

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 378**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18 (2006.01)

H02M 5/453 (2006.01)

H02P 9/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09712760 .9**

96 Fecha de presentación: **18.02.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2245717**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.11.2010**

54 Título: **INSTALACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA CON UN GENERADOR ASÍNCRONO DOBLEMENTE ALIMENTADO Y REGULACIÓN DE CONVERTOR.**

30 Prioridad:
20.02.2008 DE 102008010260
24.07.2008 DE 102008034531
24.07.2008 DE 102008034532

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2011

73 Titular/es:
REpower Systems AG
Überseering 10
22297 Hamburg, DE

72 Inventor/es:
LETAS, Heinz-Hermann y
FORTMANN, Jens

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 368 378 T3

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

DESCRIPCIÓN

Instalación de energía eólica con un generador asíncrono doblemente alimentado y regulación de convertor

5 La invención se refiere a un procedimiento para controlar un convertor de una instalación de energía eólica que está conectado al rotor de un generador asíncrono doblemente alimentado para suministrar energía eléctrica a una red eléctrica presentando el convertor un convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador y un convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red. La invención se refiere además a una instalación de energía eólica con un convertor y con un regulador del convertor para la realización del procedimiento.

10 Los convertidores de frecuencia cada vez encuentran más aplicación en las instalaciones de energía eólica. Las instalaciones de energía eólica modernas son habitualmente de velocidad de giro variable de modo que el generador genera corriente alterna de diferente frecuencia. Para alimentar una red de distribución de frecuencia fija (habitualmente 50 Hz) se hace necesaria la conversión de frecuencia. Para ello se utiliza un convertidor de frecuencia. Preferentemente se usan convertidores que constan de un convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador conectado eléctricamente al rotor del generador, un circuito intermedio de tensión continua y un convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red conectado eléctricamente con la red. Habitualmente las instalaciones de energía eólica se han operado de modo que en caso de fallos en la red, en particular, cortocircuitos se desconecten de la red. Estando cada vez más extendidas las instalaciones de energía eólica y aumentando la potencia eólica instalada ya no sólo se exige el simple suministro de corriente activa a la red eléctrica sino que se desea un funcionamiento de la instalación de energía eólica que de soporte a la tensión de red. Esta tensión de red comprende el suministro de potencia activa o sea en el caso de circunstancias desfavorables como, por ejemplo, desviaciones con respecto al valor de consigna de la tensión o de la frecuencia de red. A una tensión reducida o una frecuencia de red reducida se desea un funcionamiento que de soporte. En este caso puede aparecer el problema en los generadores asíncronos doblemente alimentados utilizados a menudo en las instalaciones de energía eólica de más alta potencia de que el convertor esté diseñado para aproximadamente un tercio de la potencia eléctrica de la instalación de energía eólica y no se puedan alcanzar las corrientes necesarias adicionales para el soporte de red.

20 Por el documento DE 10 2007 028 582 A1 se conoce que, en un generador con un convertidor doble a través del que se suministra la potencia eléctrica total a la red eléctrica, se conecte el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador directamente a la red y concretamente cuando el generador no genera más energía y así se puede recurrir al convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red para suministrar la potencia reactiva adicional a la red. La desventaja de este concepto es que el soporte deseado sólo puede darse cuando el generador no da energía.

30 Además en las instalaciones de energía eólica con convertidor doble se conoce suministrar la potencia reactiva dependiendo de la tensión de la red y de la potencia activa de salida (documento US 2003/0214823 A1). Esto sucede sólo a través del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red. Además se conoce para la optimización de la potencia activa de salida variar el flujo a través del entrehierro del generador hasta que se cumpla la condición de optimalidad.

35 El objetivo de la invención es mejorar el soporte a la red en las instalaciones de energía eólica del tipo mencionado al principio con un generador asíncrono doblemente alimentado.

40 La solución según la invención está en las características de las reivindicaciones independientes. Perfeccionamientos ventajosos son el objeto de las reivindicaciones dependientes.

45 En un procedimiento para el control de un convertor de una instalación de energía eólica que está conectado al rotor de un generador asíncrono doblemente alimentado para el suministro de energía eléctrica a una red, comprendiendo el convertor un convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador, un convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red y al menos un regulador del convertor para la regulación y/o el control de la corriente entregada por al menos uno de los convertidores de corriente continua a corriente alterna al generador asíncrono doblemente alimentado y/o a la red eléctrica, estando según la invención previsto la detección de un cambio de la potencia activa de salida, determinar si el cambio detectado satisface una condición predefinida para un parámetro de red y un cambio del valor de consigna de la potencia reactiva de salida concretamente de signo contrario al cambio de la potencia activa en el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red y del mismo signo que en el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador en tanto que la condición predefinida se cumpla.

A continuación se explicarán en primer lugar algunos conceptos utilizados:

55 Por potencia activa se entiende la parte de la potencia entregada a la red por la instalación de energía eólica que se calcula como el producto de la tensión y la corriente en fase que exista (corriente activa). La potencia reactiva es el producto de la tensión y de la corriente que no esté en fase que exista (corriente reactiva).

Por cambio de la potencia activa se entiende un cambio de la amplitud o de la fase de las corrientes una respecto a

la otra o relativo a la tensión de red o a otro valor de referencia. En el caso del convertidor del lado de la red esto incluye también el cambio de las corrientes suministradas al estator del generador. No resulta relevante la forma de cálculo o la representación, las corrientes del lado del generador se regulan con reguladores de convertidor, a menudo en las llamadas coordenadas orientadas con el campo, que se calculan mediante una transformación matemática del sistema de tres fases y para el control del convertidor se realimentan de nuevo a éste.

Por una condición predefinida se entiende, en particular, alcanzar un valor límite configurable de un parámetro de red como la tensión de red o la frecuencia de red. Estas magnitudes no tienen por qué ser directamente medibles, aunque puedan serlo, también pueden quedar determinadas mediante cálculo. No hace falta que la condición predefinida obligatoriamente se dé en las tres fases al mismo tiempo, sino que es suficiente con que aparezca en una o dos de las fases sólo.

La invención se basa en la observación de que el aprovechamiento del potencial de una instalación de energía eólica con un generador asíncrono doblemente alimentado se puede aumentar notablemente, cuando al darse determinadas condiciones en la red se cambia la referencia de valores de consigna, concretamente en sentidos contrarios. Con ese desajuste mutuo de los convertidores de corriente continua a corriente alterna el comportamiento global del convertidor o de la instalación de energía eólica entera mejora de tal manera que se puede alcanzar un mejor soporte a la red.

La forma de actuación del procedimiento según la invención es como sigue: Se comprueba si se dan cambios relativos a la potencia activa de salida. Tales cambios aparecen habitualmente como consecuencia de estados alterados de la red, como cambios en la tensión de la red y/o la frecuencia de la red. En un segundo paso se comprueba si estos cambios de la potencia activa de salida satisfacen efectivamente la condición predefinida, o sea, por ejemplo, si la frecuencia de red ha caído por debajo de un valor límite. Esto va acompañado en una instalación de energía eólica con generador asíncrono doblemente alimentado con un aumento de la potencia activa de salida a la red a través del circuito del rotor, es decir, a través del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red. La reserva de corriente disponible del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red para suministro de potencia reactiva queda así reducido, lo que hasta ahora significaba una limitación del funcionamiento o del soporte a la red por parte de la instalación de energía eólica. La invención pone remedio a esto al efectuar un cambio oportuno de los valores de consigna de la potencia reactiva de ambos convertidores de corriente continua a corriente alterna y ajustado uno respecto a otro, o sea tanto del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red, como del lado del generador. En una acción que a primera vista puede resultar contradictoria, según la invención el valor de consigna de la potencia reactiva en el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red se cambia en sentido contrario, es decir, en caso de aumento de su potencia activa de salida el valor de consigna de la potencia reactiva se disminuye mientras que según la invención en el caso del otro convertidor de corriente continua a corriente alterna, del lado del generador, el valor de consigna de la potencia reactiva se cambia en sentido contrario, o sea, se aumenta. Preferentemente el aumento en paralelo del valor de consigna en el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador se produce de tal manera que con respecto a la red se alcance una compensación de la reducción de la potencia reactiva en el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red. Así, la instalación de energía eólica operada según la invención resulta neutral con respecto a la red en cuanto a la potencia reactiva mientras que al mismo tiempo se suministra, para el soporte, además, la potencia activa, íntegra, no reducida. Una sobrecompensación oportuna mediante alimentación local de potencia reactiva inductiva o capacitiva para el soporte adicional de la red no se excluirá.

Preferentemente la detección del cambio de potencia activa se produce al monitorizar la frecuencia de red. Esto se basa en la observación de que el balance de potencia activa de una red se expresa en la frecuencia de red. Así, en caso de demasiado poca potencia activa disminuye la frecuencia de red mientras que para demasiada potencia activa aumenta. La invención se aprovecha de esto para detectar cambios relativos a la potencia activa mediante una monitorización de la frecuencia de red. Esto puede hacerse directamente o indirectamente. Directamente, midiendo la frecuencia de red con un sensor adecuado por ejemplo, a partir de un "paso por cero" de los sensores de tensión o de corriente. También puede hacerse indirectamente al medirse la frecuencia y basándose en eso, determinar si el cambio de la potencia activa ha tenido lugar; la potencia puede constituir una magnitud intermedia, como, por ejemplo, la calcula un observador o puede estar sustituida por otra magnitud de estado que ya no tenga una relación física propia. Esta forma de detección ofrece ventajas especiales cuando la frecuencia de red baja, concretamente, cuando pasa por debajo de un valor límite inferior. Como se ha descrito antes el resultado es un suministro mayor de potencia activa a través del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red de modo que según la invención el valor de consigna de la potencia reactiva de este convertidor de corriente continua a corriente alterna se reduce y para ello correspondientemente se aumenta en consonancia el del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador que por sí mismo no queda directamente afectado. Con esta forma especial de ajuste mutuo de ambos convertidores de corriente continua a corriente alterna del convertidor se consigue que la potencia aparente en el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red no aumente o sólo lo haga escasamente, a pesar del mayor suministro de potencia activa, de modo que la reducción de la potencia activa que hasta la fecha era necesaria en estos casos para impedir la sobrecarga del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red ya no es necesaria. Así la instalación de energía eólica en caso de problema en la red puede seguir proporcionando la potencia activa necesaria urgentemente a la red en una magnitud no reducida. Lo correspondiente se aplica para el caso contrario, una

frecuencia de red demasiado alta al superar un valor límite superior.

La invención consigue así un mejor aprovechamiento de los componentes de la instalación de energía eólica, en particular, del convertidor de corriente continua a corriente alterna del convertor. Las reservas existentes en la instalación de energía eólica se usan mejor, en particular, las relativas a la potencia aparente del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador.

Así se consigue que la corriente reactiva de salida total de ambos convertidores de corriente continua a corriente alterna, la suma, permanezca inalterada, mientras que la salida de corriente reactiva en el convertidor de corriente continua a corriente alterna que está más cargado se reduce y en el caso del convertidor de corriente continua a corriente alterna menos cargado se aumenta, de modo que en la red eléctrica en conjunto no se note ninguna modificación negativa. La regulación del convertor disminuye así la carga pico en los convertidores de corriente continua a corriente alterna individuales y en los ramales de potencia asociados a ellos. En particular la regulación del convertor puede respetar los límites de diseño del convertidor de corriente continua a corriente alterna y los ramales de potencia asociados e igualar, tanto como sea posible, la carga de corriente relacionada con la descarga relativa a los límites de diseño en los convertidores respectivos de corriente continua a corriente alterna, o en los ramales de potencia asociados a ellos. Esto tiene la ventaja de que ambos ramales de potencia tienen la misma fracción de reserva y se puede evitar una carga excesiva en un lado, en el caso de una carga de corta duración alta o excesiva, por ejemplo, debida a cortocircuitos próximos a la instalación de energía eólica.

Se entiende por ramales de potencia asociados al convertidor de corriente continua a corriente alterna, en este contexto, los componentes eléctricos que están, viéndolo "eléctricamente" desde el convertidor de corriente continua a corriente alterna, entre el convertidor de corriente continua a corriente alterna y la red eléctrica. O sea, para el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red dependiendo de la realización, por ejemplo, un "choque" de red, un filtro de red, el cable de la torre del lado del convertor y el arrollamiento del transformador en el lado del convertor. Para el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador estos son dependiendo de la realización, a modo de ejemplo, el cable de conexión al rotor del generador, incluido el cable de la torre del rotor, el rotor del generador, el estator del generador, el cable de la torre del lado del estator y dependiendo de la realización del transformador el arrollamiento del transformador del lado del generador. De acuerdo con una forma de realización adicional preferida está previsto que en caso de una asimetría, tal que se supere el valor límite en una o en dos fases pero no en todas, los valores de consigna para la potencia reactiva del otro convertidor de corriente continua a corriente alterna se modifican de tal manera que la asimetría se reduce. Esto implica que también el otro convertidor de corriente continua a corriente alterna se controla entonces asimétricamente. Así, la asimetría se puede contrarrestar y evitar daños en la instalación de energía eólica.

Preferentemente se dimensiona el cambio de sentido contrario del valor de consigna de la potencia reactiva de modo que la potencia aparente del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red resulte constante. Así se alcanza un aprovechamiento máximo del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red y simultáneamente un soporte óptimo de la red. Por constante se entiende un cambio de la salida de como mucho 10% preferentemente como máximo 3%. También puede estar previsto que el cambio de sentido contrario del valor de consigna de la potencia reactiva se dimensiona en de tal modo que la potencia aparente entregada por la instalación de energía eólica resulte constante. Esto ofrece la ventaja de una neutralidad de red mayor. Esto puede ser ventajoso, en particular, en un parque eólico que ocupe un espacio amplio si comparativamente existen ramales de comunicaciones largos y así las instalaciones más lejanas se pueden poner en un modo de funcionamiento neutral con respecto a la red y recurrir a las instalaciones regulables que físicamente estén más cerca y por ello más rápidas, para las modificaciones de la potencia reactiva o la potencia aparente.

Preferentemente se produce un control previo de tal manera que el cambio del valor de consigna de la potencia reactiva se produce para al menos uno de los dos convertidores de corriente continua a corriente alterna dependiendo de la frecuencia de la red. Así se puede reaccionar a cambios de la frecuencia de la red sin tener que esperar a aproximarse, innecesariamente, a los límites de la carga de los componentes, en particular, de la potencia aparente o del límite de corriente del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red. Una regulación previa así se puede realizar también en relación con las magnitudes de estado de las instalaciones de energía eólica, por ejemplo, relativas a la temperatura del convertor y su convertidor de corriente continua a corriente alterna y/o del generador. Si existe amenaza de un sobrecalentamiento del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red se disminuye según la invención su valor de consigna de potencia reactiva y el del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador se aumenta correspondientemente. En caso de una sobrecarga térmica del convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador o del generador mismo se procede correspondientemente.

La invención se refiere además a una instalación de energía eólica con un rotor de viento, a un generador asincrónico doblemente alimentado impulsado por éste con un convertor comprendiendo un convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador, convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red y al menos un regulador del convertor para suministrar energía eléctrica a la red y un dispositivo de control que interactúa con el regulador del convertor que está diseñado para el control o la regulación de la corriente entregada por al menos uno de los convertidores de corriente continua a corriente alterna al generador asincrónico doblemente alimentado y/o a la red eléctrica la corriente eléctrica, estando previstos según la invención un módulo

- de medida para registrar la potencia activa de salida y un módulo de determinación de cambios diseñado para la detección de un cambio de la potencia activa de salida y para determinar si el cambio detectado satisface una condición predefinida de un parámetro de red así como para modificar el valor de consigna de la potencia reactiva entregada en sentido contrario al cambio de la potencia activa en el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado de la red y en el mismo sentido en el convertidor de corriente continua a corriente alterna del lado del generador, en cuanto que la condición se cumpla.
- 5
- Preferentemente el módulo de determinación de cambios actúa conjuntamente con un módulo de igualación que está diseñado para la compensación de la potencia aparente con respecto a la red.
- 10
- Convenientemente el módulo de medida presenta sensores para determinar la tensión y la corriente activa. Así se pueden determinar valores de la potencia activa entregada autónomamente. No se excluirá que tales valores se extraigan del dispositivo de control y de los parámetros presentes en él de todos modos. Así se consigue reducir el coste en sensores adicionales.
- Por lo demás, el regulador del conversor está diseñado preferentemente para la realización del procedimiento antes mencionado. Para una explicación más detallada se remite a la descripción anterior.
- 15
- La invención se explicará con más detalle a continuación en relación con el dibujo adjunto en el que se está representado un ejemplo de realización ventajoso. Muestran:
- la figura 1: una vista completa esquemática de una instalación de energía eólica
- la figura 2: un ejemplo de realización de un regulador del conversor según la invención
- 20
- la figura 3a, 3b: un diagrama de potencia del comportamiento durante el funcionamiento del conversor sin el procedimiento según la invención
- la figura 4a, 4b: un diagrama de potencia del comportamiento durante el funcionamiento del conversor con el procedimiento según la invención
- la figura 5a, 5b: un diagrama de la potencia reactiva para el procedimiento según la invención y
- la figura 6: un diagrama de curvas características
- 25
- La estructura general de la instalación de energía eólica se explicará brevemente en base a la figura 1. El rotor de viento 2 de la instalación 1 de energía eólica se pone a rotar por el viento. El rotor 2 de viento está conectado mecánicamente con un generador 4 a través de un mecanismo 3 y pone en rotación un rotor 6 del generador 4. Un estator 5 del generador está conectado a la red 10 eléctrica a través de un cable 13 de conducción de la torre, un transformador 8, y un interruptor 9 de desconexión. El rotor 6 del generador 4 está conectado a un conversor 7 que
- 30
- por su parte también está conectado a la red 10 eléctrica a través de un cable 14 de conducción de la torre, del transformador 8 y del seccionador 9.
- El transformador 8 en el ejemplo de realización representado está realizado con tres arrollamientos, o sea con arrollamientos separados respectivamente para los ramales de potencia del estator 5 y del conversor 7. Las realizaciones con dos arrollamientos sólo o con un número mayor de arrollamientos resultan también posibles.
- 35
- La estructura del conversor 7 y su regulación se representan más en detalle en la figura 2. Como componentes principales el conversor 7 comprende: un convertidor 71 de corriente continua a corriente alterna del lado del generador y un convertidor 72 de corriente continua a corriente alterna del lado de la red que están conectados a través de un circuito 73 intermedio de tensión continua. El convertidor 72 de corriente continua a corriente alterna del lado de la red está conectado a través de un "choque" 12 al transformador 8. El convertidor 71 de corriente continua a corriente alterna del lado del generador está conectado al rotor 6 del generador 4. En el circuito 73 intermedio de tensión continua está dispuesto un condensador 82 como acumulador de energía. Nótese que el circuito intermedio de tensión continua puede ser también un circuito intermedio de corriente continua estando previsto entonces correspondientemente un inductor como acumulador de energía.
- 40
- Para el control del conversor 7 está previsto un regulador 20 del conversor. Éste comprende como componentes principales reguladores 21, 22 de los convertidores de corriente continua a corriente alterna que mediante conducciones 41 ó 42 de control controlan respectivamente los convertidores 71, 72 de corriente continua a corriente alterna asociados a ellos.
- 45
- El regulador 20 del conversor está configurado para regular en función de la velocidad de rotación del generador 4 en un modo de funcionamiento por debajo del sincronismo, en sincronismo o por encima del sincronismo en función de la carga. A una velocidad de rotación baja, funciona en la región por debajo del sincronismo fluyendo entonces la potencia a través del conversor 7 hacia el rotor 6. En el caso de funcionar en el punto de sincronismo la corriente no fluye a través del conversor 7 sino que la corriente total generada la suministra el estator 5 al transformador 8. A una velocidad de rotación alta funciona en la región por encima del sincronismo en la que la potencia generada por el generador 4 se entrega a través del estator 5 y también a través del rotor 6 y el conversor 7. Habitualmente el diseño
- 50

es tal que cuando funciona por encima del sincronismo entre el 60% y el 90% de la potencia eléctrica generada por el generador 4 se entrega a través del estator 5 y correspondientemente entre el 10% y el 40% a través del rotor 6 y del convertor 7.

5 Las magnitudes eléctricas respectivas del convertor 7 con sus convertidores 71, 72 de corriente continua a corriente alterna y de la instalación de energía eólica en su conjunto, en particular, las tensiones a las que está, la corriente activa y el flujo de viento que fluye y la tensión del circuito intermedio se miden mediante sensores 31, 32, 33, 34, 35 y se suministran a un módulo de medida 23 del regulador 20 del convertor. Nótese que adicionalmente o en lugar de los sensores para la corriente activa y reactiva también pueden estar previstos los de potencia activa y potencia reactiva. Por razones de coste, en el ejemplo de realización representado, sin embargo está previsto que las
10 corrientes respectivas se midan y a partir de ellas el módulo 23 de medida calcule los valores correspondientes para la potencia (la potencia activa y potencia reactiva a partir de la corriente activa y la corriente reactiva). En lo que sigue se partirá de que entre estas magnitudes de una forma conocida de por sí, mediante la multiplicación por la tensión de los valores calculados, se puedan calcular en ambos sentidos. El módulo 23 de medida entrega a su salida los valores medidos y, eventualmente, mediante un procesamiento subsiguiente, los valores obtenidos, como
15 la potencia activa y la potencia reactiva, a un módulo 24 de determinación de cambio y a un módulo 27 de regulación.

El módulo 23 de medida está configurado para detectar un cambio de la corriente activa entregada o un cambio de la potencia activa entregada y para producir una señal de salida correspondiente, como, por ejemplo, en el caso de que se supere un valor límite en el convertidor 72 de corriente continua a corriente alterna del lado de la red. Nótese
20 que el módulo 23 de medida como elemento del regulador 20 del convertor puede tener en cuenta también los valores de consigna establecidos. Así puede haber un cambio detectado por el módulo 23 de medida, por ejemplo, cuando resulte que en base a un valor de consigna de corriente reactiva o un valor de consigna de potencia reactiva que se establezcan el valor límite de la corriente máxima permitida del convertidor de corriente continua a corriente alterna se supera. En este caso el módulo 23 de medida produciría una señal correspondiente en su salida.

El módulo 25 de determinación del valor de consigna proporciona los valores de consigna de la potencia reactiva y la corriente reactiva a entregar por la instalación de energía eólica y los convertidores 71, 72 individuales de corriente continua a corriente alterna teniendo en cuenta los valores predefinidos impuestos por un controlador 29 de funcionamiento de la instalación de energía eólica, por ejemplo, para la potencia activa P_T y el factor ϕ de potencia y otros valores 28 de los sensores adicionales de la instalación de energía eólica, como, por ejemplo, la velocidad de rotación del generador, la velocidad del viento o las temperaturas de los componentes del generador 4 del convertor 7 o de las conducciones de corriente.

El módulo 24 de determinación de cambios está configurado para determinar si el cambio detectado satisface una condición predefinida. El módulo 24 de determinación de cambio puede comprobar, en particular, cambios predeterminados de valores de consigna de los convertidores 71, 72 de corriente continua a corriente alterna antes de que éstos se establezcan a través del módulo 27 de regulación en los reguladores 21, 22 de los convertidores de corriente continua a corriente alterna.

En el modo de funcionamiento fundamental, el módulo 27 de control compara las desviaciones de control respectivas de los convertidores 71, 72 de corriente continua a corriente alterna con los valores de consigna y se los pasa al regulador 21, 22 de los convertidores 71, 72 de corriente continua a corriente alterna en tanto que el módulo 24 de determinación del cambio no haya detectado ningún cambio. En cuanto que el módulo 24 de determinación de cambio sí haya reconocido un cambio, por ejemplo, al haberse satisfecho una condición predefinida le pasa los valores correspondientes a un módulo 40 de igualación que está conectado con ambos reguladores 21, 22 de los convertidores de corriente continua a corriente alterna y que interactúa con estos para la corrección de los valores de consigna establecidos. La condición predefinida puede ser de varios parámetros de la instalación de energía eólica y sus componentes en particular de los convertidores de corriente continua a corriente alterna. Así la condición predeterminada puede ser la superación de un límite permitido relativo a una velocidad de giro alta, así como una tensión alta o una modificación de la frecuencia de red.

Los reguladores 21, 22 de los convertidores de corriente continua a corriente alterna controlan entonces el interruptor de los convertidores 71, 72 de corriente continua a corriente alterna respectivos de forma correspondiente a los valores de consigna establecidos que con la activación de la condición predefinida, eventualmente resultan modificados por el módulo de determinación de cambio entregándose las correspondientes corriente o potencia activa y/o reactiva.

Además en la figura 2 están representados sensores 91, 92 de temperatura, estando conectados al regulador 20 del convertor. En el ramal de potencia del convertidor 71 de corriente continua a corriente alterna del lado del generador están previstos sensores 91 de temperatura en los componentes 4, 8, 13 que reenvían los valores de temperatura medidos al regulador 20 del convertor. También están previstos sensores de temperatura 92 en el tramo de potencia del convertidor 72 de corriente continua a corriente alterna del lado de la red en los componentes 8, 12, 14. Si un valor de temperatura supera el valor límite de temperatura preestablecido el control 20 del convertor reduce la entrega de corriente al convertidor 71, 72 de corriente continua a corriente alterna afectado y aumenta la entrega de corriente en la misma cantidad al otro convertidor 71, 72 de corriente continua a corriente alterna. Preferentemente

este cambio se ejecuta cuando se entrega corriente reactiva.

Esto se explicará a continuación más en detalle en relación con el procedimiento según la invención. Se tomarán en cuenta, en particular las figuras 3 a 7.

5 Para entenderlo mejor se explicará primero el procedimiento como se ejecuta habitualmente. En la figura 3a y 3b están representados el funcionamiento de la instalación de energía eólica a plena carga (potencia nominal). A esta potencia las instalaciones de energía eólica con máquinas asíncronas 5 doblemente alimentadas están dimensionadas de modo que la distribución de la potencia activa en el rotor 6 y el estator 5 resulte de la relación de la velocidad N_{sync} de sincronismo y la velocidad N_{rat} nominal o del deslizamiento de la máquina. La potencia activa del estator 5, P_{stator} , se deriva de la relación de la velocidad de sincronismo con la velocidad nominal multiplicada por la potencia activa total P_{wea} :

$$P_{stator} = N_{synch} / N_{rat} \times P_{wea}$$

y correspondientemente la potencia activa del rotor, P_{rotor} de la diferencia de la potencia activa total descontada la potencia activa del estator:

$$P_{rotor} = P_T - P_{stator}$$

15 Durante el funcionamiento real se producen fluctuaciones de los parámetros de la red. Estas pueden ser por un lado fluctuaciones de la tensión de red o de la frecuencia de red. Se pretende que también en el caso de fluctuaciones de los parámetros de red mencionados quede inalterada en la medida de lo posible la entrega de potencia activa y potencia reactiva para con la red. Esto viene representado en la figura 3a por las dos líneas horizontales dibujadas para la potencia P_T activa total y la potencia Q_T reactiva total de la instalación de energía eólica.

20 Debido a la característica de la máquina 4 asíncrona doblemente alimentada a partir de la frecuencia nominal de la red, que se asumirá de 50 Hz, se desplaza la distribución de potencia entre el estator 5 y el rotor 6 del generador 4. Así resulta a frecuencias por debajo de 50 Hz una fracción de potencia activa del rotor más grande de modo que correspondientemente el arrollamiento del rotor 6 del convertidor 7 así como del arrollamiento del transformador 8 conectado con el convertidor se carguen mucho más. A frecuencias por encima de la frecuencia nominal resulta una fracción de potencia activa más grande del estator 5 de modo que el estator 5 del generador 4 mismo, el convertidor 71 de corriente continua a corriente alterna del lado del generador así como el arrollamiento transformador 8 que está conectado al estator 5 y eventualmente también el interruptor de potencia del estator (no representado) estén mucho más cargados debido a corrientes más altas. Para la banda de frecuencias representada en las figuras, de 47 Hz a 52 Hz, resulta así, en el caso más desfavorable de que la frecuencia sea inferior una carga mayor del rotor 6 del 130% y en el caso de que la frecuencia sea superior una mayor carga del estator del 104% de los valores de diseño respectivos para el funcionamiento nominal como se ha indicado antes. Si se tiene en cuenta además que la instalación de energía eólica a potencia nominal no sólo tiene que entregar la potencia activa nominal sino también la potencia reactiva nominal resulta para el rotor 6 y el estator 5 la potencia aparente respectivamente dibujada con trazo discontinuo. Se observa que en el caso de que la sea frecuencia inferior, el rotor 6 ya alcanza el límite de carga permitido a una frecuencia de 49 Hz y a frecuencias aún más bajas lo sobrepasaría; correspondientemente en el caso de que la frecuencia sea superior, el estator 5 alcanzaría el valor límite a una frecuencia de 50,5 Hz y por encima de ésta lo superaría.

40 Para evitar una sobrecarga y con ello el peligro aparejado de daños, o los componentes de las ramas respectivas del rotor y del estator se tienen que diseñar correspondientemente más altos o la potencia entregada para desviaciones grandes de la frecuencia de red tiene que reducirse. Lo último es el camino que se sigue de forma habitual. Esto está representado en la figura 3b. Se produce una reducción de la potencia activa dependiendo de la frecuencia. A una frecuencia inferior esto significa que la potencia entregada por el rotor 6 ya no aumenta linealmente sino que se limita a la de una frecuencia de 49,5 Hz y permanece constante. Ya que la potencia reactiva permanece invariable, también permanece constante la potencia aparente del rotor 6 y se mantiene así en el límite permitido sin superar éste. El rotor 6 y el convertidor 7 se protegen así eficazmente de sobrecargas.

50 Sin embargo esta limitación en el circuito del rotor debido al acoplamiento eléctrico de las máquinas 4 asíncronas doblemente alimentadas no queda sin un efecto sobre el circuito del estator. Esto está representado en la parte superior de la figura 3b. Se observa que debido a la limitación de la potencia activa del rotor 6 la potencia activa del estator 5 asociada a través de la velocidad de rotación de sincronismo también cae y concretamente mucho comparativamente. Correspondientemente la potencia aparente del estator 5, debido a ser constante la potencia reactiva, también disminuye. La potencia P_T activa total entregada por la instalación de energía eólica se reduce notablemente por ello en el caso de una frecuencia baja y concretamente hasta valores de sólo el 77% de la potencia a la frecuencia nominal de 50 Hz. Una reducción correspondiente de la potencia activa en el estator 5 se efectúa para el caso de que la frecuencia sea superior con la consecuencia correspondiente para la potencia entregada por el circuito del rotor. En este caso también se produce una reducción de la potencia activa total entregada por la instalación de energía eólica., sin embargo sólo se reduce a valores del 96% de la potencia activa a una frecuencia nominal de 50 Hz. En conjunto se observa que para la protección de la sobrecarga, sobre todo en el

caso de la región de frecuencias bajas, hasta ahora había que asumir una reducción notable de la potencia activa entregada por la instalación de energía eólica. Por tanto las contrapartidas son muy notables para el funcionamiento y la utilización comercial de la energía de la instalación de energía eólica.

5 La invención resuelve este problema al diseñarse el control del convertidor 7 de tal manera que los valores de consigna de la potencia reactiva a entregar se modifican en sentidos opuestos. Ahora se hará referencia a la figura 4.

10 La invención se basa en la observación de que en el caso de una frecuencia inferior la red necesita urgentemente el suministro de potencia activa para la estabilización. El suministro de potencia activa a través de la instalación de energía eólica no se verá, en la medida de lo posible, reducida por ello. Reducir la potencia reactiva suministrada, por lo general, no se desea tampoco ya que actúa de forma estabilizadora. Simultáneamente los límites de carga, en particular, en el circuito del rotor no deben superarse. La invención conjuga estos dos objetivos que parecen contrapuestos bajando el valor de referencia de los valores de consigna para la potencia reactiva que tiene que entregar el circuito del rotor (adaptación en oposición). Así se consigue que el suministro de potencia activa no tenga que reducirse sino que de la forma que se exige de por sí se pueda aumentar linealmente cuando la frecuencia disminuye. Mediante la reducción del valor de referencia del valor de consigna para la potencia reactiva que hay que suministrar la invención consigue que en conjunto la potencia aparente suministrada por el circuito del rotor guarde los límites permitidos y que no los supere. Mediante este cambio de sentido contrario de los valores de consigna de la potencia activa y reactiva en el rotor se alcanzan los objetivos de suministrar suficiente potencia activa para el soporte de la red y por otro lado evitar una sobrecarga de los componentes del circuito del rotor. En un segundo paso, para compensar la reducción de los valores de consigna de la potencia reactiva en el circuito del rotor, la invención prevé ahora que los del circuito del estator se aumenten (adaptación en el mismo sentido). La invención se vale en este caso de que debido a necesariamente en el caso de una frecuencia inferior, va disminuyendo la potencia activa suministrada por el estator 5 queda disponible una reserva de corriente suficiente de modo que en total la potencia aparente permanece en la región permitida (ver la mitad izquierda de la figura 4a: la línea de trazo discontinuo S_{stator} permanece por debajo de la marca de límite sombreada). La invención utiliza entonces la capacidad de corriente, que en otro caso quedaría desaprovechada en el estator, para compensar la “deuda de potencia reactiva” que se genera debida a la disminución de los valores de consigna de la potencia reactiva en el rotor 6. Así se alcanza un aprovechamiento óptimo de los componentes ya que la potencia P_T activa y potencia Q_T reactiva totales entregadas por la instalación de energía eólica permanece constante a una frecuencia inferior.

20 30 Lo correspondiente se aplica al caso de la frecuencia superior. Sin embargo en este caso puede aparecer una pequeña sobrecarga en el circuito del estator. A 52 Hz sólo es de un orden de magnitud de aproximadamente 1% por tanto habitualmente todavía está dentro de las tolerancias de los componentes y entonces no hace falta tenerla en cuenta por separado. Son válidas entonces las curvas como están representadas en la figura 4a.

35 Si el peligro de un una posible sobrecarga también estará excluido para el caso de la frecuencia superior, entonces es válido el diagrama representado en la figura 4b. En caso de una frecuencia superior la potencia activa entregada por el estator 5 a una frecuencia de más de 51 Hz ya no aumenta tan pronunciadamente como para las frecuencias más bajas (ver el codo en la curva característica P_{stator}). Así se consigue que la potencia aparente en el circuito del estator no supere el valor límite. La invención se vale en este caso de que en caso de frecuencias superiores el estado de la red de por sí es tal que hay suficiente potencia activa (habitualmente incluso sobra) de modo que una reducción del suministro de potencia activa se puede al menos tolerar, si es que incluso no se pretende.

La invención alcanza así, sin sobredimensionar los componentes por los que pasa la corriente, la posibilidad, en el caso de que se superen por debajo las frecuencias antes críticas, (49,5 Hz como frecuencia límite inferior y 50,5 Hz como frecuencia límite superior) de conseguir mantener el suministro de potencia activa y reactiva y por tanto influir en la red dándole soporte y adicionalmente aprovechar la instalación de energía eólica al máximo.

45 La invención consigue esto en lo fundamental mediante el desplazamiento de los valores de consigna de la potencia reactiva. En la figura 5a el valor de la potencia reactiva óptimo según la invención para la compensación de frecuencia está representado en el punto de funcionamiento nominal. Partiendo del valor normalmente probado de $1=0$ se puede observar que la relación entre la potencia reactiva óptima según la invención y la potencia reactiva nominal aumenta con la frecuencia. El valor que resulta para el valor de consigna óptimo de la potencia reactiva del convertidor 72 de corriente continua a corriente alterna del lado de la red está representado en la figura b como la curva Q_{Nopt} en comparación con el funcionamiento a potencia Q_{rat} reactiva nominal.

50 En la figura 6 está representado un haz de curvas que representan la fracción de potencia Q_{72} reactiva entregada por el convertidor 72 de corriente continua a corriente alterna del lado de la red en relación con la potencia Q_T reactiva entregada en total. Mientras que en la implementación habitual sólo se prevé una única de estas curvas (soporte de potencia reactiva) para la instalación de energía eólica la invención prevé dependiendo del estado de la red, a saber, de la desviación de frecuencia de la red respectivamente otra curva característica. Así resulta un haz de curvas características como, por ejemplo, está representado para las tres frecuencias $F_U < F_0 < F_H$. Mediante este soporte según la invención dependiente de la frecuencia, la invención consigue un soporte de la red muy mejorado sin modificación de componentes de la instalación de energía eólica.

60

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el control de un convertidor (7) de una instalación (1) de energía eólica que está conectado al rotor (2) de un generador (4) asíncrono doblemente alimentado para suministrar energía eléctrica a una red (10) eléctrica comprendiendo el convertidor (7) un convertidor (71) de corriente continua a corriente alterna del lado del generador, un convertidor (72) de corriente continua a corriente alterna del lado de la red y al menos un regulador (20) del convertidor para la regulación y el control de la corriente entregada por al menos uno de los convertidores (71, 72) de corriente continua a corriente alterna al generador (4) asíncrono doblemente alimentado y/o a la red (10) eléctrica con los pasos de procedimiento:
- detectar un cambio de la potencia activa entregada y
 - determinar si el cambio detectado satisface una condición predefinida de un parámetro de red **caracterizado porque** cambiar el valor de consigna de la potencia reactiva entregada y concretamente de signo contrario al cambio de la potencia activa en el convertidor (72) de corriente continua a corriente alterna del lado de la red y del mismo signo que en el convertidor (71) de corriente continua a corriente alterna del lado del generador en cuanto que se cumpla la condición predefinida.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** la potencia activa entregada se determina a partir de la tensión y de la corriente entregada.
3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** los cambios del mismo signo y de signo contrario están ajustados uno respecto a otro para que se produzca una compensación de potencia reactiva.
4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** la detección del cambio de potencia activa se produce al monitorizar la frecuencia de red.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** la condición predefinida comprende un cambio de la frecuencia de red en particular, que se supere por debajo una frecuencia límite inferior y/o se supere por encima una frecuencia límite superior
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** el cambio de signo contrario del valor de consigna de la potencia reactiva se dimensiona para que la potencia aparente del convertidor (72) de corriente continua a corriente alterna del lado de la red permanezca constante.
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5 **caracterizado porque** el cambio de signo contrario del valor de consigna de la potencia reactiva está dimensionado para que la potencia aparente entregada por la instalación de energía eólica permanezca constante.
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** se ejecuta una regulación previa produciéndose el cambio del valor de consigna de la potencia reactiva dependiendo de la frecuencia de la red para al menos uno de los dos convertidores (71, 72) de corriente continua a corriente alterna.
9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8 **caracterizado porque** los cambios del mismo signo y de sentido contrario están regulados previamente de modo que la potencia reactiva entregada por la instalación de energía eólica permanezca invariable.
10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8 ó 9 **caracterizado porque** el cambio del valor de consigna de la potencia reactiva está limitado dependiendo de una magnitud de estado de la instalación de energía eólica
11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10 **caracterizado porque** como magnitud de estado se utiliza una señal de temperatura del generador asíncrono doblemente alimentado, de su rotor, de su estator y/o al menos de uno de sus convertidores (71, 72) de corriente continua a corriente alterna.
12. Instalación de energía eólica con un rotor de viento, un generador (4) asíncrono doblemente alimentado impulsado por aquel, con un convertidor (7) comprendiendo un convertidor (71) de corriente continua a corriente alterna del lado del generador, un convertidor (72) de corriente continua a corriente alterna del lado de la red y al menos un regulador del convertidor para suministrar energía eléctrica a una red (10) y un dispositivo de control que interactúa con el regulador del convertidor que está diseñado para el control o la regulación de la corriente entregada por al menos un convertidor (71, 72) de corriente continua a corriente alterna al generador (4) asíncrono doblemente alimentado y/o a la red (10) eléctrica estando previstos un módulo (23) de medida para registrar la potencia activa entregada y un módulo (24) de determinación de cambio que sirve para detectar un cambio de la potencia activa entregada y determinar si el cambio detectado satisface una condición predefinida de un parámetro de red **caracterizado porque** el módulo (24) de determinación de cambio además está configurado para cambiar el valor de consigna de la potencia reactiva entregada de signo contrario al del cambio de la potencia activa en el convertidor (72) de corriente continua a corriente alterna del lado de la red y del mismo signo en el convertidor (71) de corriente continua a corriente alterna del lado del generador en cuanto que la condición se cumpla.

13. Instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 12 **caracterizada porque** el regulador del convertidor está diseñado para la ejecución del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 11.

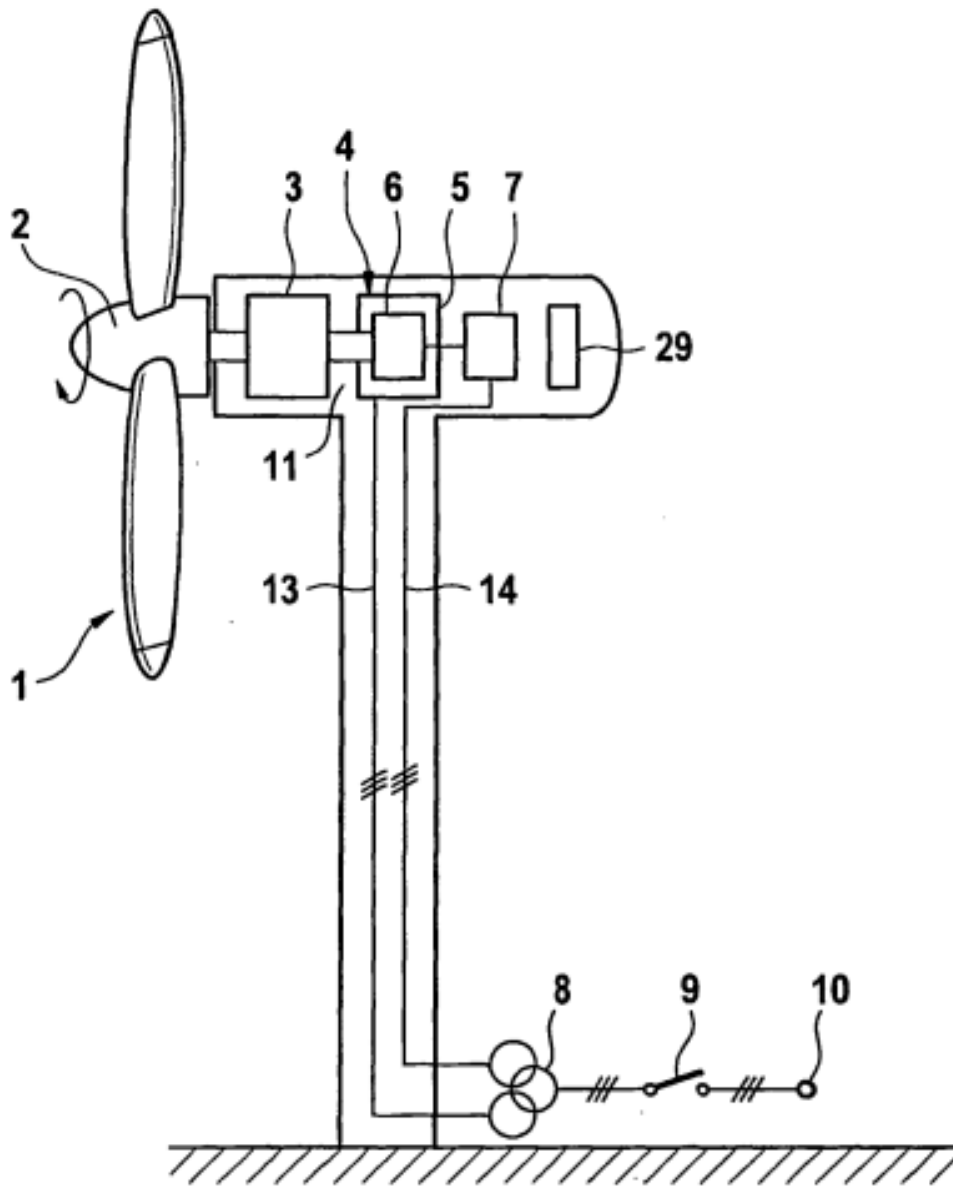


Fig. 1

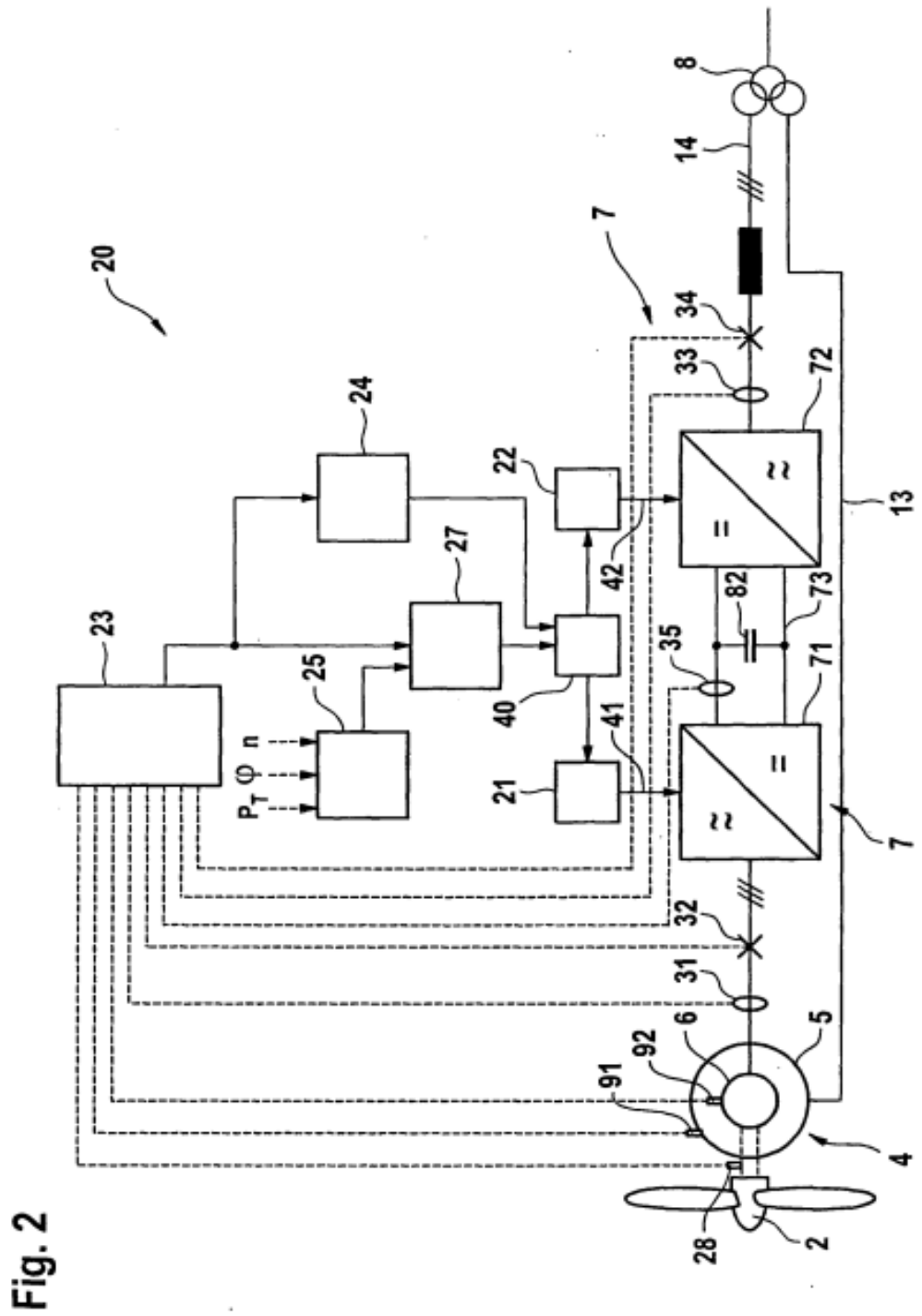
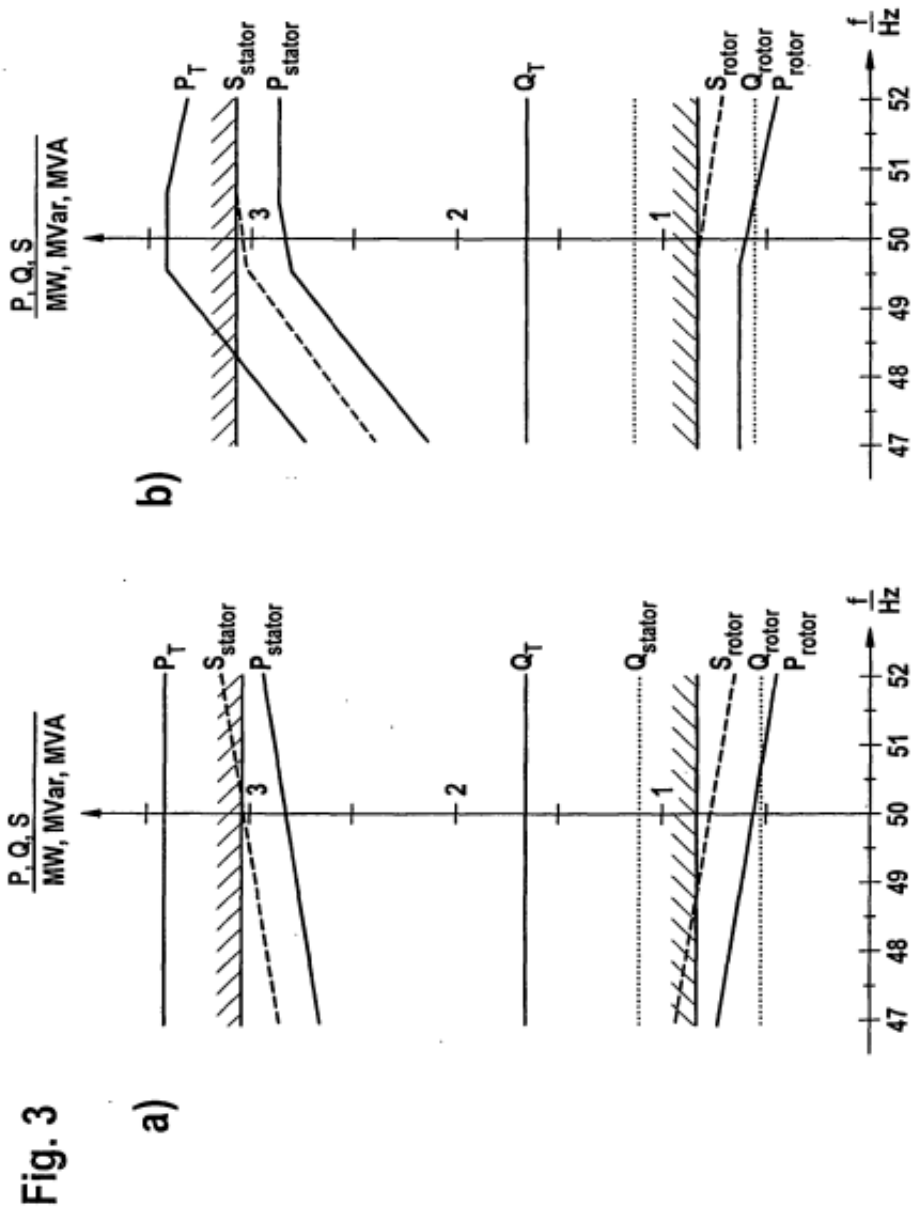


Fig. 2



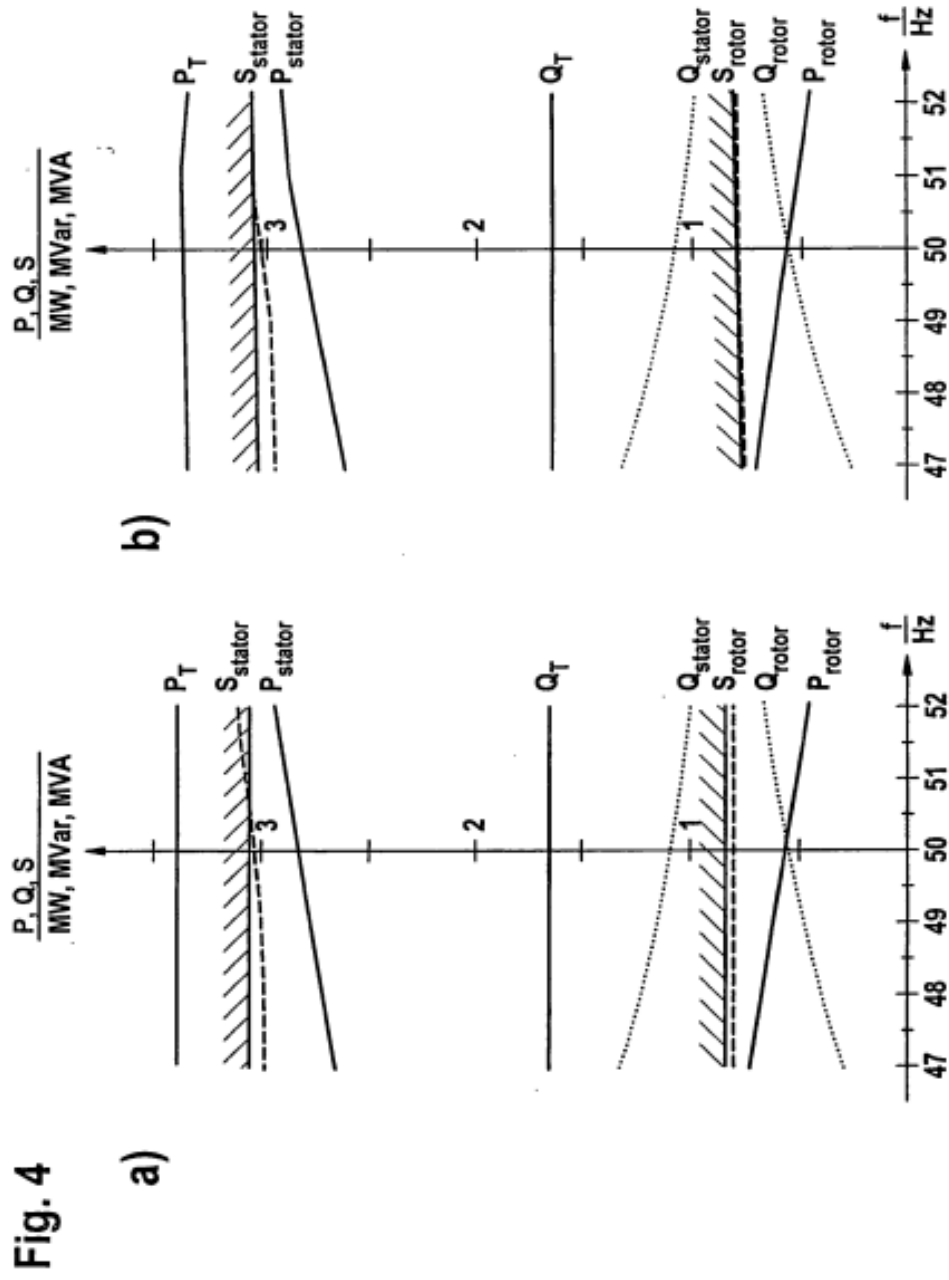


Fig. 5

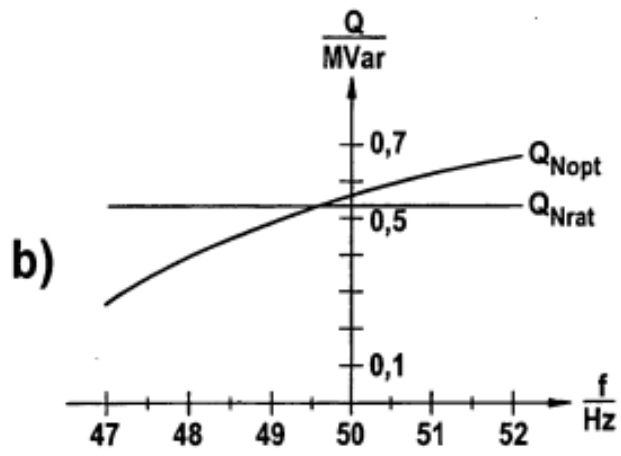
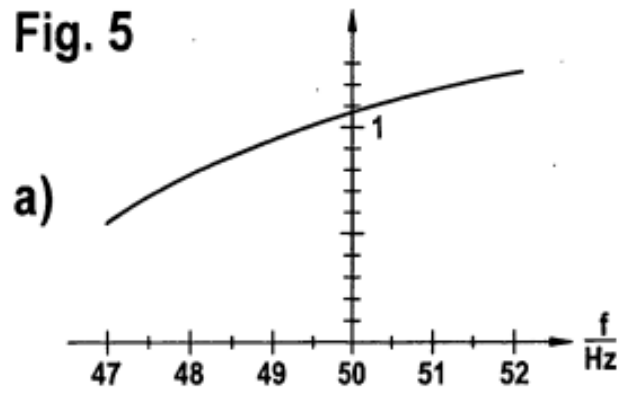


Fig. 6

