(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 986 438**

(51) Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/46 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.06.2018 PCT/EP2018/065028**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **20.12.2018 WO18228917**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.06.2018 E 18729954 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024 EP 3639339**

(54) Título: **Procedimiento para alimentar potencia eléctrica en una red de suministro eléctrico mediante un dispositivo de alimentación controlado por convertidor**

(30) Prioridad:

13.06.2017 DE 102017113006

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.11.2024

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

BROMBACH, JOHANNES

(74) Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para alimentar potencia eléctrica en una red de suministro eléctrico mediante un dispositivo de alimentación controlado por convertidor

La presente invención se refiere a un procedimiento para suministrar potencia eléctrica a una red de suministro eléctrico mediante un dispositivo de alimentación controlado por convertidor, en particular mediante un parque eólico o al menos una instalación de energía eólica. La invención también se refiere a un parque eólico de este tipo y a una instalación de energía eólica de este tipo.

Especialmente las instalaciones de energía eólica y los parques eólicos alimentan eléctrica a la red de suministro eléctrico mediante convertidores. Para ello utilizan convertidores de frecuencia o inversores de frecuencia, lo que se conoce simplemente como convertidor o inversor. En principio, también pueden alimentar otros generadores controlados por convertidor, como por ejemplo las instalaciones fotovoltaicas.

La alimentación mediante dispositivos de alimentación controlados por convertidor es conocida y puede utilizarse cada vez más para apoyar o dar soporte a la red de suministro eléctrico. Por lo tanto, los dispositivos de alimentación controlados por convertidor no se concentran necesariamente sólo en la alimentación, sino que, en caso necesario, también adaptan su comportamiento a las condiciones específicas de la red. En particular, se tiene en cuenta una adaptación de la potencia activa alimentada en función de la frecuencia y una modificación de la potencia reactiva alimentada en función del voltaje, donde el voltaje se refiere aquí al voltaje de red de la red de suministro eléctrico o a un voltaje equivalente o proporcional.

En este sentido, los dispositivos de alimentación controlados por convertidor son dispositivos de control muy rápidos en la red de suministro eléctrico. Pueden reaccionar muy rápidamente a los cambios y, por tanto, intervenir de forma reguladora o controladora y, por tanto, de apoyo.

Sin embargo, a medida que aumenta la proporción de tales dispositivos de alimentación controlados por convertidor en la red de suministro eléctrico, puede surgir el problema de que los numerosos dispositivos de alimentación, posiblemente de regulación rápida, también generen cierta perturbación en la red de suministro eléctrico. Una mayor proporción de dispositivos de alimentación controlados por convertidor también significa que está disminuyendo la proporción de grandes centrales eléctricas que alimentan con generadores síncronos acoplados directamente a la red de suministro eléctrico. Esto puede debilitar el efecto lento de centrales eléctricas tan grandes o de sus grandes generadores síncronos.

Además, estos generadores síncronos acoplados directamente funcionan fundamentalmente por marcado de voltaje, mientras que los dispositivos de alimentación controlados por convertidor funcionan normalmente por marcado de corriente. Esto puede provocar un debilitamiento del apoyo de voltaje. Además, los dispositivos de alimentación controlados por convertidor suelen estar configurados de forma descentralizada. Esto también puede dificultar el apoyo de voltaje.

En principio, este problema se puede solucionar adaptando la tecnología de control de los dispositivos de alimentación controlados por convertidor o creando una topología de red más estable. Sin embargo, a menudo ocurre que la topología de la red se desarrolla normalmente más lentamente a medida que se instalan unidades de generación regenerativa, que generalmente están diseñadas como dispositivos de alimentación controlados por convertidor o utilizan dispositivos de alimentación controlados por convertidor para la alimentación. Por este motivo, ya se propone adaptar dispositivos de alimentación controlados por convertidor a tal red debilitada en términos de tecnología de control o tener en cuenta tales propiedades. Las sugerencias correspondientes se describen, por ejemplo, en las dos solicitudes estadounidenses US 2015/0280629 A1 y US 2015/0148974 A1.

La Oficina Alemana de Patentes y Marcas ha encontrado en la solicitud de prioridad de la presente solicitud el siguiente estado de la técnica: DE 10 2012 107 602 A1, DE 910 926 B, US 2015/0 148 974 A1, US 2015/0 280 629 A1 y EP 2 182 626 A1.

Se describe más estado de la técnica en el documento WO2010/094012A1. Allí se muestra un dispositivo de alimentación que suministra energía a una red de suministro, dependiendo la potencia suministrada de una proporción estimada de alimentación que se suministra a la red de suministro a través de un convertidor.

Por lo tanto, la presente invención se basa en el objetivo de abordar al menos uno de los problemas mencionados anteriormente. En particular, debería proponerse una solución que pueda tener en cuenta los cambios en las propiedades de la red de suministro eléctrico. Se debería proponer al menos una solución alternativa a las soluciones conocidas anteriormente.

Según la invención se propone un procedimiento según la reivindicación 1. Por lo tanto, este procedimiento es un procedimiento para alimentar potencia eléctrica a una red de suministro eléctrico por medio de un dispositivo de alimentación controlado por un convertidor. En particular se propone que el dispositivo de alimentación sea una instalación de energía eólica o un parque eólico. Por dispositivo de alimentación controlado por convertidor se entiende que alimenta a la red de suministro eléctrico mediante un convertidor o inversor, en particular, por tanto, no a través de un generador síncrono acoplado directamente a la red de suministro eléctrico.

La red de suministro eléctrico tiene un voltaje de red con una frecuencia de red y una frecuencia de red nominal. La frecuencia nominal de red es, por tanto, la frecuencia de red que idealmente debería utilizarse, es decir, para la que está diseñada la red de suministro eléctrico y, por tanto, todos los consumidores y alimentadores conectados a ella. Como frecuencia nominal de red son especialmente adecuadas 50 Hz o 60 Hz.

El dispositivo de alimentación controlado por convertidor alimenta la red de suministro eléctrico en un punto de conexión a la red y el voltaje de red considerado es especialmente el que se encuentra en el lado de la red en este punto de conexión a la red y también se registra allí.

Para alimentar potencia eléctrica, el dispositivo de alimentación alimenta una corriente de alimentación en forma de corriente alterna a la red de suministro eléctrico. Esta corriente alterna tiene una frecuencia y una fase y se alimenta con un voltaje de alimentación. En particular, un voltaje de alimentación de este tipo se encuentra en la salida del dispositivo de alimentación controlado por el convertidor, es decir, en la salida del inversor o del convertidor o en la salida de un estrangulador conectado aguas abajo. La potencia alimentada se puede determinar mediante la amplitud de la corriente de alimentación y su fase en relación con el voltaje de alimentación. En particular, mediante la fase o un ángulo de fase entre la corriente de alimentación y el voltaje de alimentación se puede llevar a cabo una división entre potencia activa y potencia reactiva.

Se propone o supone que la frecuencia de la corriente de alimentación, la fase de la corriente de alimentación, la potencia alimentada y el voltaje de alimentación sean ajustables. Por lo tanto, el dispositivo de alimentación controlado por convertidor puede regularse o controlarse en función de estas variables.

La alimentación incluye entonces en primer lugar la etapa de estimar una proporción de convertidor de un tramo o sección de red de la red de suministro eléctrico. Esta proporción de convertidor especifica una proporción de dispositivos de alimentación controlados por convertidor y dispositivos de alimentación no controlados por convertidor. Sin embargo, la relación se refiere a la potencia alimentada. Se refiere a la potencia alimentada mediante dispositivos de alimentación controlados por convertidor, es decir, mediante convertidores o inversores, en relación con la potencia total alimentada, es decir, la potencia alimentada mediante dispositivos de alimentación controlados por convertidor y además la potencia restante, que se alimenta especialmente mediante generadores síncronos acoplados directamente. No sólo se tiene en cuenta la potencia del dispositivo de alimentación controlado por convertidor existente, sino también la potencia de todos los dispositivos de alimentación controlados por convertidor en la sección de red considerada. Si, por ejemplo, todos los dispositivos de alimentación controlados por convertidor en la sección de red considerada suministran 4 GW y las grandes centrales eléctricas con generadores síncronos acoplados directamente en la misma sección de red también suministran 4 GW, entonces la proporción de convertidor es de 0,5 o 50 %.

Se propone entonces controlar la alimentación de potencia eléctrica en función de la proporción de convertidor estimada.

La idea subyacente es que se debe realizar un análisis de inventario para determinar cuál es la proporción de convertidor en la red de suministro eléctrico. De esto se puede deducir qué tipo de comportamiento básico de red tiende a exhibir la sección de red considerada. El objetivo aquí no es necesariamente estimar dicha proporción al 1% más cercano, sino más bien evaluar el comportamiento general esperado. En particular, una primera cuestión importante es si en la sección de red predominan los generadores síncronos acoplados directamente o si predominan los dispositivos de alimentación controlados por convertidor. En función de esto se adapta un control según la invención.

Especialmente cuando predominan los generadores síncronos acoplados directamente, generalmente se puede suponer que también consiguen un apoyo de voltaje y un apoyo de frecuencia adecuados a través de la masa oscilante respectiva. Sin embargo, si predominan los dispositivos de alimentación controlados por convertidor, según la invención los dispositivos de alimentación controlados por convertidor, al menos algunos de ellos, asumen tareas de apoyo y se controlan, por ejemplo, basándose en el comportamiento de un generador síncrono acoplado directamente.

La estimación de una proporción de convertidor de una sección de red, que también puede denominarse proporción de convertidor en la sección de red, se puede llevar a cabo, por ejemplo, utilizando información conocida sobre la topología de red de esta sección de red y estimando la proporción de convertidor en conjunto, con datos de potencia

registrados grabados o junto con los datos de potencia proporcionados. Por ejemplo, se puede conocer la potencia nominal de los dispositivos de alimentación controlados por convertidor acoplados a la sección de red. Si estos dispositivos de alimentación controlados por convertidor son sólo instalaciones de energía eólica o sólo parques eólicos, la potencia total suministrada por los dispositivos de alimentación controlados por convertidor se puede deducir de la potencia de uno o varios de tales dispositivos de alimentación controlados por convertidor, especialmente en una zona localmente cerrada. Si, por ejemplo, se considera un parque eólico de varios parques eólicos que están conectados al tramo de red considerado y este parque eólico alimenta aproximadamente el 50% de su potencia nominal, se puede estimar que todos los demás parques eólicos en esta sección de red, es decir, todos los demás parques eólicos cercanos, también suministran aproximadamente el 50% de su potencia nominal y este valor, es decir, el 50% de la potencia nominal total de todos estos parques eólicos conectados a esta sección de la red, puede considerarse como la potencia suministrada por los dispositivos de alimentación controlados por convertidor de esta sección de red. A menudo, el operador de red puede obtener información sobre la potencia suministrada por las grandes centrales eléctricas con generadores síncronos acoplados directamente. Además, por supuesto, también es posible conocer el rendimiento de los parques eólicos mediante el intercambio de datos, por ejemplo, mediante el llamado sistema SCADA.

Sin embargo, también se consideran otras opciones, como deducir las correspondientes proporciones a partir de los estados de la red.

Preferentemente se propone registrar un cambio cíclico de la frecuencia de la red en función de la amplitud y/o la duración o tiempo de ciclo y estimar la proporción de convertidor en función de la amplitud detectada y/o de la duración de ciclo registrada. Se reconoció que un cambio cíclico de este tipo en la frecuencia de la red puede proporcionar información sobre la proporción de convertidor en la red de suministro eléctrico. Esta consideración también significa que una limitación a una sección de la red es casi completamente natural, al menos cuando la red de suministro eléctrico es muy grande, como la red interconectada europea.

Preferiblemente, cuanto mayor es la amplitud del cambio cíclico, mayor se estima la proporción de convertidor. Adicional o alternativamente, cuanto menor sea el tiempo de ciclo, mayor se estima la proporción de convertidor. Por lo tanto, la proporción de convertidor se puede estimar en función de la amplitud del cambio cíclico. Se reconoció que la frecuencia de la red oscila con mayor amplitud cuanto mayor es la proporción de convertidor en la red.

También se reconoció que cuanto mayor sea la proporción de convertidor en la red, más corto será el tiempo del ciclo. Si hay una proporción de convertidor alta, la frecuencia de red oscila aún más rápido.

Estos dos criterios también pueden considerarse al mismo tiempo y, en particular, se propone utilizar un cociente entre la amplitud del cambio y la duración del ciclo del cambio. Cuanto mayor sea este cociente, mayor deberá estimarse la proporción de convertidor. Este cociente tiene la ventaja particular de que una amplitud grande indica una proporción de convertidor alta y una duración de ciclo corta del cambio también indica una proporción de convertidor alta. En el caso de una proporción de convertidor alta, el cociente divide una amplitud bastante grande por una duración de ciclo bastante pequeña, de modo que la importancia de ambas variables se apoya mutuamente.

Por ejemplo, se pueden utilizar valores empíricos o simulaciones de redes como base para una evaluación concreta.

Preferiblemente se propone que como estimación de la proporción de convertidor se distinga entre una proporción de convertidor alta y una proporción de convertidor baja. Se estima una proporción de convertidor alta si la amplitud del cambio cíclico es mayor que un límite de amplitud predeterminado. Adicional o alternativamente, se propone estimar una proporción de convertidor alta si la duración del ciclo es menor que un límite de duración del ciclo predeterminado. Esto significa que se pueden establecer criterios claramente definibles a través de estos límites. Cabe señalar que el resultado sigue siendo una estimación. Por tanto, pueden producirse pequeñas desviaciones. Esto se puede tener en cuenta en el límite a seleccionar, es decir, el límite de amplitud o el límite de duración del ciclo. Por lo tanto, el límite se puede establecer de tal manera que sólo se pueda suponer una proporción de convertidor alta si ésta es realmente significativamente alta y es aconsejable un ajuste del control.

También en este caso se pueden combinar ambos criterios y se puede especificar un límite de cociente para tener en cuenta un cociente de la amplitud del cambio con la duración del ciclo del cambio.

Según una forma de realización se propone que se registre una frecuencia de ocurrencia o una densidad de frecuencia de ocurrencia de la frecuencia o de un gradiente de frecuencia y que la proporción de convertidor dependa de la frecuencia de ocurrencia o de la densidad de frecuencia de ocurrencia registrada. Por ejemplo, un rango de frecuencia relevante alrededor de la frecuencia nominal se puede dividir en secciones de 0,05 Hz. Para cada sección de 0,05 Hz, se pueden sumar los períodos de tiempo durante los cuales se produjo la frecuencia en las secciones de 0,05 Hz correspondientes. Esto da como resultado un valor absoluto para cada una de las secciones de 0,05 Hz, por ejemplo, en segundos, y esto se puede especificar, por ejemplo, como un valor porcentual basado en la duración total de la

prueba. Luego, estos valores se pueden representar en el gráfico correspondiente para las respectivas secciones de 0,05 Hz. Es de esperar que resulte, por ejemplo, una curva similar a una curva de campana de Gauss. Esta curva luego indica la frecuencia de ocurrencia.

En lugar de ello, también se puede registrar una densidad de frecuencia de ocurrencia que corresponda a esta frecuencia de ocurrencia, pero que en particular no requiera una división en secciones discretas, es decir, sin división en las secciones de 0,05 Hz mencionadas a modo de ejemplo. La densidad de frecuencia de ocurrencia de la frecuencia es la frecuencia de ocurrencia dividida por el ancho del rango de frecuencia para el que se determinó. El ejemplo anterior se puede convertir en una densidad de frecuencia de ocurrencia si las frecuencias de ocurrencia respectivas se dividen por 0,05 Hz, porque este es exactamente el ancho de la sección de frecuencia respectiva, es decir, el ancho de la sección de 0,05 Hz respectiva.

Esto da como resultado una curva cualitativamente similar y aquí también se puede esperar una curva de campana similar a una curva de campana de Gauss. El tipo de esta curva, en particular el tipo de campana, puede proporcionar información sobre cuán grande es la proporción de convertidor en la red. En particular, una curva de campana bastante estrecha indica una proporción de convertidor más baja en la red que una curva de campana ancha y plana. En cualquier caso, se esperaría que la mitad de la curva de campana estuviera alrededor de la frecuencia nominal. Especialmente en la red interconectada europea, esta expectativa se cumple porque la red interconectada europea se controla fundamentalmente de modo que la frecuencia media sea exactamente de 50 Hz.

En lugar de frecuencia, se puede considerar un gradiente de frecuencia. El gradiente de frecuencia es la derivada temporal de la frecuencia y también se puede registrar una frecuencia de ocurrencia o densidad de frecuencia de ocurrencia. Básicamente, al considerar la frecuencia de ocurrencia o densidad de frecuencia de ocurrencia del gradiente de frecuencia, se pueden utilizar los mismos criterios de evaluación que cuando se considera la frecuencia de ocurrencia o densidad de frecuencia de ocurrencia de la frecuencia. A este respecto, los comentarios sobre la frecuencia se aplican mutatis mutandis a la consideración del gradiente de frecuencia, a menos que se indique lo contrario o no exista una conexión subyacente obvia. Sin embargo, una observación basada en el gradiente de frecuencia puede ser más sensible que una observación basada en la frecuencia.

Una realización que evalúa esta frecuencia de ocurrencia o densidad de frecuencia de ocurrencia supone que la frecuencia de ocurrencia o la densidad de frecuencia de ocurrencia forma una función de frecuencia de ocurrencia que depende de la frecuencia. Esto básicamente corresponde a la esperada curva en forma de campana mencionada anteriormente. Esta función de frecuencia de ocurrencia, que en la representación conduce a una curva, en particular a una curva en forma de campana, tiene un valor máximo de frecuencia de ocurrencia en el rango de una frecuencia principal. La frecuencia principal es en particular la frecuencia nominal de red, pero también puede diferir de ella. En el ejemplo mencionado de la red europea, esto es 50 Hz. En la red estadounidense, serían 60 Hz, por poner otro ejemplo.

La función de frecuencia de ocurrencia aumenta desde una frecuencia inicial dada que es menor que la frecuencia principal hasta el rango de la frecuencia principal. Por ejemplo, para una frecuencia principal de 50 Hz, la frecuencia inicial puede ser 48 Hz.

Desde el rango de la frecuencia principal la función de frecuencia de ocurrencia dependiente de la frecuencia cae hasta una frecuencia final predeterminada que es mayor que la frecuencia principal. Esta frecuencia final predeterminada puede ser, por ejemplo, un valor de 52 Hz en el caso de una frecuencia principal de 50 Hz. La función de frecuencia de ocurrencia aumenta desde la frecuencia inicial hasta la frecuencia principal y desde allí disminuye nuevamente hasta la frecuencia final.

Para una frecuencia de referencia inferior que es mayor que la frecuencia inicial y menor que la frecuencia principal, esta función de frecuencia dependiente de la frecuencia tiene un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior. Este valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior se encuentra, por tanto, entre la frecuencia inicial especificada y la frecuencia principal. Además, la función de frecuencia de ocurrencia dependiente de la frecuencia tiene para una frecuencia de referencia superior que es mayor que la frecuencia principal y menor que la frecuencia final tiene un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia superior. También se proporciona un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia entre la frecuencia principal y la frecuencia final.

Esta función de frecuencia de ocurrencia dependiente de la frecuencia, aumenta desde la frecuencia inicial a través de la frecuencia de referencia inferior hasta la frecuencia principal y desde allí vuelve a descender a través de la frecuencia de referencia superior hasta la frecuencia final.

Para esta función de frecuencia de ocurrencia dependiente de la frecuencia, la proporción de convertidor se estima ahora en función del valor máximo de frecuencia de ocurrencia. El valor máximo de frecuencia de ocurrencia proporciona información sobre si la proporción de convertidor de la red o de la sección de red es alta o baja. En

particular, si el valor máximo de frecuencia de ocurrencia es alto, se puede suponer que la proporción de convertidor es baja y viceversa.

Adicional o alternativamente, se propone que la proporción de convertidor se estime según una variante dependiendo de una distancia entre las frecuencias de referencia inferior y superior, que se establece en un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior o superior predeterminado, donde los valores de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior y superior puede ser el mismo. En otras palabras, la anchura de la función de frecuencia de ocurrencia se basa en esta distancia entre las dos frecuencias de referencia. Dado que el ancho de la curva cambia con la altura, es decir, el valor de frecuencia de ocurrencia respectivo, esta altura está determinada por los valores de referencia de frecuencia de ocurrencia superior e inferior si son iguales. Esto significa que esta anchura puede constituir un criterio reproducible.

A continuación, se estima la proporción de convertidor en función de la distancia entre estos dos valores, es decir, la distancia entre las frecuencias de referencia superior e inferior. La proporción de convertidor es mayor, o se estima que será mayor, cuanto mayor es la distancia entre estas dos frecuencias de referencia.

Si los dos valores de frecuencia de ocurrencia no son iguales, la distancia entre los dos valores de frecuencia aún puede servir como criterio, pero en ese caso se debe omitir la explicación clara del ancho de la curva.

Alternativamente, se propone que la proporción de convertidor se estime dependiendo del valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior y/o superior, que se establece para una frecuencia de referencia inferior o superior predeterminada. Básicamente se opta por lo contrario, es decir, se indica una de las dos frecuencias de referencia y el valor de frecuencia de ocurrencia asignado, aquí denominado valor de referencia de frecuencia de ocurrencia, constituye un criterio reproducible.

El nivel de uno o ambos valores de referencia de frecuencia de ocurrencia se puede utilizar como criterio para estimar la proporción de convertidor en la red. Ambos valores también se pueden considerar al mismo tiempo, por ejemplo, formando un valor promedio.

En términos de contenido, se sugiere para la evaluación o estimación que cuanto menor sea el valor máximo de frecuencia de ocurrencia, mayor será la proporción de convertidor estimada. Adicional o alternativamente, cuanto mayor sea la distancia entre las frecuencias de referencia superior e inferior, mayor se estima la proporción de convertidor, o se propone como alternativa que cuanto mayor sea el valor de referencia de la frecuencia de ocurrencia superior o inferior, mayor se estima la proporción de convertidor.

De esta manera se pueden establecer valores de comparación fijos, de modo que también en la implementación en un ordenador se puede realizar una evaluación correspondiente. Lo único que hay que registrar es la frecuencia de ocurrencia o el espectro de frecuencia de ocurrencia, de lo que se obtiene la mencionada función de frecuencia de ocurrencia dependiente de la frecuencia. Para esta función de frecuencia de ocurrencia sólo es necesario evaluar los criterios mencionados o al menos uno de ellos.

Según una forma de realización se propone que como estimación de la proporción de convertidor se distinga entre una proporción de convertidor alta y una proporción de convertidor baja. Para ello se estima una proporción de convertidor elevada si el valor máximo de frecuencia de ocurrencia se encuentra por debajo de un valor máximo de frecuencia de ocurrencia predeterminado. Esto significa que al menos esta división entre proporciones de convertidor altas y bajas se puede realizar de manera sencilla evaluando una función de frecuencia de ocurrencia dependiente de la frecuencia comparándola con el valor límite de frecuencia de ocurrencia especificado.

Adicional o alternativamente, se estima una proporción de convertidor alta si la distancia entre las frecuencias de referencia inferior y superior es mayor que una distancia de referencia predeterminada. También en este caso la función mencionada se puede evaluar de forma sencilla y también se puede implementar en un ordenador simplemente comparando el segmento de referencia indicado.

O bien, en la realización alternativa correspondiente está previsto que se estime una proporción de convertidor alta cuando el valor de referencia de frecuencia de ocurrencia superior y/o inferior se encuentra por encima de un valor límite de base predeterminado. Aquí se compara una de las dos amplitudes de la función de frecuencia de ocurrencia con un valor límite de base predeterminado. Como amplitudes se utilizan los valores de la función de frecuencia de ocurrencia en la frecuencia de referencia superior o inferior. Esto permite especificar un criterio de prueba simple y claro.

También es posible combinar estos criterios. Cada criterio puede proporcionar una estimación de si existe una proporción de convertidor alta o baja. En este sentido, pueden surgir resultados de evaluación fundamentalmente contradictorios. En este caso, lo más probable es que la proporción de convertidor tenga un nivel medio. Sin embargo,

si los criterios producen el mismo resultado de evaluación, se puede asumir un valor particularmente seguro o un resultado particularmente seguro. Además, entonces también se puede partir de la base de que la proporción de convertidor es especialmente alta o especialmente baja.

Según otra forma de realización se propone determinar una función de referencia para la frecuencia de ocurrencia o la densidad de frecuencia de ocurrencia y estimar la proporción de convertidor en función de una desviación de la función de frecuencia de ocurrencia con respecto a esta función de referencia. Por tanto, la función de referencia refleja una frecuencia de ocurrencia o una densidad de frecuencia de ocurrencia para una proporción de convertidor conocida y luego sirve como orientación. La función de frecuencia de ocurrencia es la frecuencia de ocurrencia registrada actualmente o la densidad de frecuencia de ocurrencia en función de la frecuencia. Para funciones normalizadas puede ser suficiente comparar un valor característico, por ejemplo, una altura máxima.

Ahora se ha reconocido que la función de frecuencia de ocurrencia tiende a ser más plana con una mayor proporción de convertidor. Especialmente al considerar la densidad de frecuencia de ocurrencia o una frecuencia de ocurrencia normalizada, se puede esperar que las áreas de ambas curvas, es decir, la función de referencia y también la función de frecuencia de ocurrencia registrada actualmente, sean del mismo tamaño. Una curva más plana es aquella que tiene valores más altos que la función de referencia en el área de la frecuencia inicial y la frecuencia final, pero tiene valores más bajos en el área de la frecuencia principal. Se puede hacer una afirmación comparando estas dos funciones, es decir, la función de frecuencia de ocurrencia y la función de referencia. En particular, estas dos funciones pueden superponerse, por ejemplo, y entonces se puede reconocer claramente cualquier evolución más plana de la función de frecuencia de ocurrencia registrada en comparación con la función de referencia. Las desviaciones también se pueden evaluar de otras formas y fácilmente mediante programas informáticos.

Según otra forma de realización se propone seleccionar como función de referencia una función de frecuencia de ocurrencia para una proporción de convertidor igual a cero. Por lo tanto, se parte de una proporción de convertidor nula. Esta función de referencia, es decir, una función de frecuencia de ocurrencia para esta situación determinada, puede estimarse de antemano mediante simulaciones. Sin embargo, también es posible esperar a que, en el punto de conexión a red correspondiente, en el que se debe comprobar esta función de frecuencia de ocurrencia, la proporción de convertidor sea nula o casi nula. Por ejemplo, esta situación se produce habitualmente cuando no hay viento o al menos el viento es tan débil que las instalaciones de energía eólica normales no arrancan y al mismo tiempo, por ejemplo, es de noche, de modo que ningún sistema fotovoltaico alimenta la red de suministro eléctrico que se está examinando.

Se puede entonces partir de esta función de referencia y cualquier indicio que ya se ha descrito anteriormente que indique una proporción de convertidor más alta se puede aplicar siempre en relación con esta función de referencia, que refleja una proporción de convertidor igual a cero. Cuanto más sólidos sean los indicios en cuestión, es decir, por ejemplo, cuanto mayor sea el valor máximo de frecuencia de ocurrencia, mayor será la proporción de convertidor. Para ello también se pueden registrar valores intermedios o funciones intermedias a las que se les puede asignar una proporción de convertidor distinta de cero, por ejemplo 10% y otro valor u otra función de referencia intermedia para el 20%, etc. Dependiendo de esto, se puede hacer una valoración cuantitativa sobre la proporción de convertidor en la red.

Básicamente, según la invención siempre se sugieren estimaciones, aunque también se pueden admitir pequeños errores. Cabe señalar en particular que, por ejemplo, una proporción de convertidor alta no se estima tan alta como realmente es si incluye dispositivos de alimentación controlados por convertidor que se comportan como una máquina síncrona gracias a un control especial, es decir, que emulan una máquina síncrona. En este caso también sería deseable o ventajoso un error de estimación de este tipo, ya que, en última instancia, un dispositivo de alimentación controlado por convertidor, que se comporta como una máquina síncrona, necesita poca o ninguna compensación.

De forma adicional o alternativa se propone configurar como función de diferencia una diferencia entre la función de frecuencia de ocurrencia y la función de referencia. Por lo tanto, esta función de diferencia muestra, en las zonas en las que es positiva, en qué medida la función de frecuencia de ocurrencia registrada se encuentra por encima de la función de referencia. Esto se puede evaluar para juzgar la proporción de convertidor. Para ello se propone integrar la función de diferencia para rangos de frecuencia por debajo de la frecuencia de referencia inferior y por encima de la frecuencia de referencia superior en una integral de desviación. Solo se suma entonces esta parte de la función de diferencia. Una integración de toda la función de diferencia debería tener el valor cero de todos modos.

Según una variante, se propone que la función de diferencia se integre desde una frecuencia baja, por ejemplo, 0 Hz, especialmente 40 Hz o 45 Hz a una frecuencia nominal de 50 Hz o 50 Hz o 55 Hz a una frecuencia nominal de 60 Hz, hasta obtener un valor de diferencia de comparación predeterminado, y considerar el valor de frecuencia en el que se alcanza el valor de diferencia de comparación. Preferiblemente, cuanto menor sea este valor de frecuencia, mayor será la proporción de convertidor estimada. Por ejemplo, el 10% del valor integral de la función de referencia se puede utilizar como valor de diferencia de comparación. También es posible utilizar la función de diferencia a partir de un

valor de frecuencia alta, por ejemplo, del doble de la frecuencia nominal (100 Hz o 120 Hz), especialmente 60 Hz o 55 Hz a una frecuencia nominal de 50 Hz o 70 Hz o 65 Hz a una frecuencia nominal de 60 Hz para integrar hacia abajo y observar el valor de frecuencia alcanzado allí en el que la integral alcanza el valor de diferencia de comparación.

Según otra variante, se propone considerar una integral entre dos valores de frecuencia predeterminados y compararla con una integral de comparación. Preferiblemente, estos valores de frecuencia están próximos a la frecuencia nominal y próximos entre sí. Por ejemplo, se pueden utilizar 49,8 Hz y 49,9 Hz como valores si la frecuencia nominal es 50 Hz.

Adicional o alternativamente, se propone que sólo las áreas positivas de la función de diferencia se integren en la integral de desviación. Si se establece la frecuencia de referencia inferior o superior en los dos puntos de intersección de la función de frecuencia de ocurrencia registrada con la función de referencia, esto especifica exactamente el punto en el que la función de diferencia cambia de su rango positivo a negativo o viceversa. Las dos variantes mencionadas corresponden en este caso a la evaluación de la función de diferencia.

Luego se propone estimar la proporción de convertidor en función de la integral de desviación. Para poder realizar una evaluación cuantitativa, para esta integral de desviación se pueden especificar o establecer rangos de valores correspondientes. Estos valores pueden predeterminarse, por ejemplo, mediante simulaciones. Especialmente cuando se considera una densidad de frecuencia de ocurrencia o una frecuencia de ocurrencia normalizada, se pueden utilizar valores absolutos, por ejemplo 0,2 o 0,3 para una proporción de convertidor media.

Según una forma de realización, se propone que, dependiendo del valor de la integral de desviación, se estime una proporción de convertidor de tal manera que también tenga el valor cero cuando la integral de desviación tenga el valor cero y tenga el valor 100% cuando la integral de desviación tenga el valor 0,5 y aquí los valores intermedios supongan una relación lineal entre la proporción de convertidor y el valor de la integral de desviación. La proporción de convertidor estimada aumenta por lo tanto linealmente con el valor de la integral de desviación, preferiblemente de 0 a 100% para un valor de la integral de desviación de 0 a 0,5.

Según otra forma de realización se propone estimar la proporción de convertidor en función de una desviación de la frecuencia principal con respecto a la frecuencia nominal de red, en particular de tal manera que la proporción de convertidor se estima tanto mayor cuanto más por encima de la frecuencia nominal de red se encuentre la frecuencia principal.

Esta forma de realización se basa en el conocimiento de que en una red de suministro eléctrico que tiene una proporción significativa de generadores controlados por convertidor, las grandes centrales eléctricas, es decir, los alimentadores con máquinas síncronas directamente acopladas, tienden a tener un determinado comportamiento de compensación de frecuencia. Si las instalaciones de energía eólica, los parques eólicos u otras unidades de alimentación controladas por convertidor alimentan, o anuncian, una cantidad significativa de potencia a la red de suministro eléctrico, en particular las grandes centrales eléctricas no renovables, que alimentan con un generador síncrono acoplado directamente, se preparan para la situación esperada. Esto significa que están especialmente preparados para absorber una caída en la potencia de los alimentadores renovables. Esto significa que precisamente cuando no es necesario absorber parte de la potencia, como suele ocurrir, no ceden esta potencia, es decir una especie de reserva de potencia, a la red de suministro eléctrico y por tanto tienden a aumentar la velocidad de rotación. Debido a la frecuente prioridad de los alimentadores renovables, esta potencia de reserva no se aprovecha completamente para el control de frecuencia, de modo que esta desviación de frecuencia puede presentarse en forma de una desviación de control permanente.

Esto se reconoció y se reconoció por ello que una frecuencia principal que está por encima de la frecuencia nominal de red indica una proporción de convertidor alta. Por consiguiente, se propone preferentemente que la proporción de convertidor sea mayor cuanto más se encuentre la frecuencia principal por encima de la frecuencia nominal de red.

Según otra forma de realización se propone registrar un espectro de fluctuación. El espectro de fluctuación representa las fluctuaciones de la frecuencia a lo largo del tiempo como espectro de frecuencia de una frecuencia, es decir, la frecuencia de red. Por ejemplo, se registra un valor de frecuencia durante un período de tiempo predeterminado, por ejemplo, en el intervalo de 0,1 a 2 segundos, o de otra manera. Idealmente, si la frecuencia de la red no fluctúa, solo se registraría como valor constante un único valor, a saber, la frecuencia nominal de red. Un espectro, el espectro de fluctuación propuesto, tendría entonces sólo una componente constante. Si la frecuencia nominal de red es, por ejemplo, 50 Hz, habría así sólo un valor en el espectro, es decir, 50 Hz a 0 Hz. Por lo tanto, la frecuencia registrada aquí es de 50 Hz y no fluctúa. A este respecto, los 50 Hz mencionados aquí como ejemplo forman una componente directa.

En realidad, la frecuencia de red normalmente no es constante, sino que fluctúa y estas fluctuaciones se registran durante el tiempo mencionado simbólicamente, lo que conduce a una amplitud fluctuante de la frecuencia, con la mencionada componente directa de, por ejemplo, 50 Hz. Por lo tanto, estas fluctuaciones a lo largo del tiempo también

pueden examinarse como un espectro. Si la frecuencia ejemplar de 50 Hz oscila de 49,97 Hz a 50,03 Hz doce veces en un minuto, se obtiene una componente espectral de 0,2 Hz, es decir, 12/60 s. La amplitud de este valor espectral es de 0,3 Hz porque la amplitud de la fluctuación fue una fluctuación de 49,97 Hz a 50,03 Hz. Transferida a un diagrama, se traza una frecuencia tanto en abscisas como en ordenadas.

Para ello se propone ahora estimar la proporción de convertidor en función del espectro de fluctuación. En particular, se reconoció que dicho espectro de frecuencia, es decir, la forma en que fluctúa la frecuencia, es decir, cómo la frecuencia se desvía de su valor ideal de una frecuencia nominal constante de la red, es una característica de la red de suministro eléctrico, que también aquí, como en otros casos, se refiere fundamentalmente al punto de conexión de red considerado.

Por lo tanto, se propone calcular también la proporción de convertidor en la red basándose en dichas características. Por ejemplo, los grandes generadores síncronos acoplados directamente pueden provocar una oscilación de potencia constante, que puede reflejarse en un valor correspondiente en el espectro de frecuencia de cada generador. Si hay una proporción de convertidor alta, se puede suponer que no provocan tales fluctuaciones en la red, sino que podrían provocar señales de mayor frecuencia, que a su vez pueden dispersarse debido al gran número de convertidores individuales. En este sentido, en el espectro de frecuencias, es decir, en el espectro de fluctuaciones, cuando la proporción de convertidor es alta, es de esperar un comportamiento de ruido, en lugar de frecuencias pendulares aisladas.

Preferiblemente se propone estimar la proporción de convertidor en función de al menos una amplitud de fluctuación de una frecuencia de fluctuación del espectro de fluctuación. Por lo tanto, se considera al menos un valor en el espectro, a saber, la amplitud de fluctuación, que se produce en una frecuencia del espectro, que aquí se denomina frecuencia de fluctuación. Por lo tanto, se considera un valor aislado, especialmente destacado, y para ello se puede establecer una medida comparativa para estimar en función de él la proporción de convertidor.

Sin embargo, preferiblemente se tienen entonces en cuenta varias de estas amplitudes de fluctuación con una frecuencia de fluctuación diferente. En particular, aquí también se puede proponer una comparación con un espectro de fluctuación de referencia. Entonces, a partir de cambios entre el espectro de fluctuación registrado actualmente y el espectro de fluctuación de referencia, también se puede hacer una declaración sobre el cambio en la red de suministro eléctrico con respecto a la proporción de convertidor.

Preferentemente se propone que la frecuencia de fluctuación se encuentre en el intervalo de 0,1 Hz a 0,5 Hz y, preferentemente, se estima que la proporción de convertidor es menor cuanto mayor sea en este caso la amplitud de fluctuación. Esto se basa en la idea de que esta amplitud de fluctuación es provocada por al menos un generador síncrono acoplado directamente y, por tanto, no por un convertidor. Cuanto mayor sea esta amplitud, mayor será el predominio del generador síncrono acoplado directamente y, en consecuencia, menor será la proporción de convertidor.

Para calcular este espectro de fluctuación se puede utilizar una FFT, es decir, la llamada Transformación Rápida de Fourier (Fast Fourier Transformation). Preferiblemente, de la curva de frecuencia registrada se resta primero la componente directa, es decir, en particular la frecuencia nominal de red, como por ejemplo 50 Hz o 60 Hz.

Según una forma de realización se propone registrar un espectro de voltaje del voltaje de red mediante una FFT del voltaje de red y estimar la proporción de convertidor en función de este espectro de voltaje. Se propone una evaluación del voltaje de red mediante una Transformada Rápida de Fourier, también conocida como FFT. Dependiendo de este espectro de voltaje se pueden reconocer las propiedades de la red de suministro eléctrico y deducir de ellas una proporción de convertidor.

Preferiblemente, se estima que la proporción de convertidor es menor cuanto mayor sea el valor máximo o la suma de varios valores máximos, o cuanto mayor sea el promedio de varios valores máximos. En principio, en este caso se espera un valor máximo en una frecuencia principal, en particular en la frecuencia de red. Su valor proporciona información sobre la proporción de convertidor en la red y cuanto mayor sea este valor, menor se estima que será la proporción de convertidor. En principio, la evaluación de este espectro de voltaje también se puede realizar del mismo modo que se describió para la función de frecuencia de ocurrencia, que aquí se propone también como forma de realización. En principio, para este espectro de voltaje se puede suponer un desarrollo muy similar al de la función de frecuencia de ocurrencia. Puede ser ventajoso, como se propone aquí, prever un espectro de voltaje de referencia como curva de comparación y realizar evaluaciones comparativas como se describe en relación con la función de frecuencia de ocurrencia.

Sin embargo, el uso de FFT para obtener el espectro de voltaje genera diferencias, al menos en términos prácticos. En particular, registrar una frecuencia de ocurrencia o una densidad de frecuencia de ocurrencia puede significar un filtrado fuerte cuando, por ejemplo, los valores se registran cada segundo o durante períodos de tiempo similares. En

la evaluación mediante FFT se utiliza una gran cantidad de muestras por segundo y no se determina una frecuencia para cada muestra, sino que se muestrea el voltaje y se registra como función de voltaje y luego se evalúa en su totalidad. En particular, puede haber una diferencia que pueda explicarse claramente. En el espectro de voltaje determinado mediante FFT, en lugar de un valor máximo en el centro del espectro, es decir, en la frecuencia principal, en particular en la frecuencia de red, puede aparecer una curva con dos valores máximos, que en esencia son uno a una frecuencia ligeramente más baja y otro a una frecuencia ligeramente más alta que la frecuencia principal. La frecuencia principal se encuentra entre estos dos valores máximos y la frecuencia principal en sí no tiene un valor máximo. Esto se debe a que la frecuencia principal a menudo no se alcanza exactamente o no se mantiene por mucho tiempo, sino que aparecen frecuencias cercanas y al cambiar de una frecuencia ligeramente superior a una ligeramente inferior, esta frecuencia principal sólo se alcanza durante un breve periodo de tiempo. La FFT registra estas sutilezas, que no se registran regularmente cuando se registran valores de frecuencia individuales para determinar una frecuencia de ocurrencia o densidad de frecuencia de ocurrencia como se describe anteriormente. Este efecto, que se produzcan estos dos máximos, puede ser causado por una banda muerta de un control primario. Entonces estos dos máximos aparecen en los dos bordes de la banda muerta, porque ahí es donde tiene lugar la regulación y la frecuencia se fija allí por primera vez.

Por tanto, también se propone como alternativa que en lugar de considerar un valor máximo se considere una suma de varios valores máximos, en particular dos valores máximos, o que se considere un valor promedio de varios valores máximos. Si se divide la suma de varios valores máximos por el número, corresponde a un valor promedio y, en este sentido, esto se basa únicamente en una diferencia de escala. Se sugiere aumentar el valor promedio hasta la suma en lugar de reducir la suma hasta el valor promedio dividiendo por el número. Esto se basa en la idea de que el valor promedio de dos de estos valores máximos, que se encuentran poco antes y poco después de la frecuencia principal, es significativamente menor que un único valor máximo, como se desprende de la función de frecuencia de ocurrencia. Por lo tanto, puede resultar ventajoso utilizar realmente la suma de dos valores máximos, que luego corresponde más estrechamente a un único valor máximo. Pero en última instancia se trata de escalar y la estimación de la proporción de convertidor depende esencialmente de una comparación con un valor de referencia, especialmente con un espectro de voltaje de referencia. Siempre que estos valores tengan la misma escala, el tipo de escala es menos importante.

Para la estimación de la proporción de convertidor se distingue preferentemente entre una proporción de convertidor alta y una proporción de convertidor baja, y se estima una proporción de convertidor alta si se considera que el valor máximo, la suma de varios valores máximos o el valor promedio de varios valores máximos está por debajo de un valor de referencia predeterminado. Este valor de referencia se puede utilizar para hacer una estimación altamente reproducible. Esta estimación también se puede implementar fácilmente en un programa informático o en una unidad de evaluación correspondiente.

Preferiblemente se propone que la potencia alimentada se modifique mediante un control de potencia en función de una desviación de frecuencia y/o en función de un gradiente de frecuencia. Además, el control de potencia depende de la proporción de convertidor estimada.

Esto significa que un control de potencia de este tipo en función de la frecuencia puede adaptarse a la proporción de convertidor y reaccionar adecuadamente a la situación así detectada.

En particular, el control de potencia tiene una ganancia de controlador y/o una constante de tiempo de controlador, y la ganancia de controlador o la constante de tiempo de controlador depende de la proporción de convertidor estimada. Por lo tanto, se propone ajustar el control de potencia descrito en función de la frecuencia a diferentes niveles para reaccionar a la situación específica de la red, es decir, si la proporción de convertidor en la red es alta o baja.

En particular, se propone que la ganancia de controlador se elija para que sea mayor y/o que la constante de tiempo de controlador se elija para que sea menor cuanto mayor sea la proporción de convertidor estimada. Esto se basa en el conocimiento de que, con una gran proporción de convertidor, menos generadores síncronos acoplados directamente alimentan a la red de suministro eléctrico y, por lo tanto, se dispone esencialmente de menos masa de giro o volante para estabilizar la red de suministro eléctrico. Esto se puede compensar reaccionando más rápidamente a cualquier desviación o cambio de frecuencia mediante un control estricto o rápido, es decir, mediante una alta ganancia de controlador.

Alternativamente, también puede cambiar a un controlador de potencia con una ganancia mayor y/o una constante de tiempo menor si se ha estimado una proporción de convertidor alta. Una conmutación de control de este tipo, en lugar de un cambio continuo, puede evitar especialmente que las ganancias de controlador cambien constantemente durante el proceso en curso, lo que en un caso desfavorable puede conducir a una oscilación no deseada.

Según una realización, se propone que un controlador de potencia se seleccione de un conjunto preparado de diferentes controladores de potencia dependiendo de la proporción de convertidor estimada, en donde el conjunto

preparado de diferentes controladores de potencia puede tener diferentes estructuras de controlador y/o diferentes curvas características de frecuencia-potencia.

Con esta solución no sólo es posible reaccionar a diferentes situaciones de la red en términos de amplificación, que resultan de diferentes proporciones de convertidor, sino que también se pueden prever otras regulaciones estructurales. Por ejemplo, con una proporción de convertidor baja, se puede proporcionar una curva de potencia dependiente de la frecuencia con un rango de tiempo muerto, mientras que, con una proporción de convertidor alta, si el objetivo es reaccionar a los cambios lo más rápido posible para compensar una menor proporción de generadores síncronos con una mase de giro o volante de inercia correspondiente, se puede prescindir de dicho intervalo de tiempo muerto o elegirlo más pequeño.

Otro ejemplo de otra estructura de regulación o de control es que con una proporción de convertidor baja se puede prever un regulador P puro para el control de potencia en función de la frecuencia, lo que también permite una desviación de control permanente. Sin embargo, si la proporción de convertidor es mayor, de modo que mediante generadores síncronos acoplados directamente se debilita la realimentación de frecuencia a la frecuencia nominal, puede estar previsto que el dispositivo de alimentación controlado el convertidor presente un controlador, en particular un controlador con componente I, lo que logra una precisión estacionaria para la frecuencia.

Según otra forma de realización se propone que, dependiendo de la proporción de convertidor estimada, se utilice un control de potencia marcado de voltaje o que su proporción, es decir, la parte del control de potencia marcado de voltaje, en el control de la potencia alimentada se ajusta mediante ponderación. Por lo tanto, en el caso de una proporción de convertidor estimada elevada, se propone dar mayor peso a un control de potencia marcado de voltaje, para que esté más integrado. Un control de potencia marcado de voltaje y, por tanto, también una alimentación marcada de voltaje, no sólo alimenta de forma dependiente del voltaje, sino que también implica que el control reaccione inmediatamente a los cambios de voltaje. El control es por tanto más rápido gracias al sistema.

Tal control o alimentación de potencia marcado de voltaje es más rápida, sobre todo en términos de apoyo o estabilización de la red, que una alimentación marcada de corriente y que normalmente sólo reacciona indirectamente a los cambios de voltaje. De este modo, con una proporción de convertidor elevada, es decir, con una proporción baja de generadores síncronos acoplados directamente, se puede volver a compensar el marcado o soporte de voltaje, que ahora se ha debilitado debido a que los generadores síncronos acoplados directamente ya no alimentan, o alimentan menos, mediante este control de potencia o alimentación de potencia marcado de voltaje.

Preferiblemente se propone que, en función de la proporción de convertidor estimada, se utilice un control de potencia con una masa de giro o volante virtual o que su participación en el control de la potencia alimentada se ajuste mediante ponderación.

Esto se basa en el conocimiento de que a medida que disminuyen los generadores síncronos acoplados directamente, también disminuye su influencia de control. Los generadores síncronos acoplados directamente de este tipo tienen un comportamiento especial, fundamentalmente conocido, que generalmente influye en la red de suministro eléctrico y, por lo tanto, para compensar la reducción en generadores síncronos acoplados directamente de este tipo se propone compensar su comportamiento. mediante una regulación o control adecuado. El control de potencia propuesto con volante virtual es, por tanto, un control que emula al menos parcialmente el comportamiento de un generador síncrono acoplado directamente.

Según la invención también se propone un dispositivo de alimentación controlado por un convertidor, en particular una instalación de energía eólica o un parque eólico. Este dispositivo de alimentación controlado por convertidor es para suministrar potencia eléctrica a una red de suministro eléctrico que tiene un voltaje de red con una frecuencia de red con una frecuencia nominal de red.

El dispositivo de alimentación controlado por convertidor según la invención según la reivindicación 15, comprende un medio de alimentación para alimentar una corriente de alimentación como corriente eléctrica alterna con una frecuencia, una fase y un voltaje de alimentación, un dispositivo de control para ajustar al menos una de las variables de la lista que comprende:

- una frecuencia de la corriente de alimentación,
- una fase de la corriente de alimentación,
- una potencia alimentada y
- un voltaje de alimentación,

un dispositivo de estimación configurado para estimar una proporción de convertidor de una sección de red de la red de suministro eléctrico, definiendo la proporción de convertidor una relación entre la potencia alimentada por medio de convertidores y la potencia alimentada total, y
un dispositivo de adaptación para adaptar el control de la alimentación de potencia eléctrica en función de la proporción de convertidor estimada.

Un medio de alimentación de este tipo está configurado especialmente como convertidor o inversor. Un convertidor tiene un voltaje alterno en el lado de entrada, mientras que un inversor tiene un voltaje continuo en el lado de entrada. Sin embargo, en el lado de salida ambas unidades controlan una corriente de alimentación. En este sentido, el dispositivo de alimentación es un alimentador controlado por convertidor, ya que presenta como medio de alimentación un convertidor o inversor. Sin embargo, el dispositivo de alimentación controlado por convertidor puede presentar varios, especialmente muchos, convertidores o inversores de este tipo. Incluso si el dispositivo de alimentación es sólo una instalación de energía eólica, puede tener varios convertidores o inversores. La salida de estos convertidores o inversores se puede conectar, por ejemplo, en paralelo para convertir toda la potencia generada por la instalación de energía eólica en corriente de alimentación.

El dispositivo de control puede estar previsto específicamente para controlar el convertidor o inversor. Preferiblemente, el convertidor o inversor se puede conmutar entre funcionamiento marcado de corriente y marcado de voltaje.

El dispositivo de control puede controlar este convertidor o inversor y determinar con ello la frecuencia, la fase y la amplitud de una corriente a alimentar manteniendo un voltaje de alimentación correspondiente.

En el caso de uso de un parque eólico que tiene una pluralidad de instalaciones de energía eólica y en particular alimente a la red de suministro eléctrico a través de un punto de conexión a la red común, cada instalación de energía eólica puede presentar al menos un medio de alimentación, es decir al menos un convertidor o un inversor, y presentar cada uno de ellos un dispositivo de control. Además, lo que también puede entenderse como parte del dispositivo de control, puede estar previsto un control central de parque para el parque eólico. En particular, cualquier estimación de la proporción de convertidor puede realizarse de forma centralizada por el control central de parque.

Además, está previsto un dispositivo de estimación, que puede formar parte del control central de parque, pero también puede formar parte del dispositivo de control. Este dispositivo de estimación realiza al menos una estimación descrita de una proporción de convertidor.

También está previsto un dispositivo de adaptación que ajusta o adapta el control de la alimentación de potencia eléctrica en función de la proporción de convertidor estimada. Esto puede incluir cambiar parámetros y/o seleccionar entre diferentes funciones de control o entre diferentes características. Por ejemplo, el dispositivo de adaptación puede enviar una señal de selección correspondiente al dispositivo de control o al medio de alimentación. En principio, sin embargo, el dispositivo de adaptación también puede formar parte del medio de alimentación o del dispositivo de control.

En particular, se propone que el dispositivo de alimentación controlado por convertidor esté preparado para llevar a cabo un procedimiento para suministrar potencia eléctrica según al menos una realización descrita anteriormente. Para ello están preparados en particular el dispositivo de control y también o alternativamente el dispositivo de adaptación. Para ello se pueden implementar algoritmos correspondientes en el dispositivo de control y/o en el dispositivo de adaptación. Especialmente en el caso de un parque eólico como dispositivo de alimentación controlado por convertidor se puede prever una implementación en un control central de parque.

La invención se explica a continuación con más detalle mediante ejemplos de realización con ayuda de las figuras adjuntas.

Figura 1 Muestra una instalación de energía eólica en una vista en perspectiva.

Figura 2 Muestra un parque eólico en representación esquemática.

Figura 3 Muestra en representación esquemática un dispositivo de alimentación controlado por convertidor.

Figura 4 Muestra una función de frecuencia de ocurrencia con una función de referencia.

Figura 5 Muestra a modo de ejemplo en un diagrama el espectro de voltaje de un voltaje de red.

Figura 6 Muestra tres diagramas para ilustrar un espectro de fluctuación.

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

La figura 2 muestra un parque eólico 112 con, por ejemplo, tres instalaciones de energía eólica 100, que pueden ser iguales o diferentes. Por lo tanto, las tres instalaciones de energía eólica 100 son representativas de básicamente cualquier número de instalaciones de energía eólica en un parque eólico 112. Las instalaciones de energía eólica 100 suministran su potencia, en particular la corriente generada, a través de una red de parque eléctrico 114. Las corrientes o potencias generadas en cada caso por las instalaciones de energía eólica individuales 100 se suman y normalmente se proporciona un transformador 116, que transforma el voltaje en el parque para luego alimentarla a la red de suministro 120 en el punto de alimentación 118, que también se denomina generalmente PCC. La Fig. 2 es sólo una representación simplificada de un parque eólico 112 que, por ejemplo, no muestra ningún control, aunque por supuesto hay un control. Por ejemplo, la red de parqueo 114 también se puede diseñar de otra manera, en la que, por ejemplo, a la salida de cada instalación de energía eólica 100 se encuentre también un transformador, por citar sólo otro ejemplo de realización.

La figura 3 muestra esquemáticamente un dispositivo de alimentación controlado por convertidor 300 junto con una red de suministro eléctrico 320, en la que el dispositivo de alimentación controlado por convertidor alimenta en un punto de conexión de red 318. El dispositivo de alimentación 300 controlado por convertidor está representado aquí como una instalación de energía eólica, con un rotor 306 y un generador 302. Durante el funcionamiento, el generador 302 genera una corriente alterna eléctrica multifásica, que se rectifica en los medios rectificadores 304 y se alimenta al inversor 308. El inversor 308 genera entonces una corriente alterna trifásica I, estando especificadas también una fase ϕ, la frecuencia f y un voltaje de alimentación U. Esta corriente alterna generada de esta manera se alimenta luego a través del transformador 310 a la red de suministro eléctrico 320 en el punto de conexión a la red 318. De este modo, se puede suministrar potencia eléctrica a la red de suministro eléctrico 320 especificando la corriente alimentada I, el ángulo de fase φ y el voltaje U o teniendo en cuenta el voltaje de red U.

La figura 3 ilustra ahora esquemáticamente detalles de un control de potencia activa. Para este propósito, se indica una estructura de control 312, que básicamente puede ser parte de la instalación de energía eólica indicada, pero que se ha extraído en la figura 3 a modo de ilustración.

En primer lugar, se detecta una frecuencia en la red de suministro eléctrico 320 usando un sensor de medición 314. En particular, el sensor de medición 314, que detecta una frecuencia f, es decir, la frecuencia de red f, debe entenderse aquí como representativo de otros sensores de medición. En particular, también es posible que el sensor de medición 314 registre realmente sólo un voltaje y que este voltaje pueda evaluarse luego en otro lugar para deducir de él la frecuencia. La medición se puede realizar en el punto de conexión a red 318.

Esta frecuencia de red f es necesaria para varios propósitos según la realización mostrada en la figura 3. Por un lado, se introduce en el dispositivo de estimación 316. En el dispositivo de estimación 316 se estima una proporción de convertidor en la red de suministro eléctrico 320 basándose en esta frecuencia de red f introducida. Esto se puede hacer, por ejemplo, como se explicará a continuación en relación con la figura 4.

El resultado de la estimación, es decir, la proporción de convertidor estimada en la red de suministro eléctrico 320, se transmite luego al dispositivo de adaptación 322, que se ilustra con el símbolo %.

El dispositivo de adaptación 322 puede entonces adaptar partes de la estructura de control 312 de acuerdo con la proporción de convertidor estimada.

Por otro lado, la frecuencia de red detectada f se utiliza para el control de potencia en función de la frecuencia. Para ello se realiza una comparación en el elemento sumador 324 con una frecuencia de referencia predeterminada f_0. La desviación de control e forma entonces la entrada del controlador 326 real. Esta estructura de control con la entrada del error de control e también debe entenderse como representativa de otros conceptos de control. Por ejemplo, es posible que la frecuencia de red detectada f se introduzca directamente en un bloque funcional dependiente de la frecuencia en lugar de alimentarse al elemento sumador 324.

El controlador 326 ilustrado en la figura 3 tiene una ganancia de controlador K ajustable en el bloque de ganancia 328 y bloques de función de controlador 330. Se proporcionan varios bloques de función de controlador diferentes 330a, 330b a 330n, entre los cuales se puede cambiar. Para fines de conmutación, se muestra ilustrativamente un interruptor selector 332, que consta de una parte delante y una parte detrás de los bloques de función de controlador 330. Este interruptor selector 332 puede ser controlado por el dispositivo de adaptación 322. Este interruptor selector 332 también puede considerarse representativo de otras implementaciones, concretamente de una implementación en la que es posible conmutar entre diferentes bloques de control y, por tanto, diferentes funciones de control dentro de un ordenador de proceso.

El bloque de ganancia 328 también puede controlarse mediante el dispositivo de adaptación 322. Alternativamente, el bloque de ganancia 328 puede ser parte de los bloques de función de controlador 330. Sin embargo, también es posible que el dispositivo de adaptación 322 cambie un factor de ganancia K, concretamente controlando el bloque de ganancia 328 o de otro modo, y también seleccione entre un bloque de función de controlador de los bloques de función de controlador 330. Esto permite una mayor flexibilidad al ajustar el controlador respectivo. De este modo, el control correspondiente para cambiar el factor de ganancia K o para conmutar entre los bloques de función de controlador 330 se realiza dependiendo de una proporción de convertidor estimada.

Con la configuración de controlador seleccionada, es decir, el factor de ganancia establecido del bloque de ganancia 328 y la función de controlador seleccionada de acuerdo con el bloque de controlador seleccionado de uno de los bloques de control 330, se implementa entonces un control de potencia activa dependiente de la frecuencia. De este modo, el controlador 326 emite una potencia activa P dependiendo de la frecuencia de red detectada, en este caso dependiendo del error de controlador e, y esta potencia activa P se entrega al inversor 308, que a continuación genera la corriente de alimentación I correspondientemente.

La figura 4 muestra un diagrama de una frecuencia de ocurrencia o densidad de frecuencia de ocurrencia, en el que la frecuencia de ocurrencia en porcentaje se traza frente a la frecuencia en hercios. El diagrama muestra qué valores de frecuencia ocurrieron como porcentaje y con qué frecuencia. Para ello se registró una curva de medición de frecuencia de ocurrencia, que aquí también se muestra como curva de referencia o función de referencia 400. La función de referencia 400 mostrada se registró para una red de suministro eléctrico sin proporción de convertidor, es decir, con una proporción de convertidor igual a cero. Además, se muestra una posible función de frecuencia de ocurrencia 402, que corresponde a una función de frecuencia de ocurrencia actual con una alta proporción de convertidor en la red de suministro eléctrico. Tanto la función de referencia 400 como la función de frecuencia de ocurrencia actual 402 se caracterizan por algunos valores de frecuencia, en concreto, y para valores de frecuencia que aumentan, primero la frecuencia inicial 411, luego la frecuencia de referencia inferior 412, seguida por la frecuencia principal 413, seguida luego por la frecuencia de referencia superior 414, y finalmente la frecuencia final 415. En el rango de la frecuencia principal 413, tanto la función de referencia 400 como la función de frecuencia actual 402 tienen cada una un valor máximo de frecuencia de ocurrencia 423 o 423'.

A la frecuencia de referencia inferior 412 y a la frecuencia de referencia superior 414 se pueden asignar respectivamente un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior 422 o un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia superior 424. Ni las frecuencias de referencia inferior y superior 412 o 414, ni el un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior 422 o un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia superior 424 asociados tienen ser los mismos para la función de referencia 400 y la función de frecuencia 402. Dependiendo de la evaluación, los valores de frecuencia o los valores de referencia de frecuencia de ocurrencia entre la función de referencia 400 y la función de frecuencia 402 pueden ser diferentes.

Además de evaluar la amplitud del valor máximo de frecuencia de ocurrencia 423 o 423', entran en consideración otras variantes de evaluación.

Una variante de evaluación sugiere que se tenga en cuenta la anchura 404 de la función de frecuencia de ocurrencia 402. La anchura 404 se considera preferentemente con un valor de frecuencia de ocurrencia fijo; en el presente caso se utiliza para ello el valor de frecuencia de ocurrencia del 5%. El ancho 404 mostrado se ha introducido con fines ilustrativos. También es posible utilizar este valor ejemplar del 5 % como valores de referencia de frecuencia de ocurrencia superior e inferior 422 o 424 y considerar las frecuencias de referencia inferior y superior resultantes 412 o 414 y la diferencia entre ambos valores para determinar la distancia a utilizar ambos valores.

Según otra forma de realización, es posible considerar una desviación hacia arriba de la función de frecuencia de ocurrencia 402 registrada en comparación con la función de referencia 400 en la zona fuera de las dos frecuencias de referencia 412, 414, es decir, para zonas por debajo de la frecuencia de referencia inferior 412 y por encima de la frecuencia de referencia superior 414. Tal aumento en esta zona se indica mediante la flecha de aumento simbólica 406. Para ello se puede considerar, por ejemplo, también un valor de frecuencia correspondiente. Por ejemplo, es posible que para este propósito la frecuencia de referencia superior 414 se establezca en un valor más alto pero predeterminado, y la frecuencia de referencia inferior 412 también se establezca en un valor más bajo, que no se muestra expresamente aquí, pero que puede estar en el área de la línea discontinua.

También es posible considerar una superficie integral 408, es decir, la superficie que se encuentra debajo de la función de frecuencia de ocurrencia registrada 402 y por encima de la función de referencia 400. Básicamente, es por lo tanto la zona por encima de la frecuencia de referencia superior y por debajo de la frecuencia de referencia inferior 414 o 412 cuando estas dos frecuencias de referencia se definen en consecuencia como se muestra en la figura 4 con las flechas sin trazos.

Esta integral o estas dos integrales juntas pueden registrarse como una integral de desviación o un valor integral de desviación y compararse con un valor de referencia o una escala de referencia para estimar una proporción de convertidor en la red.

Otra variante que podría considerarse es registrar una FFT del voltaje de red U. El resultado es un espectro de voltaje, un ejemplo del cual se muestra en la figura 5. El ejemplo de la figura 5 se basa en una red de suministro eléctrico con una frecuencia nominal de 50 Hz, que aquí también es aproximadamente la frecuencia principal.

En particular, en el espectro de voltaje de la figura 5 se puede ver que este está agrupado esencialmente alrededor del valor de 50 Hz. Pero en exactamente 50 Hz, es decir, exactamente en la frecuencia nominal o frecuencia principal, no hay un valor máximo de frecuencia única, sino dos valores máximos locales 109 y 410 que flanquean a la frecuencia nominal o frecuencia principal. Para estimar la proporción de convertidor en la red se pueden evaluar estos dos máximos locales o valores máximos locales y a partir de ellos se puede formar un valor máximo común, por ejemplo, sumando o promediando. Esto luego puede usarse como base para una estimación de la proporción de convertidor.

Otra variante, que también puede combinarse con las descritas hasta ahora, consiste en evaluar un espectro de fluctuación. Con fines ilustrativos, la figura 6 contiene tres diagramas A a C.

El primer diagrama A ilustra una curva de voltaje, por ejemplo, en el punto de conexión a la red 318 según la figura 3. Esta curva de voltaje debe entenderse esquemáticamente y debe simbolizar una curva sinusoidal con frecuencias fluctuantes. Por lo tanto, la curva de voltaje 600 tiene, de manera exagerada, duraciones de período de diferentes longitudes. Por tanto, la curva de voltaje 600 recuerda a un acordeón. En cualquier caso, debe quedar claro que esta curva de voltaje 600 fluctúa en sus curvas sinusoidales a lo largo del tiempo t. El tiempo t se registra en el diagrama A de 0 a 15 segundos. Durante este tiempo, la curva de voltaje 600 alterna entre períodos largos y cortos aproximadamente dos veces y media. Entonces su frecuencia fluctúa hacia adelante y hacia atrás aproximadamente dos veces y media en esos 15 segundos.

Esto se puede representar como una curva de frecuencia a lo largo del tiempo, que se ilustra en el diagrama B. El diagrama B muestra así una curva de frecuencia 602 a lo largo del tiempo. Se supone que sin fluctuaciones de frecuencia se habría establecido una frecuencia fija de 50 Hz. A este respecto, se reitera que el diagrama A es ilustrativo. De hecho, dejando de lado las fluctuaciones, el diagrama A muestra una señal de aproximadamente 1 Hz. Sin embargo, se supone que la señal tiene una frecuencia fundamental de 50 Hz y, a este respecto, el diagrama A con formas aproximadamente sinusoidales sólo pretende simbolizar una señal de 50 Hz.

En cualquier caso, se puede observar en el diagrama B que la curva de frecuencia 602 oscila alrededor de esta frecuencia principal de 50 Hz.

Esta señal oscilante, es decir, esta curva de frecuencia oscilante 602, puede evaluarse ahora como un espectro. Dado que en el diagrama B se examina la frecuencia en función del tiempo, la conversión en un espectro da como resultado una frecuencia en función de una frecuencia.

El diagrama C muestra este espectro de frecuencia asociado. En el diagrama C, la frecuencia en Hz se representa frente a la frecuencia en Hz. El resultado es un valor según la abscisa a 0 Hz y allí la amplitud es de 50 Hz. La oscilación fundamental tiene por tanto una amplitud de 50 Hz y no cambia y por tanto está a 0 Hz. Además, la curva de frecuencia 602 del diagrama B fluctúa alrededor de este valor de 50 Hz. Esta fluctuación es tal que varía de 49 a 51 Hz. Por tanto, la amplitud de la fluctuación es de 1 Hz. También oscila dos veces hacia adelante y hacia atrás en 10 segundos, lo que da como resultado una frecuencia de 0,2 Hz. Esta fluctuación en la curva de frecuencia 602 del diagrama B es por tanto un valor con una amplitud de 1 Hz a una frecuencia de 0,2 Hz en la representación espectral del diagrama C.

En este sentido, este estudio del espectro de fluctuación es también un estudio de baja frecuencia. Sin embargo, el diagrama C de la figura 6 también debe entenderse sólo a modo ilustrativo y, en principio, al examinar de esta manera el espectro de fluctuación no se debe esperar un único valor espectral, sino una pluralidad de valores espectrales. En cualquier caso, se puede sacar una conclusión sobre la proporción de convertidor en la red a partir de los valores espectrales del espectro de frecuencia ilustrado en el diagrama C. En particular, se sugiere que la proporción de convertidor se estime menor cuanto mayores sean las amplitudes de fluctuación. La amplitud de fluctuación de la señal en la figura. 6 es de 1 Hz como se muestra en el diagrama C y su valor es de 0,2 Hz.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para alimentar potencia eléctrica a una red de suministro eléctrico (320) que tiene un voltaje de red (U) con una frecuencia de red (f) con una frecuencia nominal de red, por medio de un dispositivo de alimentación controlado por convertidor (300), en particular mediante un parque eólico (112) o una instalación de energía eólica (100), donde
- los dispositivos de alimentación controlados por convertidor y dispositivos de alimentación no controlados por convertidor alimentan a la red de suministro eléctrico, donde al menos algunos dispositivos de alimentación no controlados por convertidor son generadores sincrónicos acoplados directamente,
- el dispositivo de alimentación para la alimentación de potencia eléctrica alimenta una corriente de alimentación (I) como corriente eléctrica alterna (I) con una frecuencia (f), una fase (ϕ) y con un voltaje de alimentación (U) y se puede ajustar al menos una de las variables de la lista que comprende
- frecuencia (f) de la corriente de alimentación (I),
- fase (ϕ) de la corriente de alimentación (I),
- potencia alimentada y
- voltaje de alimentación (U),

comprendiendo los pasos
- estimar una proporción de convertidor en una sección de red de la red de suministro eléctrico (320), en donde la proporción de convertidor define una relación de potencia alimentada mediante convertidores con respecto a la potencia alimentada total, y
- controlar la alimentación de potencia eléctrica en función de la proporción de convertidor estimada,
- donde, cuando los dispositivos de alimentación controlados por convertidor dominan la alimentación, al menos algunos de los dispositivos de alimentación controlados por convertidor asumen tareas de apoyo a la red de suministro y se controlan en particular de forma derivada del comportamiento de un generador síncrono acoplado directamente.

2. Procedimiento según la reivindicación 1,
caracterizado por que
- se registra un cambio cíclico en la frecuencia de la red (f) en términos de amplitud y/o tiempo de ciclo y
- la proporción de convertidor se estima dependiendo de la amplitud registrada y/o del tiempo de ciclo registrado, donde preferiblemente
- se estima que la proporción de convertidor será mayor cuanto mayor sea la amplitud del cambio cíclico y/o
- se estima que la proporción de convertidor será mayor cuanto más corto sea el tiempo de ciclo, donde en particular
- la proporción de convertidor se estima en función de un cociente entre la amplitud de los cambios y el tiempo de ciclo de los cambios.

3. Procedimiento según la reivindicación 2,
caracterizado por que, como estimación de la proporción de convertidor se distingue entre una proporción de convertidor alta y una baja, y
- se estima una proporción de convertidor alta cuando la amplitud del cambio cíclico es mayor que un límite de amplitud predefinido, y/o
- se estima una proporción de convertidor alta cuando el tiempo de ciclo es más corto que un límite de tiempo de ciclo predefinido.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.
caracterizado por que
- se registra una frecuencia de ocurrencia o una densidad de frecuencia de ocurrencia de la frecuencia (f) o de un gradiente de frecuencia, y
- la proporción de convertidor se estima en función de la frecuencia de ocurrencia o de la densidad de frecuencia de ocurrencia registrada.

5. Procedimiento según la reivindicación 4,
caracterizado por que la frecuencia de ocurrencia o la densidad de frecuencia de ocurrencia forma una función de frecuencia de ocurrencia (402) dependiendo de la frecuencia (f), y esta función de frecuencia de ocurrencia (402)
- tiene un valor máximo de frecuencia de ocurrencia (423, 423') en una región de una frecuencia principal (413), en particular la frecuencia nominal de red,
- aumenta desde una frecuencia inicial predefinida que es menor que la frecuencia principal (413) hasta la región de la frecuencia principal (413),
- cae desde la región de la frecuencia principal (413) hasta una frecuencia final predefinida (415) que es mayor que la frecuencia principal (413),
- tiene un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior (422) a una frecuencia de referencia inferior (412) que es mayor que la frecuencia inicial (411) y menor que la frecuencia principal (413),

- tiene un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia superior (424) a una frecuencia de referencia superior (414) que es mayor que la frecuencia principal (413) y menor que la frecuencia final (415), en donde
la proporción de convertidor se estima dependiendo del valor máximo de frecuencia de ocurrencia (423, 423') y, además, o como alternativa,
la proporción de convertidor
- se estima dependiendo de una distancia entre la frecuencia de referencia inferior y superior (412, 414) que en cada caso se establece en un valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior o superior predefinido (422, 424), donde el valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior y superior (422, 424) puede ser el mismo, y/o
- se estima en función del valor de referencia de frecuencia de ocurrencia inferior y/o superior (422, 424) que en cada caso se establece para una frecuencia de referencia inferior o superior predefinida (412, 414).

6. Procedimiento según la reivindicación 5,
caracterizado por que
- se estima que la proporción de convertidor es mayor cuanto menor sea el valor máximo de frecuencia de ocurrencia (423, 423'), y/o
- se estima que la proporción de convertidor es mayor cuanto mayor sea la distancia entre la frecuencia de referencia superior e inferior (414, 412), o
- se estima que la proporción de convertidor es mayor cuanto mayor sea el valor de referencia de frecuencia de ocurrencia superior o inferior (424, 422) respectivamente.

7. Procedimiento según la reivindicación 5 o 6,
caracterizado por que, como estimación de la proporción de convertidor se distingue entre una proporción de convertidor alta y una baja, y
- se estima una proporción de convertidor alta cuando el valor máximo de frecuencia de ocurrencia (423, 423') se encuentra por debajo de un valor límite de frecuencia de ocurrencia predefinido, y/o
- se estima una proporción de convertidor alta cuando la distancia entre la frecuencia de referencia superior e inferior (414, 412) es mayor que una distancia de referencia predefinida, o
- se estima una proporción de convertidor alta cuando el valor de referencia de frecuencia superior y/o inferior (424, 422) se encuentra por encima de un valor límite de base predefinido.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que, para la frecuencia de ocurrencia o la densidad de frecuencia de ocurrencia está predefinida una función de referencia (400) y la proporción de convertidor se estima en función de una desviación de la función de frecuencia de ocurrencia (402) de esta función de referencia (400), en particular
- por que como función de referencia (400) se selecciona una función de frecuencia de ocurrencia (402) para una proporción de convertidor de cero, y/o
- por que como una función de diferencia se forma una diferencia entre la función de frecuencia de ocurrencia (402) y la función de referencia (400) y
- la función de diferencia para regiones de frecuencia por debajo de la frecuencia de referencia inferior (412) y por encima de la frecuencia de referencia superior (414) está integrada para formar una integral de desviación, y/o por que
- sólo las regiones positivas de la función diferencia se integran para formar una integral de desviación
- la proporción de convertidor se estima en función de la integral de desviación.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que la proporción de convertidor se estima en función de una desviación de la frecuencia principal (413) respecto de la frecuencia nominal de red, en particular de modo que se estima que la proporción de convertidor es mayor cuanto más se encuentre la frecuencia principal (413) por encima de la frecuencia nominal de red.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.
caracterizado por que
- se registra un espectro de fluctuación, donde el espectro de fluctuación representa fluctuaciones de la frecuencia (f) en el tiempo (t) como espectro de frecuencia de una frecuencia (f), en particular de la frecuencia de red (f), y
- la proporción de convertidor se estima en función del espectro de fluctuación.

11. El procedimiento según la reivindicación 10,
caracterizado por que
- la proporción de convertidor se estima en función de al menos una amplitud de fluctuación de una frecuencia de fluctuación del espectro de fluctuación, en donde en particular
- la frecuencia de fluctuación se encuentra en un rango de 0,1 Hz a 0,5 Hz, donde preferiblemente
- se estima que la proporción de convertidor es menor cuanto mayor sea la amplitud de la fluctuación.

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.
caracterizado por que mediante una FFT del voltaje de red (U) se registra un espectro de voltaje del voltaje de red (U) y en función del espectro de voltaje se estima la proporción de convertidor, en particular
por que se estima que la proporción de convertidor es menor cuanto mayor sea un valor máximo (409, 410) o una suma de una pluralidad de valores máximos o un promedio de una pluralidad de valores máximos, en particular por que
- como estimación de la proporción de convertidor se distingue entre una proporción de convertidor alta y una baja, y
- se estima una proporción de convertidor alta cuando el valor máximo (409, 410), la suma de varios valores máximos o el valor promedio de varios valores máximos se encuentran por debajo de un valor de referencia predefinido.

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que la potencia alimentada se modifica mediante un control de potencia en función de una desviación de frecuencia y/o de un gradiente de frecuencia, y el control de potencia depende de la proporción de convertidor estimada, en particular por que
- el control de potencia comprende una ganancia de controlador (K) y/o una constante de tiempo de controlador, y la ganancia de controlador (K) o la constante de tiempo de controlador depende de la proporción de convertidor estimada, en particular por que
- la ganancia de controlador (K) se selecciona para que sea mayor, o la constante de tiempo de controlador se selecciona para que sea menor, cuanto mayor sea la proporción de convertidor estimada, o
- por que entonces, si se ha estimado una proporción de convertidor alta, se conmuta a un controlador de potencia con mayor ganancia y/o una constante de tiempo de controlador menor que si se ha estimado una proporción de convertidor baja.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.
caracterizado por que se selecciona un controlador de potencia de un número preparado de diferentes controladores de potencia dependiendo de la proporción de convertidor estimada, en donde el número preparado de diferentes controladores de potencia tiene diferentes estructuras de controlador y/o diferentes curvas características de frecuencia-potencia y/o
por que en función de la proporción de convertidor estimada se utiliza un control de potencia marcado de voltaje, o su componente en el control de la potencia alimentada se ajusta mediante una ponderación, y/o
por que se utiliza un control de potencia con una masa de giro virtual en función de la proporción de convertidor estimada o su componente en el control de la potencia alimentada se ajusta mediante una ponderación.

15. Dispositivo de alimentación controlado por convertidor (300), en particular una instalación de energía eólica (100) o un parque eólico (112), para alimentar potencia eléctrica a una red de suministro eléctrico (320) que tiene un voltaje de red (U) con una frecuencia de red (f) con una frecuencia nominal de red,
- donde la red de suministro eléctrico está configurada para ser alimentada mediante dispositivos de alimentación controlados por convertidor y dispositivos de alimentación no controlados por convertidor, donde al menos algunos dispositivos de alimentación no controlados por convertidor son generadores síncronos acoplados directamente,
que comprende
- un medio de alimentación configurado para alimenta una corriente de alimentación (I) como corriente eléctrica alterna (I) con una frecuencia (f), una fase (ϕ) y un voltaje de alimentación (U),
- un dispositivo de control configurado para ajustar al menos una de las variables de la lista que comprende
  - una frecuencia (f) de la corriente de alimentación (I),
  - una fase ϕ de la corriente de alimentación (I),
  - una potencia alimentada y
  - un voltaje de alimentación (U),
- un dispositivo de estimación (316) configurado para estimar una proporción de convertidor en una sección de red de la red de suministro eléctrico (320), donde la proporción de convertidor define una relación entre la potencia alimentada mediante convertidores y la potencia alimentada total, y
- un dispositivo de adaptación (322) configurado para adaptar el control de la alimentación de potencia eléctrica en función de la proporción de convertidor estimada,
- donde el dispositivo de control está configurado para controlar de tal manera que, cuando los dispositivos de alimentación controlados por convertidor dominan la alimentación, al menos algunos de los dispositivos de alimentación controlados por convertidor asumen tareas de apoyo a la red de suministro y, en particular, se controlan de una manera derivada del comportamiento de un generador síncrono acoplado directamente, y en particular
por que el dispositivo de alimentación controlado por convertidor está configurado para, en particular, por que el dispositivo de control y/o el dispositivo de adaptación (322) están dispuestos de manera que se pueda ejecutar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 14.

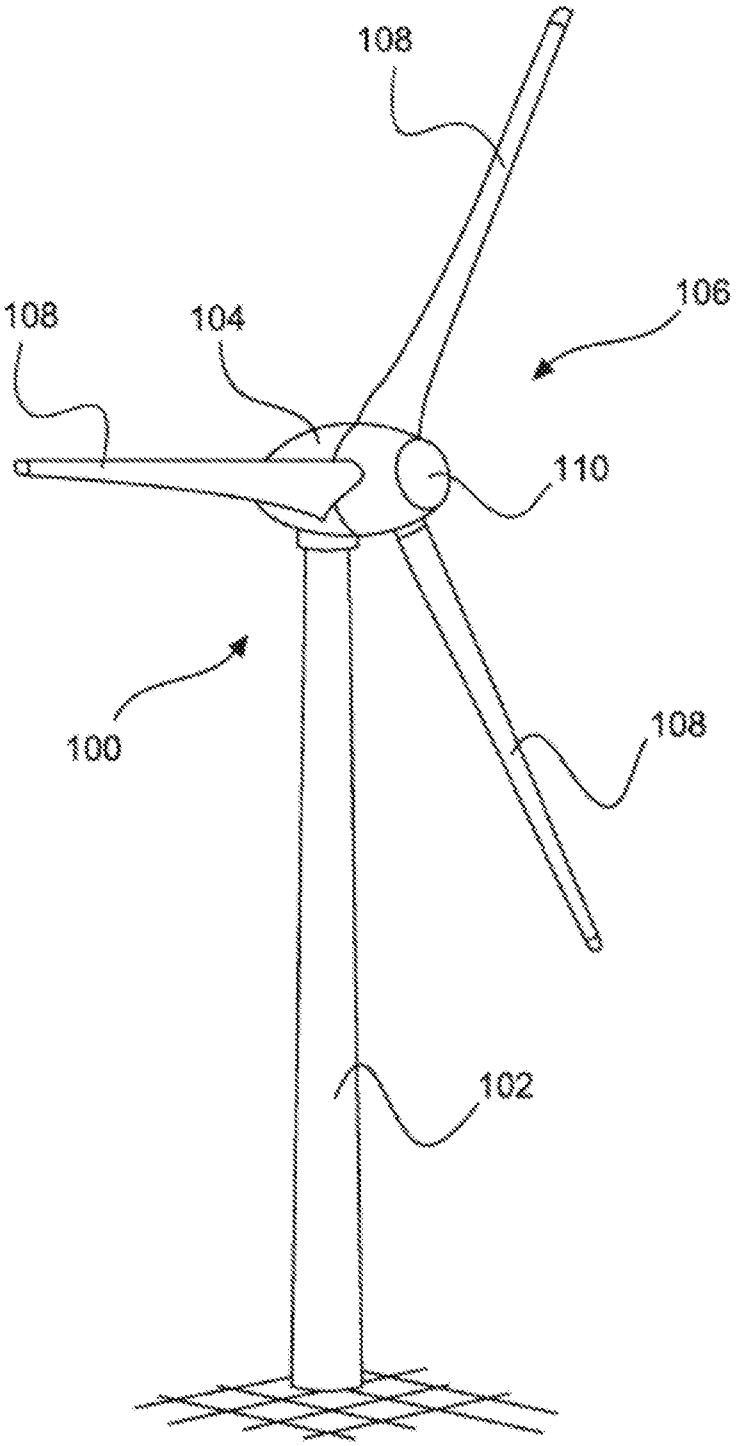

Fig. 1

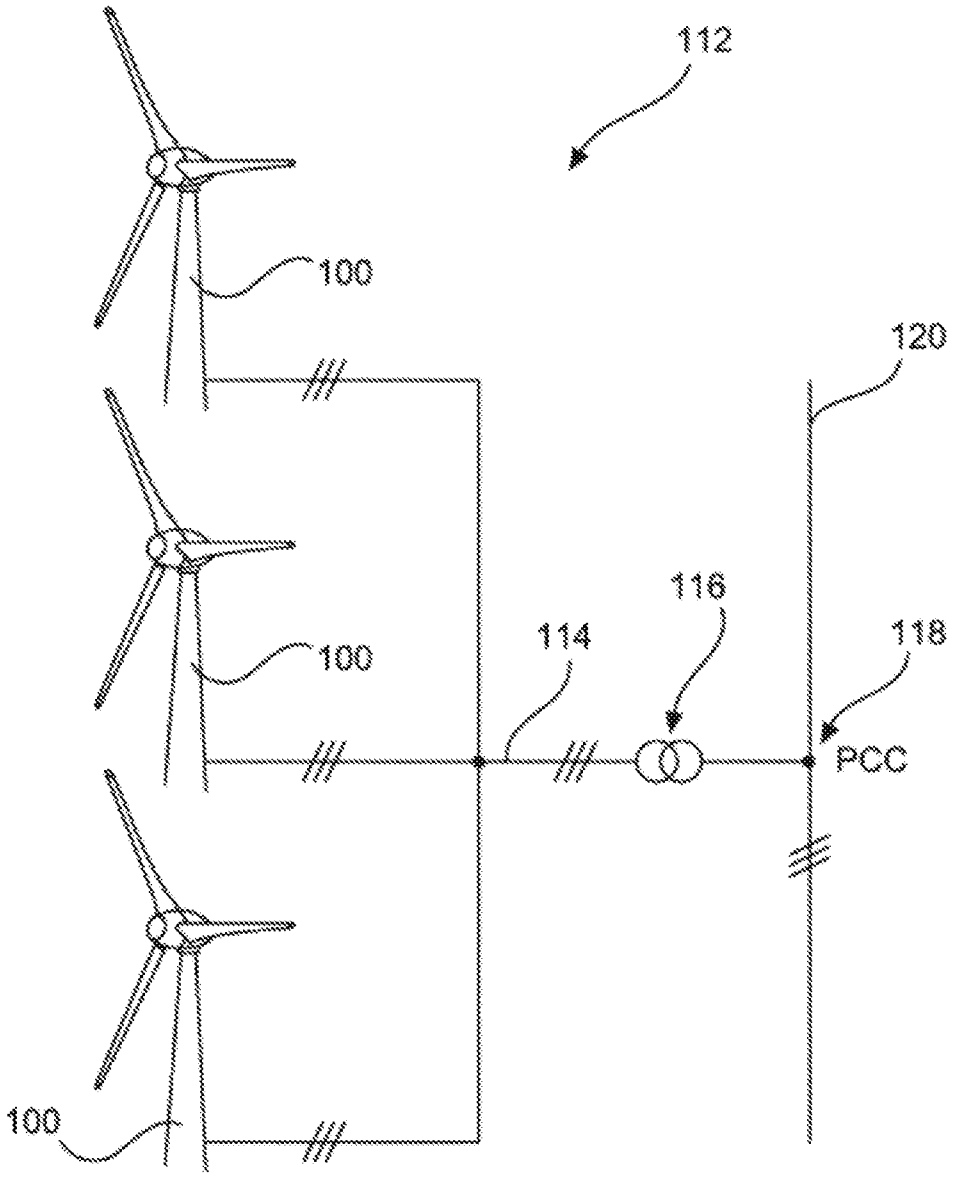

Fig. 2

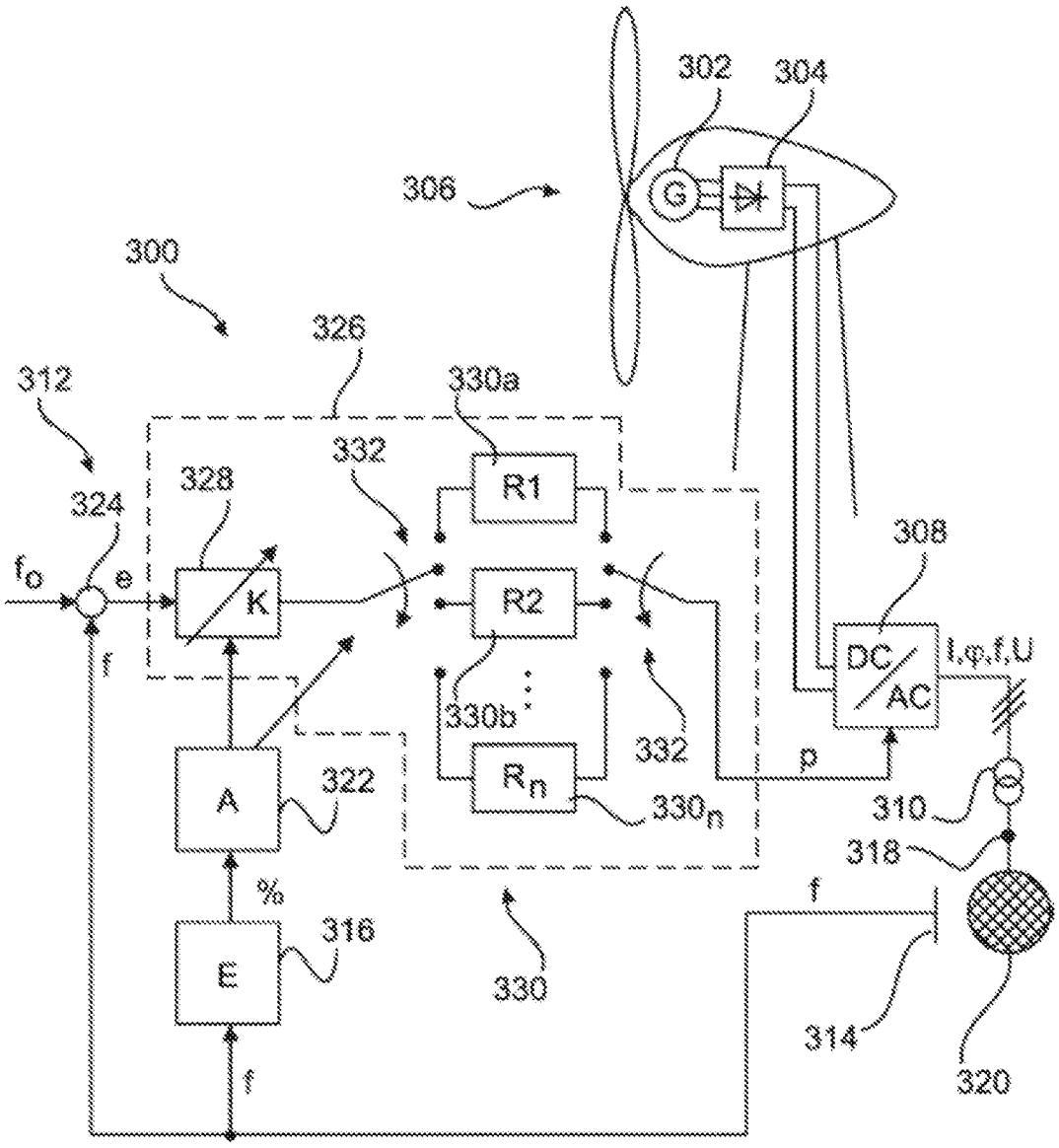
302
304
306
G
300
326
312
330a
332
328
R1
324
308
f_o
e
K
R2
DC
AC
I,φ,f,U
f
330b
332
p
A
322
R_n
330_n
310
318
%
f
316
E
330
314
320
f

Fig. 3

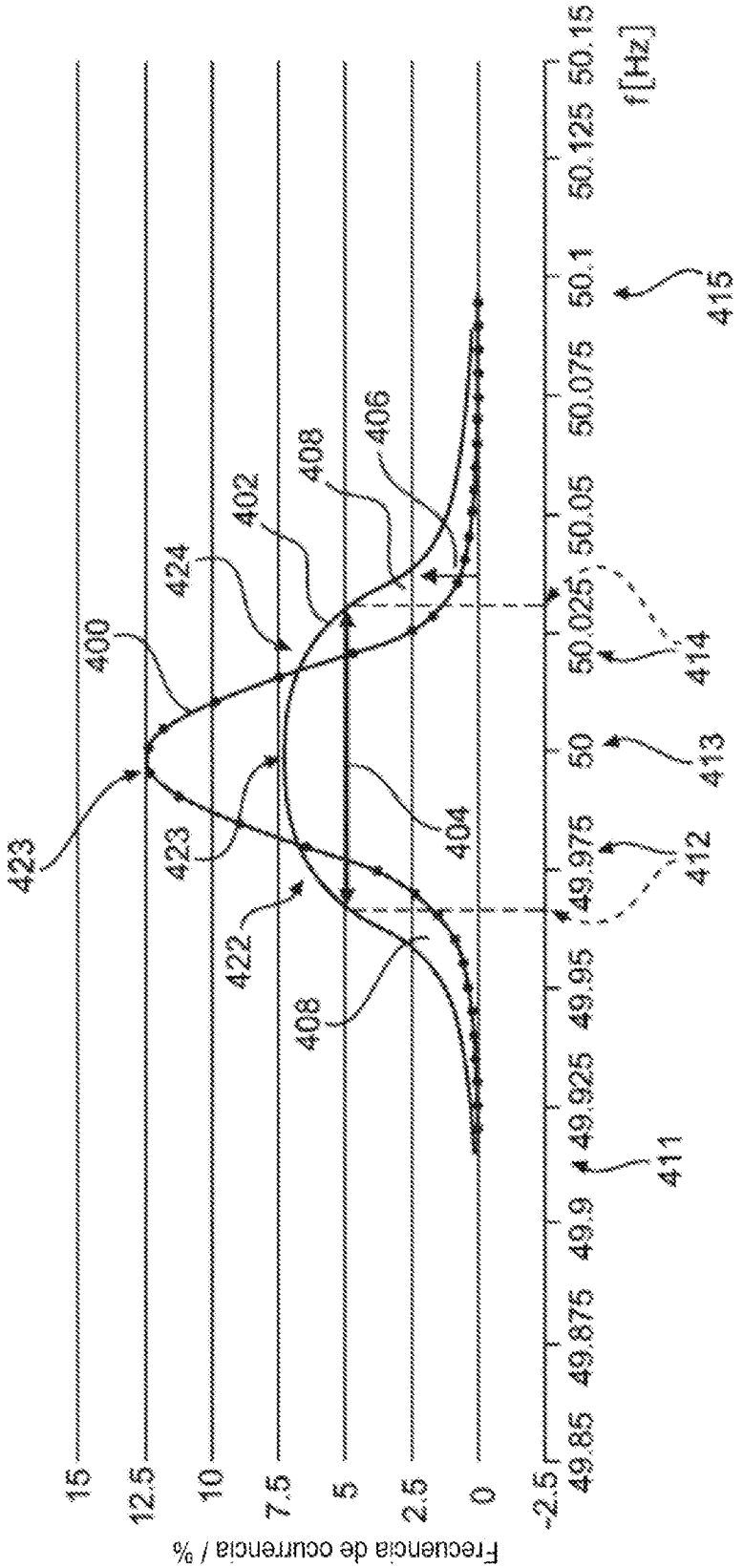
Frecuencia de ocurrencia / %
15
12.5
10
7.5
5
2.5
0
-2.5
49.85
49.875
49.9
49.925
49.95
49.975
50
50.025
50.05
50.075
50.1
50.125
50.15
f [Hz]
400
402
404
406
408
408
411
412
413
414
415
422
423
423
424

Fig. 4

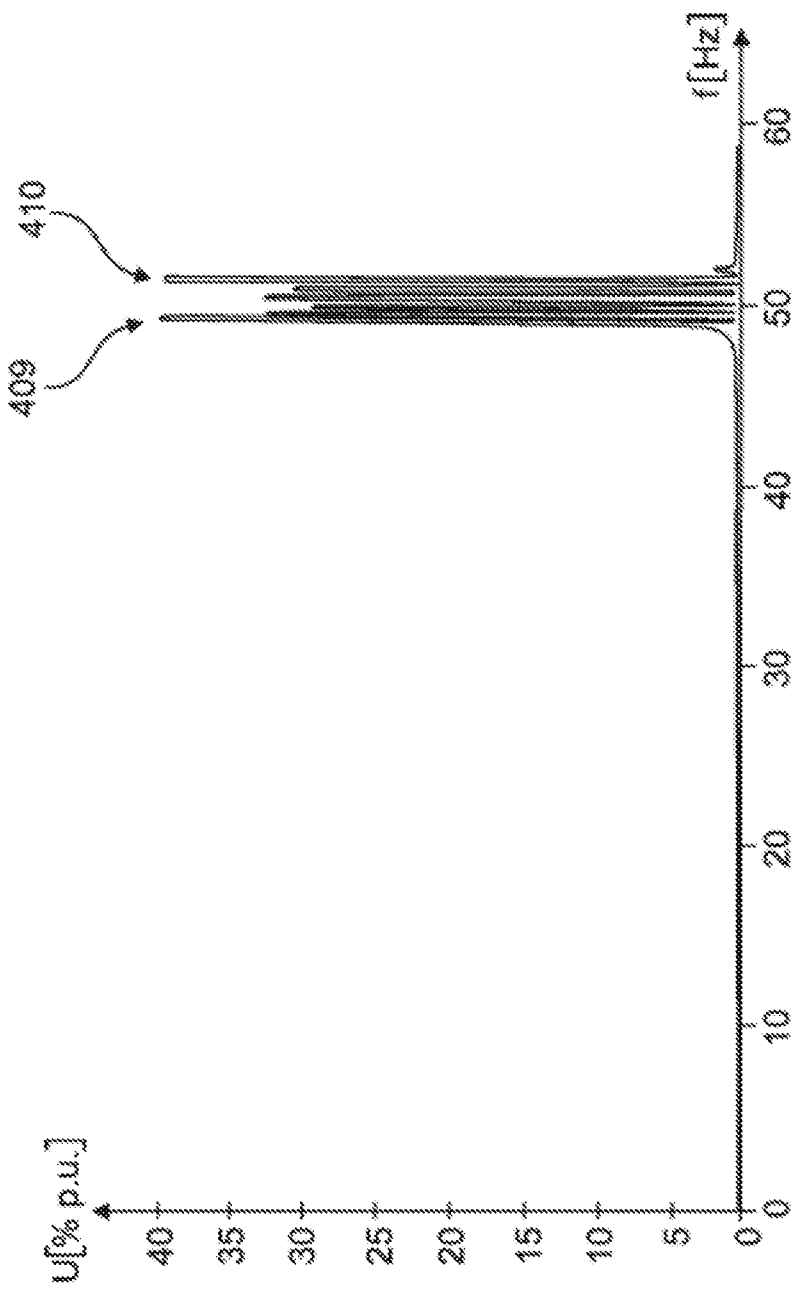

Fig. 5

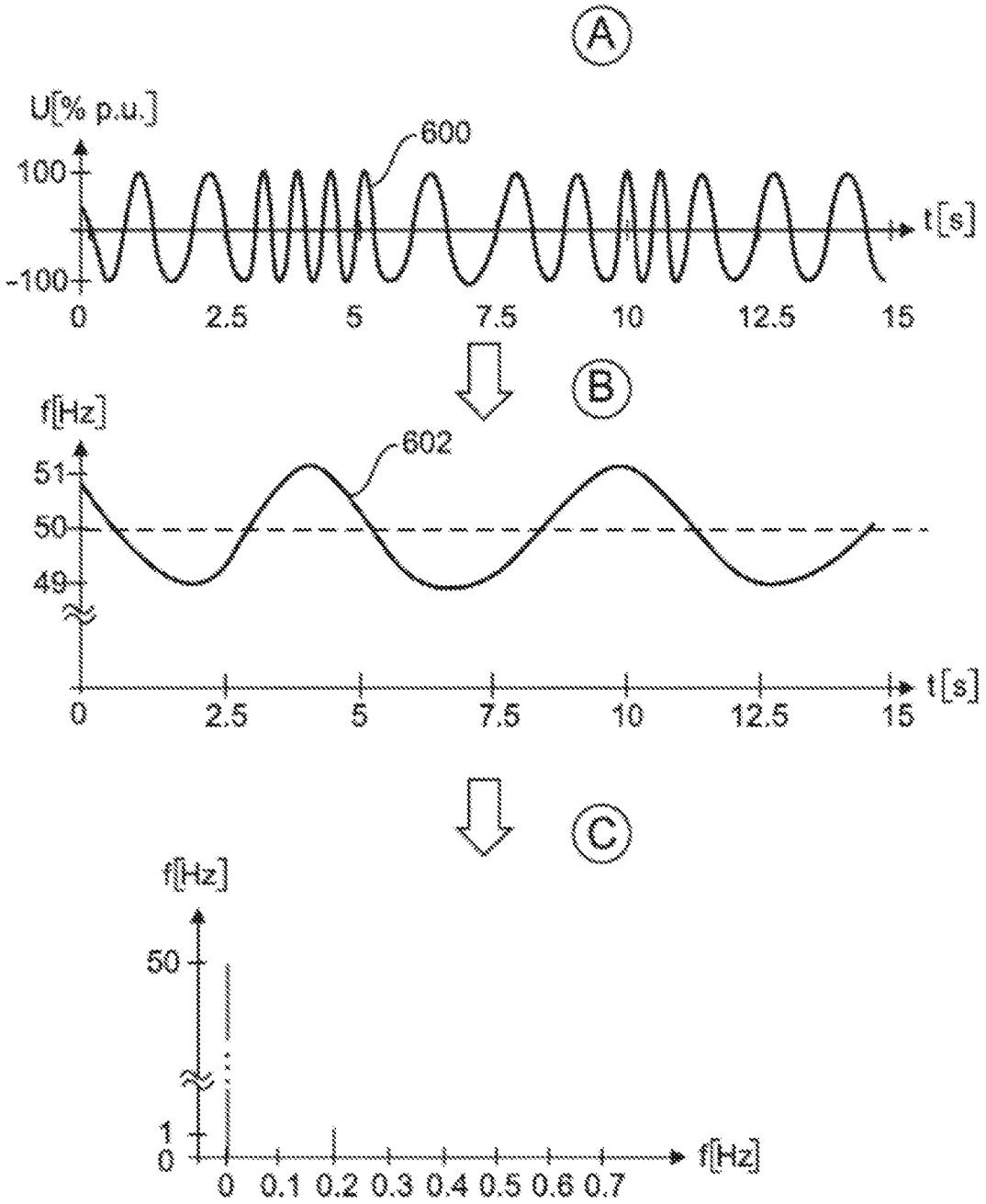
A
U[% p.u.]
600
100
-100
t[s]
0
2.5
5
7.5
10
12.5
15
B
f[Hz]
602
51
50
49
t[s]
C
f[Hz]
50
1
0
f[Hz]
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7

Fig. 6