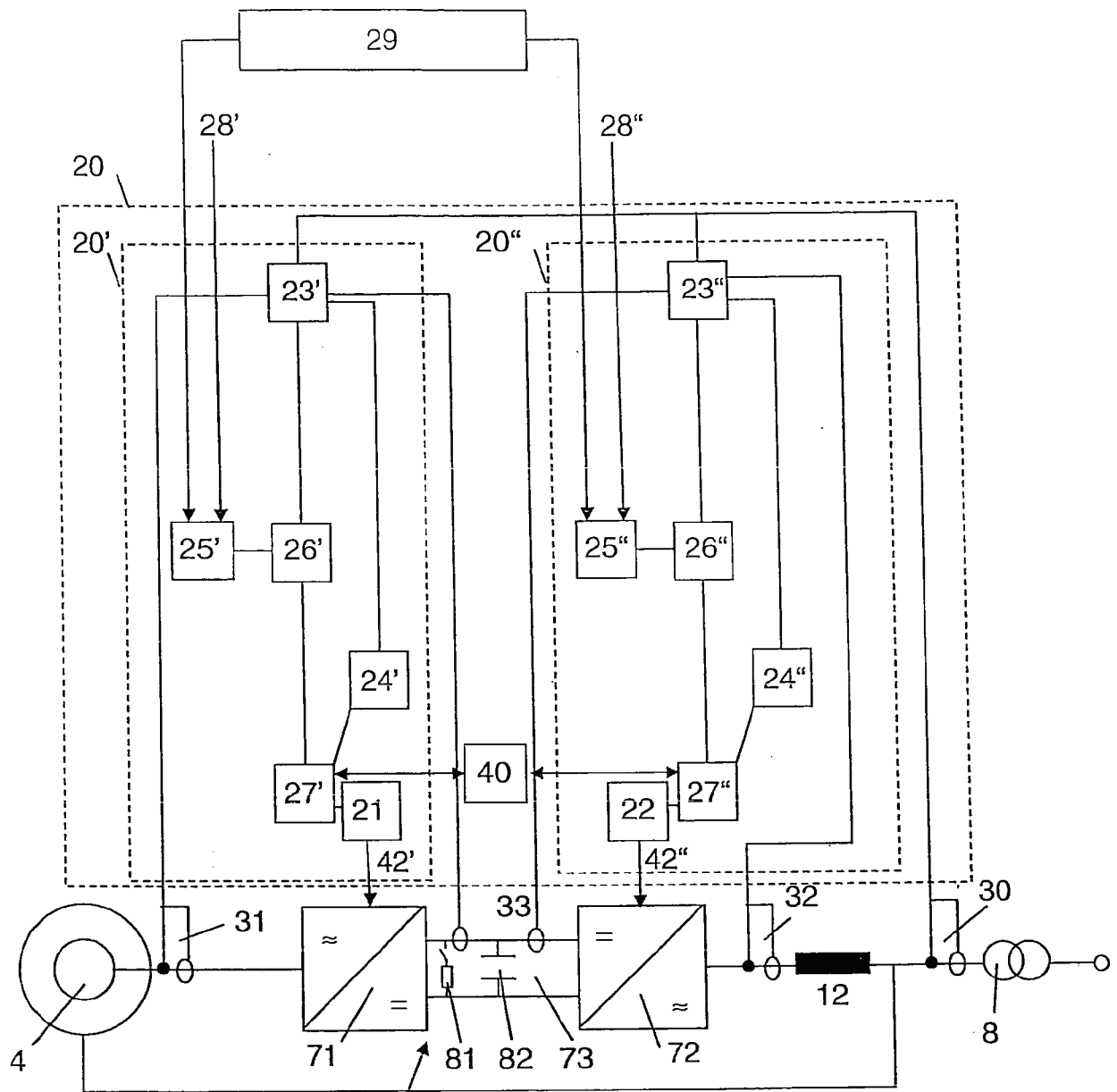


FIGURA 2

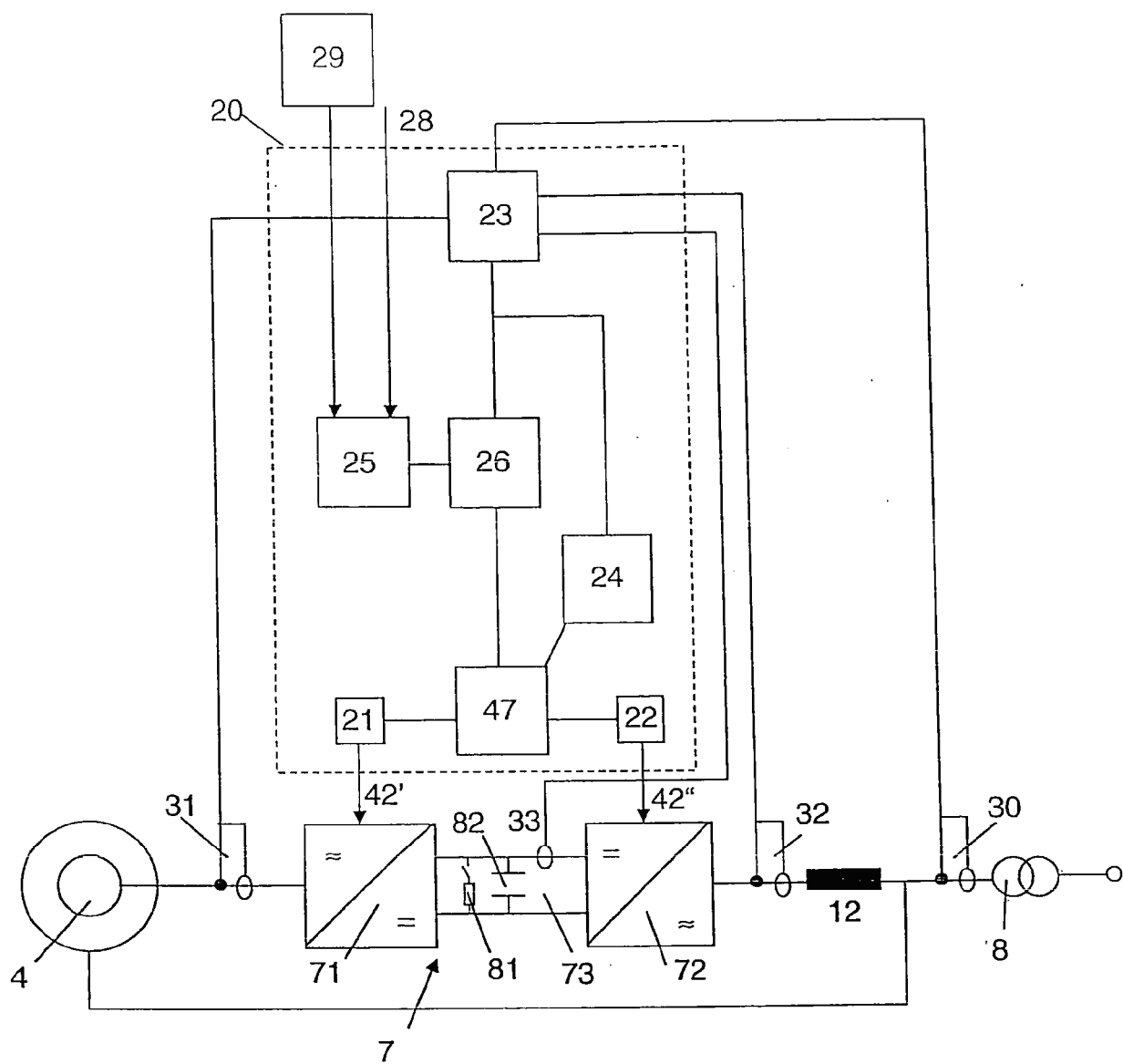


FIGURA 3

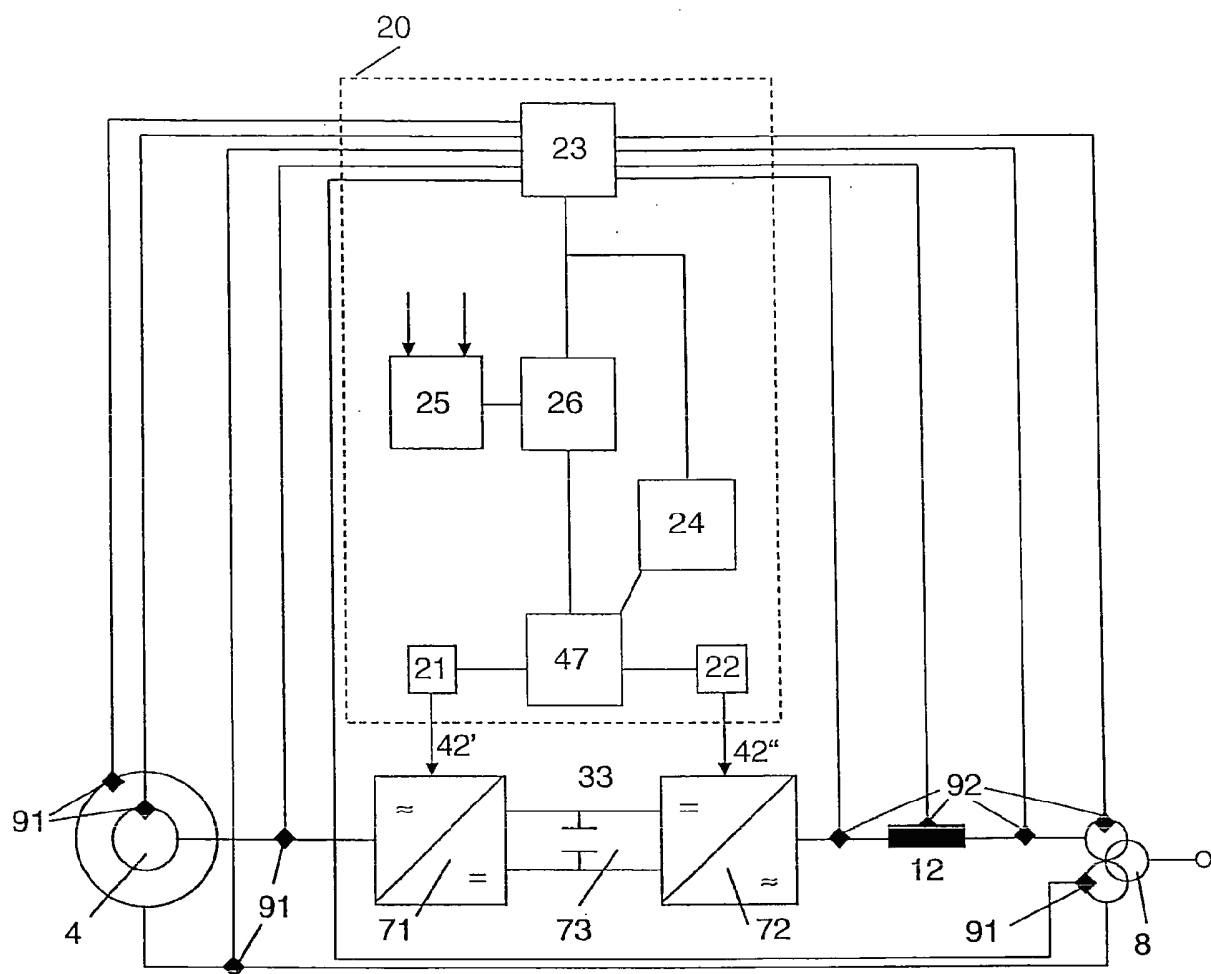


FIGURA 4