

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 774 281**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/26** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.10.2012 PCT/EP2012/070089**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.04.2013 WO13057028**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2012 E 12784480 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019 EP 2769448**

54 Título: **Procedimiento para la alimentación de corriente eléctrica en una red eléctrica**

30 Prioridad:  
**20.10.2011 DE 102011084910**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.07.2020**

73 Titular/es:  
**WOBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)  
Borsigstrasse 26  
26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:  
**DIEDRICHS, VOLKER y  
BEEKMANN, ALFRED**

74 Agente/Representante:  
**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

ES 2 774 281 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la alimentación de corriente eléctrica en una red eléctrica

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para la alimentación de corriente eléctrica en una red eléctrica trifásica. Además, la presente invención se refiere a una instalación de energía eólica, que está preparada para la alimentación de corriente eléctrica en una red trifásica.

Se conocen en general procedimientos y dispositivos para la alimentación de corriente eléctrica en una red eléctrica trifásica, como por ejemplo la red interconectada europea o una parte de ella. Las grandes centrales eléctricas usan para ello un generador síncrono, que está conectado directamente con la red eléctrica. El generador síncrono se hace funcionar para ello con una velocidad de giro correspondiente, que está adaptada exactamente a la frecuencia de la red eléctrica. Según la forma constructiva del generador síncrono, la velocidad de giro es p. ej. de 1500 revoluciones por minuto en el caso de un generador síncrono de cuatro polos, que está conectado con una red con una frecuencia de 50 Hz. Si aparecen perturbaciones en la red, como por ejemplo una carga asimétrica de la red con la que por ejemplo una de las tres fases de red se carga más fuertemente, esto tiene una repercusión inmediata en la corriente proporcionada por el generador síncrono. El comportamiento condicionado físicamente del generador síncrono puede contribuir en este caso al menos parcialmente de nuevo a una simetrización de la red. Pero en principio debido al rígido acoplamiento con la red no se puede influir en el modo y manera de una contribución semejante del generador.

20 En los años 90 las instalaciones de energía eólica se han conectado esencialmente de forma pasiva con la red, en el sentido de que alimentaban tanta energía en la red como fuese posible respectivamente actualmente debido a las condiciones del viento imperantes. Al final de los años 90 se ha conocido por primera vez que las instalaciones de energía eólica también pueden contribuir al soporte eléctrico de la red. Así, por ejemplo, la solicitud de patente alemana DE 100 22 974 A1 describe un procedimiento en el que las instalaciones de energía eólica pueden modificar, en particular estrangular su alimentación de potencia en función de la frecuencia de red. El documento DE 101 19 624 A1 propone que en el caso de una perturbación de red, concretamente en particular en el caso de un cortocircuito, una instalación de energía eólica limite la corriente que alimenta, en lugar de separarse de la red, a fin de conseguir también con ello un soporte de la red. Por el documento WO 02/086315 A1 se describe un procedimiento para el soporte de red por parte de una instalación de energía eólica, que en función de la tensión de red ajusta un ángulo de fase de la corriente alimentada y por consiguiente en función de la tensión alimenta potencia reactiva en la red a fin de soportar de este modo la red. El documento DE 197 56 777 A1 se refiere igualmente a un procedimiento para el soporte de red mediante una instalación de energía eólica, en el que la instalación de energía eólica reduce eventualmente la potencia a alimentar a la red en función de la tensión de red, a fin de evitar de este modo en particular una separación de la red, para conseguir también de este modo un soporte de la red por parte de la instalación de energía eólica.

Las instalaciones de energía eólica ganan importancia de forma creciente. También ganan importancia de forma creciente con respecto a un soporte de red. Pero las medidas arriba descritas para el soporte de red – que se pueden designar como etapas pioneras – se pueden mejorar a este respecto en tanto que también se tienen en cuenta las asimetrías de red.

A este respecto, la consideración de las asimetrías de red presenta algunos problemas. En primer lugar es problemático detectar las asimetrías de red de forma rápida y exacta. Además, en el caso de una detección de asimetrías se presenta el problema de compensarlas de forma dirigida, lo que no es posible o sólo de forma condicionada con un generador síncrono fuertemente acoplado. Los mismos problemas aparecen en sistemas que no usan un generador síncrono, sino que imitan uno tal según el comportamiento.

Como el estado de la técnica se remite todavía en general al documento WO 2010/0285689 A1, que se refiere a una instalación de energía eólica con máquina asíncrona de doble alimentación. El documento DE 10 2007 005 165 A1 también se refiere a un procedimiento para la alimentación de corriente con un generador asíncrono de doble alimentación, en el que para la modificación de una perturbación se alimenta al menos una fracción de un valor de una componente del sistema de secuencia negativa en la red eléctrica.

55 Un procedimiento genérico se conoce además por el documento siguiente: SONG XIAN-WEN ET AL: "Dual reference frame scheme for distributed generation grid-connected invertir under unbalanced grid voltaje conditions", POWER ELECTRONICS SPECIALISTS CONFERENCE, 2008, PESC 2008. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 15 de junio de 2008 (2008-06-15), páginas 4552-4555, XP031300669, ISBN: 978-1-4244-1667-7.

60 La presente invención tiene por consiguiente el objetivo de resolver o reducir al menos uno de los problemas arriba

mencionados. En particular se debe crear una solución, en la que se debe alimentar en la red de forma dirigida asimétricamente, a fin de remediar las asimetrías presentes en la red. Al menos se debe crear una solución alternativa.

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

5 Correspondientemente se propone un procedimiento para la alimentación de corriente eléctrica en una red eléctrica trifásica con una primera, segunda y tercera fase con una primera, segunda y tercera tensión con una frecuencia de red. El procedimiento parte por consiguiente de un sistema trifásico con una frecuencia, concretamente la frecuencia de red, en el que cada fase presenta una tensión propia, que se puede diferenciar de las tensiones de otras fases. El  
10 procedimiento también tiene en cuenta por consiguiente en particular un sistema trifásico asimétrico.

Según una etapa la primera, segunda y tercera tensión se miden y las tensiones se transforman en un sistema de secuencia positiva de tensión y un sistema de secuencia negativa de tensión según el método de las componentes simétricas. El sistema de tensión trifásico se puede describir por consiguiente pese a ello teniendo en cuenta las  
15 asimetrías de manera sencilla y general. Se parte de que sólo tres líneas, que se designan habitualmente como L1, L2 y L3, conducen la corriente y por consiguiente no está presente un sistema de secuencia cero o no se necesita para la descripción, sino que es suficiente una descripción mediante el sistema de secuencia positiva de tensión y sistema de secuencia negativa de tensión.

20 Además se realiza un cálculo de una primera, segunda y tercera corriente de consigna para la alimentación de la primera, segunda o tercera fase de la red. Se indica que la previsión y alimentación de una primera, segunda y tercera corriente semejante – las tres corrientes se pueden designar también conjuntamente como corriente trifásica – se diferencia básica y esencialmente de la generación de una corriente trifásica para la excitación de un equipo como un motor eléctrico. Así en el caso de la alimentación de una corriente en una red eléctrica falta habitualmente una reacción  
25 directa y en particular determinística a la alimentación, como sería el caso en el caso de un consumidor bien conocido. La corriente eléctrica también reacciona a la corriente alimentada respectivamente, sin embargo, una reacción semejante no es comparable con la de un consumidor presente directamente e identificable claramente, como por ejemplo un motor eléctrico.

30 El cálculo de la primera, segunda y tercera corriente de consigna se realiza en función de al menos un valor del sistema de secuencia positiva de tensión y/o del sistema de secuencia negativa de tensión. Por consiguiente se propone en primer lugar tener en cuenta las asimetrías de la red durante la alimentación en la red trifásica y calcular correspondientemente las tres corrientes a alimentar. Para la consideración de las asimetrías de red se propone por consiguiente el cálculo de las corrientes de consigna en función del sistema de secuencia positiva de tensión o del  
35 sistema de secuencia negativa de tensión. De este modo se puede reaccionar de forma dirigida a las asimetrías correspondientes en la red.

En oposición a las grandes centrales eléctricas convencionales, que efectúan la alimentación de red a través de un generador síncrono acoplado en estrella con la red, ahora se propone un cálculo dirigido de las corrientes de consigna  
40 en función de la asimetría o teniendo en cuenta la misma.

Así se tienen en cuenta asimetrías eventuales de la tensión de red, lo que tiene consecuencias en el cálculo de la corriente a alimentar. El sistema de secuencia positiva y/o sistema de secuencia negativa de la tensión de red repercute por consiguiente sobre las corrientes a alimentar.

45 Según la invención se propone que mediante un convertidor de frecuencia se generen y alimenten corrientes eléctricas conforme a la primera, segunda y tercera corriente de consigna para la alimentación en la red de tensión trifásica. Por consiguiente en principio se realiza directamente una generación de las corrientes mediante el convertidor, según se puede efectuar esto, por ejemplo, mediante una modulación por ancho de pulsos. Para ello la energía a alimentar se  
50 puede proporcionar en un circuito intermedio de tensión continua, desde el que se realiza la modulación por ancho de pulsos, a fin de generar respectivamente una corriente oscilante, en particular sinusoidal, a partir de la señal de tensión continua del circuito intermedio de tensión continua.

La energía eléctrica se proporciona para ello, en particular para el circuito intermedio de tensión continua mencionado  
55 a modo de ejemplo, mediante una instalación de energía eólica, que convierte la energía de tensión alterna generada mediante un rectificador en energía con una tensión continua. De este modo se debe posibilitar en particular usar instalaciones de energía eólica o parques eólicos con varias instalaciones de energía eólica para la estabilización de la red y en particular para la estabilización de una red asimétrica. Al menos se alimenta preferentemente la energía eléctrica de las instalaciones de energía eólica en la red, de modo que no se amplifica una asimetría presente eventual,  
60 es decir, no se empeora el estado de red.

Según una forma de realización, el procedimiento se caracteriza porque para el cálculo de las corrientes de consigna se toma por base un ángulo de fase de cálculo y el ángulo de fase de cálculo se determina en función de una detección de un fallo de red, en particular usando un filtro de determinación o bloque de filtros. A este respecto, el ángulo de fase de cálculo se determina a partir de un ángulo de fase detectado de una de las tensiones de red, cuando no se ha detectado ningún fallo de red. En otro caso, cuando se ha detectado o se puede suponer un fallo de red, se propone que el ángulo de fase de cálculo se determine de otra manera, en particular a partir de un ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión y/o que el ángulo de fase de cálculo se determine usando una frecuencia de red predeterminada.

10 Por tanto, la determinación o el cálculo de las corrientes de consigna no toma por base directamente un ángulo de fase detectado durante la medición de la tensión trifásica, sino que se calcula un ángulo de fase especial, que se toma por base en el cálculo de las corrientes de consigna y que se designa por tanto como ángulo de fase de cálculo. El ángulo de fase de cálculo se debería destacar por ejemplo por una elevada exactitud y/o bajo ruido. El ángulo de fase de cálculo se puede determinar, por ejemplo, a través de un filtro de determinación o bloque de filtros. Este filtro de determinación o bloque de filtros puede estar configurado, por ejemplo, como observador de estado. Un cálculo del ángulo de fase se puede realizar, por ejemplo, según está descrito en la publicación para información de solicitud de patente DE 10 2009 031 017 A1 en relación con la fig. 4 de allí. En particular la determinación se puede realizar así según está descrita allí la determinación del ángulo de fase  $\varphi_1$  a partir del ángulo de fase detectado  $\varphi_N$ .

20 El ángulo de fase de cálculo se determina preferentemente a partir de un ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión, cuando se ha detectado un fallo de red. Aquí se conmuta en particular a esta otra fuente para la determinación, lo que puede estar realizado como solución de software. Para ello se propone el uso del ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión. Al menos al comienzo de un fallo de red incipiente puede ser posible que el ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión proporcione un valor fiable o al menos un valor suficientemente fiable para el ángulo de fase. Con frecuencia un fallo de red también va acompañado con problemas de la medición de tensión. Esto puede estar fundamentado, por ejemplo, en que la tensión no se puede medir o difícilmente o parcialmente no se puede medir o difícilmente. Otro problema puede consistir en que una medición o detección de la tensión del sistema trifásico parte de las condiciones que ya no están presentes posiblemente en el caso de fallo de red.

Alternativa o adicionalmente se propone usar una frecuencia de red predeterminada en el caso de un fallo de red para el cálculo del ángulo de fase de cálculo. En el caso más sencillo se predetermina de forma constante una frecuencia fija, como por ejemplo la frecuencia nominal, es decir, p. ej. exactamente 50 Hz o exactamente 60 Hz y el ángulo de fase se determina a partir de ello, en el caso más sencillo a través de una integración. Preferentemente se combina el uso de una frecuencia predeterminada con el uso de un ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión. Una combinación semejante se puede realizar de modo que la determinación del sistema de secuencia positiva de tensión y a este respecto también del sistema de secuencia negativa de tensión mismo usa una frecuencia predeterminada, en donde correspondientemente también se determina el ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión y por consiguiente se determina usando la frecuencia predeterminada.

Más preferiblemente se propone que para el cálculo de las corrientes de consigna, en particular cuando se detecta un fallo de red, se referencie al sistema de secuencia positiva de tensión, en particular al ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión. Un aspecto importante durante la alimentación de corriente eléctrica en una red de tensión alterna, en particular en una red de tensión alterna trifásica, es el ángulo de fase con el que se alimenta en la red. La especificación de un ángulo de fase de la corriente de consigna trifásica o de un ángulo de fase para cada corriente de consigna presupone un conocimiento lo más exacto posible del ángulo de fase de red o es deseable un conocimiento lo más exacto posible. Por ello es problemático en la alimentación de la corriente trifásica un conocimiento inexacto del ángulo de fase de red, que puede aparecer, por ejemplo, luego cuando está presente un fallo de red. Asimismo – eventualmente con el problema adicional de una medición inexacta – es problemática una red asimétrica ya que se pueden producir ya problemas en el establecimiento de un ángulo de fase apropiado para un caso asimétrico semejante.

Mediante la referenciación al ángulo de fase de la componente del sistema de secuencia positiva de tensión se propone aquí una solución que dirija estos problemas. Por la determinación de la componente del sistema de secuencia positiva, que contiene la determinación del ángulo de fase de la componente del sistema de secuencia positiva, se produce un valor proporcionalmente estable. La referenciación de la determinación de las corrientes de consigna a ello, es decir, la toma por base del ángulo de fase del sistema de secuencia positiva o de un ángulo de fase calculado de él de la tensión, posibilita por consiguiente una especificación de corriente de consigna apropiada también para condiciones no ideales en la red trifásica.

En particular cuando están presentes condiciones ideales en la red trifásica, se puede conmutar al uso del ángulo de fase detectado de una de las tensiones de red y a la inversa. Una conmutación semejante se realiza preferentemente en el lado de entrada a un filtro, en particular en el lado de entrada del filtro de determinación o bloque de filtros.

- 5 Mediante el uso de un filtro de determinación o bloque de filtros se puede filtrar igualmente el salto de conmutación. Si, por ejemplo, se determina así un ángulo de fase de cálculo a partir del ángulo de fase detectado de una tensión de red o un ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión, según está descrito esto en la fig. 4 de la publicación para información de solicitud de patente DE 10 2009 031 017 A1, el filtro de determinación o bloque de filtros presenta un comportamiento de transmisión de segundo orden. Un pulso de conmutación o salto de conmutación
- 10 en la entrada de un filtro de determinación semejante tiene repercusiones correspondientemente bajas en la salida del filtro de determinación o bloque de filtros y por consiguiente sólo se producen problemas pequeños o despreciable en el uso posterior para la referenciación en el cálculo de las corrientes de consigna.

- En el procedimiento según la invención se propone además que la transformación de la primera, segunda y tercera
- 15 tensión en un sistema de secuencia positiva de tensión y un sistema de secuencia negativa de tensión comprende una transformación de la primera, segunda y tercera tensión mediante una transformada de Fourier discreta (DFT), en donde la transformada de Fourier discreta se realiza sólo durante la mitad de una duración del período, y en particular también online. La transformada de Fourier discreta determina a partir de los valores de tensión medidos de las tres
- 20 fases valores de tensión complejos para las tres fases, es decir, para cada una de las tres tensiones de fase una tensión según amplitud y fase. Para poder tener en cuenta también condiciones no ideales de la red trifásica, en ocasiones puede ser importante o incluso tener una importancia decisiva una detección muy rápida de la situación de red, en particular, una detección rápida de modificaciones de las tensiones en la red para una alimentación de corriente adaptada. Al usar la componente del sistema de secuencia positiva y componente del sistema de secuencia negativa,
- 25 también se debería reproducir en esta componente tan rápido como sea posible una modificación determinante del estado de red. Correspondientemente la transformada de Fourier discreta también debería trabajar lo más rápido posible.

- Habitualmente una transformada de Fourier y por consiguiente también una transformada de Fourier discreta parte de
- 30 al menos una duración de periodo completa. Esta se toma por base y también es esencial para una realización concreta de una transformada de Fourier. Pero ahora se ha reconocido que la toma por base de la mitad de una duración de período puede ser suficiente. Correspondientemente la transformada de Fourier, concretamente la transformada de Fourier discreta, se ha adaptado a ello.

- 35 Preferentemente la transformación se realiza online, concretamente, en el sentido de que en cada punto de medición se registran los valores de las tres tensiones y entran en la transformada de Fourier discreta, que igualmente se realiza en cada instante de medición. Por consiguiente los valores de medición registrados también repercuten inmediatamente en el resultado de la transformada de Fourier discreta. Los respectivos valores de medición medidos actualmente entran como nuevos valores y los restantes valores ya medidos anteriormente de la semionda actual
- 40 entran igualmente. Una modificación de la situación en la red tendrá por consiguiente primeras repercusiones con el primer valor de medición, después de la medición de la mitad de una duración de periodo habrán repercutido completamente en el resultado de la transformada de Fourier discreta.

- Bajo una transformada de Fourier discreta para la mitad de una duración de período se debe entender que en el
- 45 sentido de un valor deslizante se registran respectivamente los valores de medición actuales hasta los valores de medición anteriores en la mitad de una duración de período y entran en la transformada de Fourier discreta.

- Por consiguiente se puede partir por la mitad la duración, tras la que los nuevos valores de medición repercuten completamente en el resultado de la transformada de Fourier discreta, respecto a una transformada de Fourier discreta
- 50 convencional sobre una longitud de período completa. Correspondientemente la transformada de Fourier discreta conducirá el doble de rápido a un resultado o se pueden partir por la mitad los tiempos de reconocimiento eventuales.

- Según una forma de realización se propone un procedimiento que está caracterizado porque la transformación de la primera, segunda y tercera tensión en un sistema de secuencia positiva de tensión y un sistema de secuencia negativa
- 55 de tensión usa en lugar de una medición de la frecuencia de red actual una frecuencia predeterminada. Una frecuencia predeterminada puede ser, por ejemplo, una frecuencia nominal de la red, es decir, en particular 50 Hz en el caso de la red interconectada europea o por ejemplo 60 Hz en los EE.UU. Pero la frecuencia predeterminada se puede establecer de otra forma, como otro valor fijo o también mediante una instrucción de cálculo o la frecuencia de red usada se saca de un modelo.

60

Esta forma de realización se basa en la idea de que mediante la especificación de una frecuencia de red se influye en la transformación, en particular se puede mejorar, en particular en el sentido de una estabilización de la transformación. Una forma de proceder semejante se puede usar precisamente luego cuando está presente un fallo de red y la frecuencia de red real se puede medir con dificultad, de forma inexacta o incluso no se puede medir.

5

Preferentemente como frecuencia de red predeterminada se puede usar el valor de la frecuencia de red de un instante de medición anterior. En este caso la transformación se orienta al último valor medible en particular de forma fiable de la frecuencia de red real.

- 10 Una configuración preferida propone que el procedimiento esté caracterizado porque las corrientes de consigna se predeterminan según el método de las componentes simétricas a través de un sistema de secuencia positiva de corriente y un sistema de secuencia negativa de corriente. En particular, en este caso se tiene en cuenta el sistema de secuencia positiva mediante una componente de corriente del sistema de secuencia positiva compleja según el valor y la fase y el sistema de secuencia negativa mediante una componente de corriente del sistema de secuencia
- 15 negativa según el valor y la fase.

El método de las componentes simétricas se conoce como el método para la detección de un sistema trifásico asimétrico existente, es decir, en principio como procedimiento de medición. Aquí se propone ahora predeterminar las corrientes en base a una descomposición según el método de las componentes simétricas. Esta especificación se

20 puede realizar en particular de modo que se predeterminan dos corrientes complejas, concretamente, la componente de corriente del sistema de secuencia positiva y la componente de corriente del sistema de secuencia negativa. En base a ello se predeterminan entonces las tres corrientes de consigna individuales respectivamente según el valor y la fase.

- 25 Según una forma de realización, el cálculo del primer, segundo y tercer valor de consigna de corriente se realiza en función de un valor de un sistema de secuencia positiva de tensión y/o sistema de secuencia negativa de tensión de la tensión de red trifásica presente, en donde la especificación concreta de la corriente trifásica a generar sigue a la especificación de las componentes de corriente del sistema de secuencia positiva y las componentes de corriente del sistema de secuencia negativa. En este caso sirven de base dos modos de proceder o etapas completamente
- 30 diferentes.

En la primera etapa se parte del estado real de un sistema trifásico, y concretamente del sistema de tensión trifásico y este estado real se reproduce con ayuda del método de las componentes simétricas.

- 35 En la segunda etapa se refiere a las corrientes de consigna, en donde se procede de forma completamente diferente, en tanto que se realiza una especificación en el área de imagen. En particular a través de la componente del sistema de secuencia positiva y componente del sistema de secuencia negativa se predetermina un grado de asimetría deseado. Asimismo en este área de imagen, es decir, el área de representación se puede predeterminar el ángulo de fase mediante el uso de la componente del sistema de secuencia positiva y negativa. Partiendo de ello se determinan
- 40 entonces las corrientes de consigna reales, es decir, las corrientes de consigna en el rango de tiempo, y finalmente se aplican correspondientemente.

Preferentemente las corrientes de consigna se predeterminan a través de un sistema de secuencia positiva y negativa. Al aplicar estas corrientes de consigna como corrientes de consigna individuales en el rango de tiempo, estas se

45 referencian preferentemente a un ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión, es decir, del sistema de secuencia positiva que está asociada al estado real de las tensiones en la red trifásica.

- Preferentemente las corrientes de consigna se calculan en función del sistema de secuencia positiva de corriente o la componente de corriente del sistema de secuencia positiva y al suponer un fallo de red se calculan adicionalmente en
- 50 función del sistema de secuencia negativa de corriente o la componente de corriente del sistema de secuencia negativa. Por consiguiente se puede predeterminar en particular una corriente de consigna trifásica a través de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva y del sistema de secuencia negativa, mientras que en función de la situación de red se usan las dos componentes, concretamente en el caso de un fallo de red, o sólo se usa la componente del sistema de secuencia positiva cuando no se debe partir de un fallo de red. De este modo se
- 55 puede realizar una consideración de los problemas de la red, como por ejemplo fallos de red y/o asimetrías de red.

- A este respecto, en particular en presencia de una red simétrica sin fallos se propone un método eficiente para la alimentación, que tiene en cuenta sólo la componente de corriente del sistema de secuencia positiva con respecto a las corrientes de consigna, la cual reproduce en principio la red simétrica. Si la red es completamente simétrica en
- 60 sentido matemático, la componente de corriente negativa resulta nula y correspondientemente la componente de

corriente negativa será pequeña cuando se pueda partir de pequeñas asimetrías. Por consiguiente se propone prescindir de la consideración de la componente de corriente negativa en casos apropiados. Por completitud se indica que el término de componente de corriente negativa designa la componente de corriente del sistema de secuencia negativa y el término componente de corriente positiva la componente de corriente del sistema de secuencia positiva.

5 La red se puede designar como red de tensión, a fin de poner de relieve que la red trabaja en base a la tensión.

Según una forma de realización preferida, el procedimiento está caracterizado porque el sistema de secuencia positiva de corriente o la componente de corriente del sistema de secuencia positiva y el sistema de secuencia negativa de corriente o la componente de corriente del sistema de secuencia negativa se determina en función de una especificación de una fracción de potencia reactiva del sistema de secuencia positiva, una especificación de una fracción de potencia reactiva del sistema de secuencia positiva y/o una especificación de un cociente del valor de la componente de corriente del sistema de secuencia negativa en relación al valor de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva.

10 De este modo se puede predeterminar de modo y manera sencillos una fracción de potencia activa y una fracción de potencia reactiva. Preferentemente se usa la componente de corriente negativa para contrarrestar una asimetría de la red eléctrica trifásica. Independientemente de ello se puede predeterminar una fracción de potencia activa y reactiva de la corriente a alimentar a través de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva. Esto es ventajoso y razonable en particular luego cuando la alimentación de las corrientes de consigna se referencia al ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión. Así se puede lograr alimentar esencialmente una fracción de corriente simétrica adaptada a la fracción de tensión simétrica y tener en cuenta simultáneamente las asimetrías tanto en la detección como también en la alimentación.

15 La especificación de un grado de asimetría o una magnitud característica de un grado de asimetría se puede realizar de manera sencilla en la especificación de la corriente de consigna trifásica a través de la componente del sistema de secuencia positiva y negativa, cuando se fija su cociente, concretamente el cociente de la componente del sistema de secuencia negativa respecto a la componente del sistema de secuencia positiva. Alternativamente también se puede predeterminar en lugar de un valor fijo un límite superior para un grado de asimetría.

20 Preferentemente la componente de corriente del sistema de secuencia negativa se ajusta y/o varía independientemente de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva. Así, por ejemplo, a través de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva se puede predeterminar en primer lugar la potencia a alimentar esencialmente, en particular potencia activa según la amplitud. Correspondientemente se predetermina de este modo – expresado de forma simplificada – la corriente total en la primera aproximación en su amplitud. En la especificación de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva compleja, a través del ángulo de fase también se realiza una división de la potencia activa y reactiva o fracción de potencia activa y reactiva, según se ha descrito arriba.

25 A través de la componente de corriente negativa se puede predeterminar en primer lugar por ello una asimetría. En particular una componente de asimetría se puede predeterminar de forma dirigida, en particular según la calidad y cantidad, para la compensación al menos parcial de una asimetría en las redes de tensión eléctricas. Correspondientemente el uso de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva y la componente de corriente del sistema de secuencia negativa procura un elevado grado de libertad en la especificación de la corriente trifásica a alimentar. La magnitud de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva también se ajustará en particular esencialmente por la potencia a disposición de la instalación de energía eólica y a este respecto en función de las condiciones de viento imperantes.

30 Preferentemente el procedimiento se realiza online. En particular se realizan online preferentemente todas las etapas del procedimiento. De este modo se puede reaccionar tan rápido como sea posible a las modificaciones de red eventuales y adaptarse correspondientemente la alimentación de la corriente eléctrica. En particular, las formas de realización descritas están preparadas para una realización online semejante, como es el caso en particular para la transformación del sistema de tensión trifásico detectado en la componente de tensión del sistema de secuencia positiva y negativa. En particular, la transformada de Fourier discreta descrita, adaptada al uso sólo de la mitad de una duración de período posibilita una realización online semejante del procedimiento para la detección y alimentación de la corriente eléctrica.

35 Según la invención se propone además una instalación de energía eólica, que usa un procedimiento para la alimentación de corriente eléctrica en una red de tensión eléctrica trifásica al menos de una de las formas de realización descritas.

60

Según la invención se propone además un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica semejantes. Un parque eólico semejante puede adoptar órdenes de magnitud con las modernas instalaciones de energía eólica actuales, que posibiliten una influencia significativa en la red eléctrica, en particular soporte de la red eléctrica y también mejora de la calidad de la corriente en la red eléctrica.

5

A este respecto, bajo un parque eólico se debe entender una acumulación de varias instalaciones de energía eólica, que interactúan entre sí, en particular usan uno o varios puntos de alimentación comunes para la alimentación de la corriente eléctrica en la red eléctrica.

10 A continuación, la invención se explica a modo de ejemplo mediante ejemplos de realización en referencia a las figuras adjuntas.

La fig. 1 muestra una instalación de energía eólica.

15 La fig. 2 muestra un diagrama de resumen para la explicación de una forma de realización del procedimiento según la invención.

La fig. 3 muestra un bloque de cálculo de la fig. 2 en detalle.

20 La fig. 1 muestra una instalación de energía eólica, que implementa entre otros un procedimiento según la invención y presenta para ello al menos un convertidor de frecuencia con excitación correspondiente, a fin de alimentar con ello en la red eléctrica trifásica.

La estructura de una forma de realización de la invención según la fig. 2 parte de una red trifásica 10, en la que un convertidor 12 alimenta a través de una bobina de salida 14 y a través de un transformador 16. El transformador 16 presenta un lado primario 18 y un lado secundario 20. A través del lado secundario 20 está conectado el transformador con la red trifásica 10, y el lado primario 18 está conectado a través de la bobina de salida 14 con el convertidor 12.

El convertidor 12 se alimenta a través de un circuito intermedio de tensión continua 22 con una corriente continua o una tensión continua, preferentemente el circuito intermedio de tensión continua 22 se alimenta por una instalación de energía eólica o un generador de una instalación de energía eólica, en el que la corriente eléctrica generada por el generador se rectifica mediante un rectificador y se alimenta a este circuito intermedio de tensión continua 22.

El convertidor 12 genera por consiguiente a partir de la corriente continua o tensión continua del circuito intermedio de tensión continua 22 una corriente alterna trifásica, que presenta tres corrientes individuales  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ . La corriente alterna trifásica o las tres corrientes individuales se generan mediante una modulación por ancho de pulsos. Los pulsos necesarios para ello se predeterminan mediante un control de banda de tolerancia según el bloque de banda de tolerancia 24 correspondiente. El bloque de banda de tolerancia 24 recibe para ello las tres corrientes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  a controlar como valores de consigna.

40

El cálculo de los tiempos de conmutación en base a los valores de consigna de corriente mediante el bloque de banda de tolerancia 24 se realiza en principio de modo y manera conocidos según un procedimiento de banda de tolerancia. Por tanto – expresado de forma simplificada – se desencadena un tratamiento de conmutación de un interruptor de semiconductores correspondiente para la generación o finalización de un pulso, cuando un valor real de corriente sale de una banda de tolerancia, es decir, sobrepasa el valor de consigna correspondiente en más de un valor de tolerancia o queda por debajo en más de este u otro valor de tolerancia. Básicamente también se pueden usar otros procedimientos en lugar de este procedimiento de banda de tolerancia.

45

Un aspecto esencial de la presente invención es la determinación de estos valores de consigna  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  y/o el desarrollo de las tres corrientes de consigna. A este respecto, el desarrollo de las corrientes de consigna también se puede entender o valorar en relación con el comportamiento de red.

50

Para alimentar en la red de forma adaptada a las necesidades está previsto el filtro de medición 26, que mide las tensiones de las tres fases de la red y para ello presenta respectivamente una resistencia de medición 28 y una capacidad de medición 30, es decir, un condensador. Estos elementos están previstos para cada fase, y según la fig. 2 la medición de las tensiones se realiza en el lado primario 18 del transformador 16. Alternativamente se puede medir en el lado secundario 20 del transformador 16 o también en otros lugares en la red 10. Para la realización de mediciones de una red trifásica también se remite a la solicitud de patente alemana DE 10 2009 031 017 A1, que allí en la fig. 3 da a conocer un filtro de medición, que se corresponde con el filtro de medición 26 de esta fig. 2.

55

60

Las tensiones medidas  $u_{L1}(t)$ ,  $u_{L2}(t)$  y  $u_{L3}(t)$  se introducen en el bloque de transformación 32, que calcula una transformación en un instante de los valores de tensión medidos en coordenadas polares en una magnitud de valor complejo con el valor y la fase, concretamente la tensión de red  $U_N$  como valor y el ángulo  $\phi_N$  como fase. El ángulo de fase se refiere a la primera tensión. El cálculo se puede realizar como sigue, en donde  $u_1$ ,  $u_2$  y  $u_3$  representan respectivamente el valor de tensión instantáneo de las tensiones  $u_{L1}(t)$ ,  $u_{L2}(t)$  y  $u_{L3}(t)$ :

$$\bar{u} = \left[ u_1 + u_2 \exp\left(j \frac{2}{3} \pi\right) + u_3 \exp\left(j \frac{4}{3} \pi\right) \right]$$

$$U_N = \sqrt{\frac{2}{3} \sqrt{(\text{real}(\bar{u}))^2 + (\text{imag}(\bar{u}))^2}}$$

$$\phi_M = \arctan(\text{imag}(\bar{u}) / \text{real}(\bar{u}))$$

Estas ecuaciones y otras explicaciones de ello se pueden deducir por lo demás de la publicación para información de solicitud de patente alemana ya mencionada DE 10 2009 031 017 A1.

La tensión de red  $U_N$  así determinada y el ángulo de fase  $\phi_N$  así determinado se introducen en el bloque observador de estado 34, que se puede designar también como bloque SO1. La entrada del bloque observador de estado 34 para el ángulo de fase presenta todavía un interruptor de estado 36, que se puede modificar en función del caso de fallo eventual en la red, de modo que en lugar del ángulo de fase de red  $\phi_N$  se puede introducir como salida del bloque de transformación 32 otro ángulo de fase en el bloque observador de estado 34, lo que se explicará todavía a continuación.

El bloque observador de estado 34 emite como magnitud de estado observada la magnitud de estimación  $U$  como valor efectivo estimado de la tensión de red y el ángulo de fase estimado  $\phi$  como magnitud de estimación del ángulo de fase de red.

Una realización posible del bloque de transformación 32 junto con el bloque observador de estado 34 también se puede deducir de la publicación para información de solicitud de patente alemana DE 10 2009 031 017 A1 ya mencionada. Para ello se remite a la fig. 4 junto a la descripción correspondiente. El bloque de transformación 32 puede estar realizado, por ejemplo, como el bloque n.º 6 de la fig. 4 de dicha publicación para información de solicitud de patente. El bloque observador de estado 34 se puede realizar, por ejemplo, como el bloque F1 con los bloques 10 y 12.

El ángulo de fase estimado  $\phi$  se introduce directamente en el bloque de decisión 38. El bloque de decisión 38 calcula los valores de consigna para las corrientes trifásicas  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  e  $i_3(t)$ . Estas corrientes de consigna forman la entrada para el bloque de banda de tolerancia 24 y por consiguiente la base para la modulación que se realiza en el convertidor 12. El ángulo de fase estimado  $\phi$  es para ello una magnitud base importante, ya que una alimentación de corrientes alternas en una red de corriente alterna corriente sólo es posible con conocimiento del ángulo de fase instantáneo en la red. Sin embargo, el bloque de decisión 38 tiene en cuenta al menos indirectamente otras informaciones, concretamente, la tensión de red estimada  $U$ , eventuales valores de especificaciones de potencia activa y/o reactiva a alimentar, así como la información de si está presente o podría estar presente un fallo de red – relevante. Estas informaciones llegan en último término a través de un bloque de control PQ 40 al bloque de decisión 38. El bloque de decisión 38 realiza un cálculo o determinación de las corrientes de consigna  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  e  $i_3(t)$ , en donde el cálculo tomado por base depende de si se ha reconocido o no un fallo de red. Por este motivo también se ha seleccionado el término de bloque de decisión para este bloque 38. Los cálculos internos del bloque de decisión 38 se exponen todavía a continuación. Otras informaciones respecto al bloque de control PQ todavía se dan igualmente a continuación.

El bloque de decisión 38 usa – lo que todavía se expone a continuación en detalle – una descomposición en un sistema de secuencia positiva y un sistema de secuencia negativa. Correspondientemente la corriente del sistema de secuencia positiva o la componente de corriente del sistema de secuencia positiva  $I^+$  y la corriente del sistema de secuencia negativa o componente de corriente del sistema de secuencia negativa  $I^-$  constituye respectivamente una

magnitud de entrada del bloque de decisión 38. El bloque de decisión 38 se basa – en cualquier caso cuando no está presente un fallo de red – en el sistema de secuencia positiva, que está caracterizado en general en esta solicitud mediante un signo más en superíndice, mientras que la componente del sistema de secuencia negativa está caracterizada por el signo menos en superíndice, en otras palabras el sistema de la fig. 2, en particular el cálculo en el bloque de decisión 38 está referenciado al componente del sistema de secuencia positiva.

Una descomposición de las tensiones medidas  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  y  $U_3(t)$  en un sistema de secuencia positiva o sistema de secuencia negativa se realiza en el bloque de cálculo 42, que usa para ello una frecuencia predeterminada  $f_{set}$ . Esta frecuencia puede ser en el caso más sencillo la frecuencia de red adoptada, es decir, por ejemplo 50 Hz en la red interconectada europea o 60 Hz en la red americana. Pero también se pueden seleccionar otros valores, eventualmente también valores variables.

El bloque de decisión 38 contiene como señales de entrada además al menos todavía el ángulo de fase  $\varphi_{U_{fset}}$  del sistema de secuencia negativa según la transformación de la tensión trifásica en el bloque de cálculo 42. Además, el bloque de decisión 38 contiene como entrada una bandera como indicador de si se parte de un fallo de red o no. Los cálculos, realizados en el bloque de decisión 38, de las tres corrientes  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  y  $i_3(t)$  se realizan en función del valor de la bandera.

Si la bandera es 0, entonces no está presente ningún caso de fallo, las tres corrientes se calculan como sigue:

$$\begin{aligned} i_1(t) &= \sqrt{2}I^+ \cos(\varphi + \varphi_{I^+}) \\ i_2(t) &= \sqrt{2}I^+ \cos(\varphi + \varphi_{I^+} + \frac{2}{3}\pi) \\ i_3(t) &= \sqrt{2}I^+ \cos(\varphi + \varphi_{I^+} + \frac{4}{3}\pi) \end{aligned}$$

El valor instantáneo correspondiente de la corriente de consigna correspondiente se basa por consiguiente en el valor de la corriente de consigna del sistema de secuencia positiva  $I^+$ , el ángulo de fase de red estimado  $\varphi$  y el ángulo de fase de la corriente de consigna del sistema de secuencia positiva  $\varphi_{I^+}$ . El ángulo de fase de red estimado  $\varphi$  indica a este respecto el respectivo ángulo de fase actual absoluto de la tensión de red, referido a la primera fase. El ángulo de fase de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva  $\varphi_{I^+}$  indica el ángulo de fase de la corriente del sistema de secuencia positiva en referencia al ángulo de fase  $\varphi$  de la tensión de red.

Cuando la bandera adopta el valor 1 (bandera = 1) se parte de un fallo de red. A tales fallos de red o perturbaciones de red semejantes pertenece:

- la pérdida de la estabilidad de ángulo,
- la aparición de una formación de red en isla,
- la aparición de un cortocircuito trifásico, y
- la aparición de un cortocircuito bifásico.

Otras realizaciones del tipo de perturbaciones de red semejantes también se encuentran en la publicación para información de solicitud de patente DE 10 2009 031 017 A1 ya mencionada. La aparición de tales fallos de red también puede conducir en particular a que los estados de red detectados, en particular el ángulo de fase  $\varphi$  y el nivel de tensión  $U$  se han detectado erróneamente y/o son poco apropiados o inapropiados para la orientación para las corrientes a alimentar. El cálculo en el bloque de decisión 38 para el caso de que se parte de un fallo de red se basa por consiguiente – hablando en general – más intensamente en magnitudes determinadas en el bloque de cálculo 42, y por consiguiente más intensamente en la frecuencia predeterminada  $f_{set}$ . Esto sólo debe servir para la explicación general y se indica en este sentido por precaución que los cálculos del bloque de cálculo 42 a través de la determinación de la componente de corriente positiva  $I^+$  y la componente de corriente negativa  $I^-$  entran en el bloque de decisión 38 y en este sentido son relevantes también para el cálculo en el bloque de decisión 38 sin suposición de

un fallo de red.

Al suponer un fallo de red (bandera = 1) se propone el cálculo o determinación de las corrientes de consigna  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  y  $i_3(t)$  en las siguientes tres etapas. Las etapas de cálculo subsiguientes – y también el cálculo arriba mencionado en el caso sin fallo de red – se realiza en cualquier instante en el que para las tres corrientes de consigna  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  y  $i_3(t)$  se transmite respectivamente un valor instantáneo al bloque de tolerancia 24.

En la primera etapa para el sistema de secuencia positiva y el sistema de secuencia negativa se calcula respectivamente componente de coseno  $I^{+c}$  y  $I^{-c}$  así como una componente de seno  $I^{+s}$  o  $I^{-s}$  como sigue:

$$i^{+c} = \sqrt{2}I^+ \cos(\varphi + \varphi_{I^+})$$

$$i^{+s} = \sqrt{2}I^+ \sin(\varphi + \varphi_{I^+})$$

$$i^{-c} = \sqrt{2}I^- \cos(\varphi_{\underline{U}^-_{fset}} + \varphi_{I^-})$$

$$i^{-s} = \sqrt{2}(-I^-) \sin(\varphi_{\underline{U}^-_{fset}} + \varphi_{I^-})$$

En el sistema de ecuaciones arriba mencionado de la primera etapa  $I^+$  designa el valor de la componente de corriente positiva y correspondientemente  $I^-$  el valor de la componente de corriente negativa.  $\varphi_{I^+}$  o  $\varphi_{I^-}$  designan el ángulo de fase del sistema de secuencia positiva o del sistema de secuencia negativa. Estos ángulos no se transfieren expresamente al bloque de decisión 38 según la estructura de la fig. 2, pero son elementos inherentes de la componente de corriente positiva compleja  $I^+$  o la componente de corriente negativa compleja  $I^-$ . El ángulo de fase de la componente del sistema de secuencia negativa de la tensión, según se determina en el bloque de cálculo 42, lo que todavía se explicará a continuación, se transfiere directamente al bloque de decisión 38.

Se debe prestar atención a que en el bloque de cálculo 42 se efectúa una descomposición de las tensiones de red trifásicas en una componente del sistema de secuencia positiva y una componente del sistema de secuencia negativa, concretamente, en base al método conocido básicamente de las componentes simétricas. Este método de las componentes simétricas también se basa en la determinación de una componente del sistema de secuencia positiva y una componente del sistema de secuencia negativa de la corriente según el bloque de control PQ 40. Estas dos componentes de corriente se transfieren como valores complejos al bloque de decisión 38. Mientras que esta descomposición de la tensión de red según el bloque de cálculo 42 en el caso ideal representa una representación del estado real de las tensiones de red, la división en el sistema de secuencia positiva y negativa para la corriente en el bloque de control PQ 40 contiene una representación de la corriente deseada a alimentar o en preparación para la corriente deseada a alimentar. Así esta representación del sistema de secuencia positiva y negativa para la corriente puede contener, por ejemplo, un desplazamiento de fase deseado con respecto a la tensión, a fin de alimentar una fracción de potencia reactiva deseada.

A partir de las componentes de seno y coseno así calculadas para el sistema de secuencia positiva como también para el sistema de secuencia negativa  $I^{+c}$ ,  $I^{+s}$ ,  $I^{-c}$  y  $I^{-s}$  se calcula ahora un valor de corriente auxiliar  $i^*$  y un valor de ángulo auxiliar  $\varphi^*$  en la segunda etapa como sigue:

$$i^* = \sqrt{(i^{+c} + i^{-c})^2 + (i^{+s} + i^{-s})^2}$$

$$\varphi^* = \arctan \left[ \frac{i^{+s} + i^{-s}}{i^{+c} + i^{-c}} \right]$$

A partir del valor de corriente auxiliar  $i^*$  y el valor de ángulo auxiliar  $\varphi^*$  se calcula finalmente en la tercera etapa para cada una de las corrientes de consigna  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  y  $i_3(t)$  respectivamente un valor para el instante en cuestión como

sigue.

$$i_1(t) = i^* \cos(\varphi^*)$$

$$i_2(t) = i^* \cos(\varphi^* + \frac{2}{3}\pi)$$

$$i_3(t) = i^* \cos(\varphi^* + \frac{4}{3}\pi)$$

- 5 Se debe prestar atención a que en esta tercera etapa se calculan tres valores individuales para las tres corrientes de consigna  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  y  $i_3(t)$ . Esto se realiza para cada instante de cálculo, es decir, varias veces para cada duración de período. Además se debe prestar atención a que en cada instante se modifican el valor de corriente auxiliar  $i^*$  y el valor de ángulo auxiliar  $\varphi^*$ . Por ello, según la modificación de estos valores, el resultado del cálculo de esta etapa 3 no debe conducir a un sistema de corriente trifásico simétrico, aunque las tres ecuaciones del cálculo de la etapa 3
- 10 sólo se diferencian en una compensación de ángulo de  $2/3 \pi$  o  $4/3 \pi$ . Sin embargo, así es posible una especificación asimétrica de las tres corrientes y por consiguiente una alimentación asimétrica, justo como una alimentación simétrica. Lo mismo también es válido por lo demás según el sentido para el cálculo arriba representado de las corrientes de consigna  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  y  $i_3(t)$  en el bloque de decisión 38, cuando no se parte de un fallo de red, cuando es válido así la bandera = 0.

15

- La fig. 3 muestra detalles del bloque de cálculo 42 de la estructura total mostrada en la fig. 2. Por tanto se detectan las tensiones de red medidas  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  y  $u_3(t)$  y a partir de ello se transforman o recalculan en el bloque de transformación 50 designado como DFT de medio ciclo en tensiones complejas  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$  y  $\underline{U}_3$ . Estas tensiones complejas  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$  y  $\underline{U}_3$  son en el caso ideal sólo otra representación para las tensiones medidas  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  y  $u_3(t)$  y
- 20 presuponen un desarrollo sinusoidal con frecuencia fija.

- Las tres tensiones complejas  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$  y  $\underline{U}_3$  definen por consiguiente un sistema de tensión trifásico, pero que puede ser asimétrico. Correspondientemente se realiza una descomposición de este sistema trifásico en una componente del sistema de secuencia positiva y una componente del sistema de secuencia negativa en base al método de los
- 25 componentes simétricas. La componente del sistema de secuencia positiva, concretamente el valor  $U_{fset}^+$  y su fase  $\phi_{U_{fset}^+}$  se calcula en el bloque de transformación del sistema de secuencia positiva 52 y la componente del sistema de secuencia negativa, concretamente el valor  $U_{fset}^-$  y su fase  $\phi_{U_{fset}^-}$  se calcula en el bloque de transformación del sistema de secuencia negativa 54. Tanto el bloque de cálculo DFT de medio ciclo 50, que también se puede designar de forma sencilla como bloque de transformación DFT, como también el bloque de transformación del sistema de
- 30 secuencia positiva 52 y el bloque de transformación del sistema de secuencia negativa 54 usan para su cálculo una frecuencia  $f_{set}$  puesta, introducida desde fuera o el ángulo calculado de ella  $\phi_{fset}$ . El ángulo  $\phi_{fset}$  predeterminado o fijado se deduce mediante integración de la frecuencia  $f_{set}$  predeterminada o puesta en el bloque de integración 56.

- El cálculo de un sistema de secuencia positiva, que también se puede designar como componente del sistema de
- 35 secuencia positiva, y de un sistema de secuencia negativa, que también se puede designar como componente del sistema de secuencia negativa, se conoce básicamente de la teoría del método de las componentes simétricas. A este respecto un sistema trifásico asimétrico de así denominados fasores se divide en sistema de secuencia positiva, sistema de secuencia negativa y sistema de secuencia cero. El sistema de secuencia positiva posee la misma dirección de rotación que el sistema trifásico que sirve de base, mientras que el sistema de secuencia negativa presenta una
- 40 dirección opuesta a este sistema original. El sistema de secuencia positiva visto en sí y también el sistema de secuencia negativa visto en sí son respectivamente simétricos en sí. El sistema de secuencia cero designa un sistema en el que todos los fasores presentan la misma dirección y la misma longitud. Este sistema de secuencia cero compensa una desviación eventual de cero de la adición del sistema original. Pero en el presente caso – lo que también está fundamentado porque un conductor de neutro no está presente o no se tiene en cuenta – no se presta
- 45 atención a un sistema de secuencia cero y por consiguiente tampoco se calcula, sino sólo el sistema de secuencia positiva o la componente del sistema de secuencia positiva y el sistema de secuencia negativa o componente del sistema de secuencia negativa.

- El cálculo de un sistema de secuencia positiva y un sistema de secuencia negativa a partir de un sistema trifásico
- 50 asimétrico se conoce por el especialista de los libros de texto y no se explica más en detalle aquí en este sentido.

Al cálculo de los valores de tensión complejos  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$  y  $\underline{U}_3$  sirve de base el procedimiento conocido básicamente de una transformada de Fourier discreta, designada DFT. En una transformada de Fourier discreta se describe una señal periódica como superposición, es decir, superposición de una fracción continua, una componente fundamental y su armónico de manera biunívoca, es decir, irreversible. En el caso más sencillo no está presente una fracción continua ni un armónico o se pueden despreciar tales fracciones. En este caso se suprimen las componentes correspondientes descriptivas y exclusivamente se usa una descripción de señal según valor, fase y frecuencia. Para realizar una transformada de Fourier discreta semejante se debe detectar una duración de período de la señal periódica. Si está presente una señal sinusoidal con una frecuencia de 50 Hz, como es el caso en la tensión eléctrica en la red interconectada europea – según el sentido esto se puede transferir a una red de 60 Hz como por ejemplo en los EE.UU. – entonces una longitud de período es  $T \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20 \text{ ms}$ . Para una transformada de Fourier discreta de la señal de tensión de una red de tensión de 50 Hz se necesitan así al menos 20 ms. Este tiempo puede ser muy largo cuando en la red se debe reaccionar rápidamente a fallos de red.

Ahora se propone usar la mitad de una longitud de período de la señal a transformar. En cuestión así de cada señal de tensión  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  y  $U_3(t)$  se tienen en cuenta respectivamente sólo la mitad de una longitud de período. El resultado de esta DFT modificada, que también se designa como DFT de medio ciclo, se calcula y emite en el bloque de transformación 50. Correspondientemente para cada una de las tres fases de tensión se deduce un valor de tensión  $U_i$  y una fase de tensión  $\phi_{\underline{U}_i}$ . La variable “i” puede adoptar el valor 1, 2 o 3 y designa correspondientemente la 1ª, 2ª y 3ª fase.

$$U_i^c = K_c \int_0^{\frac{1}{2} T_{fset}} u_i(t) * \cos(2\pi f_{set} * t) dt$$

$$U_i^s = K_s - \int_0^{\frac{1}{2} T_{fset}} u_i(t) * \sin(2\pi f_{set} * t) dt$$

$$\phi_{\underline{U}_i} = \arctan\left(\frac{U_i^s}{U_i^c}\right)$$

$$U_i = \sqrt{(U_i^c)^2 + (U_i^s)^2}$$

Este cálculo se calcula para cada fase, lo que se muestra por el índice i, que adopta por consiguiente según la fase el valor 1, 2 o 3. Por consiguiente se calcula en primer lugar una fracción de tensión  $U_i^c$  y una segunda fracción de tensión  $U_i^s$  mediante la respectiva integral indicada. Por consiguiente se calcula concretamente una integral determinada de 0 hasta  $\frac{1}{2} T_{fset}$ . A este respecto  $\frac{1}{2} T_{fset} = \frac{1}{2} T$ , y por consiguiente se calcula la integral determinada sobre la mitad de una duración de período T. Para la primera fracción de tensión  $U_i^c$  todavía se debe tener un factor de escalado  $K_c$ , y para la segunda fracción de tensión  $U_i^s$  se debe tener en cuenta correspondientemente un factor de escalado  $K_s$ , en donde estos dos valores de escalado también pueden ser idénticos. Las dos integrales representadas se pueden calcular de diferente manera. Por ejemplo, también entra en consideración realizar un cálculo discreto, en particular teniendo en cuenta que los valores de tensión  $u_i(t)$  correspondientes están presentes en un ordenador de proceso y por consiguiente también en el bloque de transformación 50 como muestras. La aplicación concreta de una integral semejante o similar, por ejemplo, en un ordenador de proceso le es familiar al especialista. Por lo demás se indica que la primera fracción de tensión  $U_i^c$  y la segunda fracción de tensión  $U_i^s$  se podrían interpretar como parte imaginaria y parte real.

En el cálculo de las dos integrales para la primera y segunda fracción de tensión se debe prestar atención a que respectivamente se tienen en cuenta los valores de tensión anteriores hasta la mitad de una duración de período de  $u_i(t)$ . En el caso de una señal de tensión sinusoidal con la frecuencia de 50 Hz – por mencionar un ejemplo práctico – resulta la mitad de una duración de período en 10 ms. Por tanto se detectan completamente las modificaciones aproximadamente tras 10 ms por esta DFT modificada o DFT de medio ciclo. Pero tales modificaciones tienen las primeras repercusiones ya al aparecer. La transformación propuesta en el bloque de transformación 50 de la fig. 3 o

el cálculo de valores de tensión complejos, concretamente  $\underline{U}_1$ ,  $\underline{U}_2$  y  $\underline{U}_3$  se puede realizar por consiguiente de forma muy rápida. La frecuencia de exploración, que usa el bloque de transformación 50, puede ser por ejemplo 5 kHz y por consiguiente resulta un valor de cálculo cada 200  $\mu$ s. Estos 200  $\mu$ s son por consiguiente la duración tras la que – en este ejemplo – la primera repercusión de una modificación de la tensión de red se refleja en los valores de tensión complejos calculados.

Correspondientemente también se produce tras aproximadamente este tiempo una repercusión en los valores del sistema de secuencia positiva y negativa, es decir, para  $U_{fset}^+$ ,  $\phi_{\underline{U}_{fset}}^+$ ,  $U_{fset}^-$ ,  $\phi_{\underline{U}_{fset}}^-$ .

10 La fig. 2 muestra otro uso de las componentes calculadas en el bloque de cálculo 42 para el sistema de secuencia positiva y el sistema de secuencia negativa como sigue.

El interruptor de estado 36 se conmuta en función de una señal de fallo, concretamente la bandera. Cuando es válido la bandera = 0, es decir, cuando se parte de que no está presente ningún fallo de red, el interruptor de estado 36 está

15 conmutado de modo que el ángulo de fase de red  $\phi_N$  calculado en el bloque de transformación 32 se usa como magnitud de entrada para el bloque observador de estado 34.

No obstante, si se parte de un fallo de red, la bandera = 1 y el interruptor de estado 36 está conmutado de modo que el ángulo de fase  $\phi_{\underline{U}_{fset}}^+$ , es decir, el ángulo de fase calculado del sistema de secuencia positiva forma la entrada,

20 concretamente, el ángulo de entrada, del bloque observador de estado 34. En este caso así el ángulo de entrada del sistema de secuencia positiva forma así la base para el bloque observador de estado 34. Esto también se puede implementar de modo que en cualquier caso se referencia con respecto al ángulo de fase en el sistema de secuencia positiva.

25 El ángulo de fase del sistema de secuencia negativa,  $\phi_{\underline{U}_{fset}}^-$  forma una señal de entrada del bloque de decisión 38.

Este ángulo se necesita en el bloque de decisión 38 para el caso de que se parte de un fallo de red, según se ha explicado ya arriba en relación con los cálculos o procedimientos en el bloque de decisión 38. En este sentido el bloque de decisión 38 conecta al suponer un fallo de red los ángulos de fase del sistema de secuencia positiva y sistema de

30 caso el ángulo de fase del sistema de secuencia negativa  $\phi_{\underline{U}_{fset}}^-$  se vuelve directo y el ángulo de fase del sistema de secuencia positiva  $\phi_{\underline{U}_{fset}}^+$  se vuelve indirecto a través de la observación de estado del bloque de observación de estado 34.

Los valores de tensión del sistema de secuencia positiva  $U_{fset}^+$  y del sistema de secuencia negativa  $U_{fset}^-$ , que se han

35 calculado en el bloque de cálculo 42, se usan en el bloque de control PQ 40. En el bloque de control PQ se determina la corriente deseada básicamente a alimentar, concretamente respecto a todas las tres corrientes a alimentar. La determinación, que también se puede designar como especificación, emite correspondientemente respectivamente una corriente del sistema de secuencia positiva compleja  $\underline{I}^+$  y una corriente del sistema de secuencia negativa compleja  $\underline{I}^-$ . Por consiguiente se parte al menos de la posibilidad de que la corriente trifásica sea asimétrica y por

40 tanto se use la descripción según el método de las componentes simétricas. El bloque de control PQ 40 usa las amplitudes de tensión  $U_{fset}^+$  y  $U_{fset}^-$ , que se han elaborado y expuesto en el bloque de cálculo 42, pero para el cálculo de las componentes de corriente del sistema de secuencia positiva y del sistema de secuencia negativa  $\underline{I}^+$  y  $\underline{I}^-$  realiza un cálculo propio, concretamente la descomposición en sistema de secuencia positiva y negativa.

45 El cálculo de esta corriente predeterminada puede tener en cuenta distintas especificaciones, concretamente, la fracción de potencia activa a alimentar, en particular la fracción de potencia activa del sistema de secuencia positiva  $P^+$  y la fracción de potencia reactiva a alimentar, concretamente en particular la fracción de potencia reactiva del sistema de secuencia positiva  $Q^+$ . Además se puede tener en cuenta una relación de los valores de la corriente del sistema de secuencia negativa  $I^-$  respecto a la corriente del sistema de secuencia positiva  $I^+$ , concretamente  $I^-/I^+$ . Este

50 cociente es una medida para el grado de asimetría del sistema trifásico, que se describe por esta componente del sistema de secuencia positiva y componente del sistema de secuencia negativa.

Además, el bloque de control PQ 40 tiene en cuenta criterios de fallo, a partir de los que se puede derivar un fallo de red y generar la bandera ya explicada, que adopta el valor 0, cuando se parte de que no está presente ningún fallo de

55 red y que adopta el valor 1 cuando se parte de la presencia de un fallo de red. Tales criterios de error pueden ser, por ejemplo, una fuerte modificación de frecuencia, la caída de una fase o también la caída o fuerte reducción en la amplitud de todas las fase. Pero el criterio de error también puede ser una señal directa, que ya es el resultado de una evaluación externa o que se transfiere por un operador de red y eventualmente especifica en este caso también el tipo

del fallo de red.

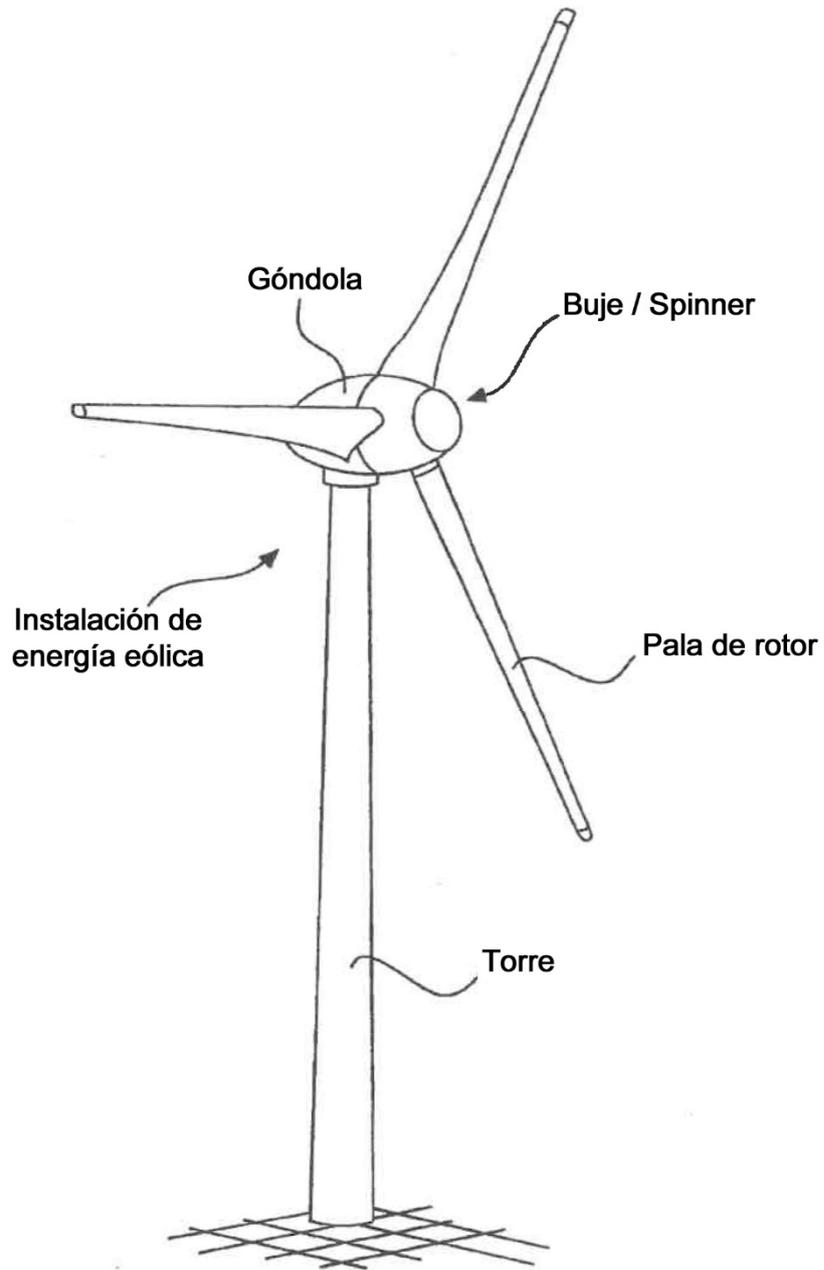
El bloque PQ puede estar realizado de diferentes modos y maneras. Puede tener en cuenta simultáneamente p. ej.  $U_{fset}^+$  y  $U_{fset}^-$  y  $U$ . Por ejemplo,  $U_{fset}^+$  y  $U_{fset}^-$ , que son en principio valores sintéticos, no deben reproducir correctamente  $U$ , que está para la tensión real. Así  $U_{fset}^+$  y  $U_{fset}^-$  pueden tener por ejemplo un error de frecuencia. En función de la situación concreta se usa el uno o el otro o ambos valores.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la alimentación de corriente eléctrica en una red eléctrica trifásica con una primera, segunda y tercera fase con una primera, segunda y tercera tensión con una frecuencia de red, donde la energía eléctrica se genera mediante una instalación de energía eólica y se alimenta en la red eléctrica, que comprende las etapas:
- 5 - medición de la primera, segunda y tercera tensión de la red trifásica,
- 10 - transformación de la primera, segunda y tercera tensión en un sistema de secuencia positiva de tensión y un sistema de secuencia negativa de tensión según el método de las componentes simétricas,
- cálculo de una primera, segunda y tercera corriente de consigna para la alimentación en la primera, segunda o tercera fase de la red,
- 15 - donde el cálculo de la primera, segunda y tercera corriente de consigna se realiza en función de al menos un valor del sistema de secuencia positiva de tensión y/o del sistema de secuencia negativa de tensión,
- donde mediante un convertidor de frecuencia se generan y alimentan corrientes eléctricas conforme a la primera, segunda y tercera corriente de consigna para la alimentación en la red trifásica, donde
- 20 - la transformación de la primera, segunda y tercera tensión en un sistema de secuencia positiva de tensión y un sistema de secuencia negativa de tensión comprende una transformación de la primera, segunda y tercera tensión mediante una transformada de Fourier discreta (DFT, por sus siglas en inglés), en donde la transformada de Fourier discreta se realiza solo durante la mitad de una duración de periodo.
- 25
2. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** para el cálculo de las corrientes de consigna se toma por base un ángulo de fase de cálculo ( $\varphi$ ) y se determina el ángulo de fase de cálculo ( $\varphi$ ) en función de una detección de un fallo de red, en particular usando un filtro de determinación o bloque de filtros (34), donde
- 30 - el ángulo de fase de cálculo ( $\varphi$ ) se determina a partir de un ángulo de fase detectado de una de las tensiones de red, cuando no se ha detectado ningún fallo de red y/o
- 35 - el ángulo de fase de cálculo se determina a partir de un ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión, en particular usando una frecuencia de red predeterminada ( $f_{set}$ ), cuando se ha detectado un fallo de red.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** para el cálculo de las corrientes de consigna, en particular cuando se detecta un fallo de red, se referencia al sistema de secuencia positiva de tensión, en particular al ángulo de fase del sistema de secuencia positiva de tensión.
- 40
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la transformación de la primera, segunda y tercera tensión en un sistema de secuencia positiva de tensión y un sistema de secuencia negativa de tensión comprende una transformación de la primera, segunda y tercera tensión mediante una transformada de Fourier discreta (DFT, por sus siglas en inglés), donde la transformada de Fourier discreta se realiza online.
- 45
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la transformación de la primera, segunda y tercera tensión en un sistema de secuencia positiva de tensión y un sistema de secuencia negativa de tensión usa, en lugar de una medición de la frecuencia de red actual, una frecuencia predeterminada.
- 50
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** como frecuencia de red predeterminada se usa el valor de la frecuencia de red de un instante de medición anterior, un valor nominal de la frecuencia de red y/o un valor predeterminado externamente.
- 55
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las corrientes de consigna se predeterminan según el método de las componentes simétricas a través de un sistema de secuencia positiva de corriente y un sistema de secuencia negativa de corriente, en particular **porque** el sistema de secuencia positiva se tiene en cuenta mediante una componente de corriente del sistema de secuencia positiva compleja según
- 60

el valor y la fase y el sistema de secuencia negativa mediante una componente de corriente del sistema de secuencia negativa compleja según el valor y la fase.

- 5 8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado porque** las corrientes de consigna se calculan en función del sistema de secuencia positiva de corriente o de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva y al asumir un fallo de red adicionalmente en función del sistema de secuencia negativa de corriente o de la componente de corriente del sistema de secuencia negativa.
- 10 9. Procedimiento según las reivindicaciones 7 u 8, **caracterizado porque** el sistema de secuencia positiva de corriente o la componente de corriente del sistema de secuencia positiva y el sistema de secuencia negativa o la componente de corriente del sistema de secuencia negativa se determina en función de una especificación de una fracción de potencia activa del sistema de secuencia positiva, una especificación de la fracción de potencia reactiva del sistema de secuencia positiva y/o una especificación de un cociente del valor de la componente de corriente del sistema de secuencia negativa respecto al valor de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva.
- 15 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizado porque** la componente de corriente del sistema de secuencia negativa se ajusta y/o varía independientemente de la componente de corriente del sistema de secuencia positiva.
- 20 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el procedimiento se realiza online, en particular, **porque** todas las etapas del procedimiento se realizan online.
- 25 12. Instalación de energía eólica que está configurada para la realización de un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores para la alimentación de corriente eléctrica.
13. Parque eólico con varias instalaciones de energía eólica, con al menos una instalación de energía eólica según la reivindicación 12.



**Fig. 1**



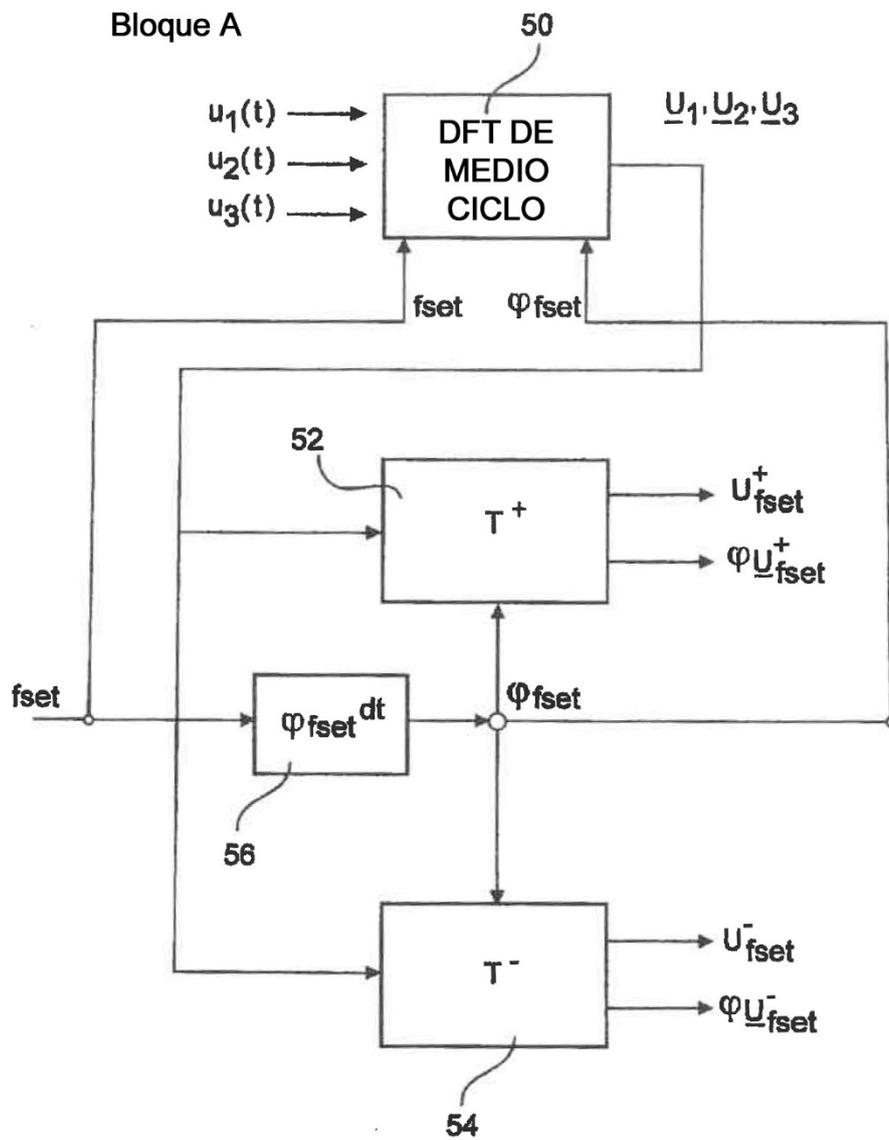


Fig. 3