

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 669**

51 Int. Cl.:

<b>G01R 23/20</b>	(2006.01)
<b>G01R 19/00</b>	(2006.01)
<b>G01R 29/08</b>	(2006.01)
<b>G01R 29/26</b>	(2006.01)
<b>H02S 50/00</b>	(2014.01)
<b>H02M 1/12</b>	(2006.01)
<b>G01R 31/40</b>	(2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.02.2011 PCT/EP2011/051794**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **26.04.2012 WO12052190**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2011 E 11704046 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.07.2018 EP 2630510**

54 Título: **Descomposición y mitigación de una perturbación presente en una conexión eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica**

30 Prioridad:

**19.10.2010 EP 10188028**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.12.2018**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Straße 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**ANDRESEN, BJÖRN;  
BROGAN, PAUL BRIAN y  
GOLDENBAUM, NIKOLAUS MOELLER**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 692 669 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

Descomposición y mitigación de una perturbación presente en una conexión eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica.

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo técnico de conectar de manera eléctrica un sistema de generación de energía eléctrica, en concreto una turbina eólica o una granja eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas, con una red eléctrica. En concreto, la presente invención se refiere a un método para descomponer una perturbación en una señal eléctrica presente en una conexión eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica en una primera perturbación con una primera intensidad, en donde la primera perturbación se asigna al sistema de generación de energía eléctrica, y una segunda perturbación con una segunda intensidad, en donde la segunda perturbación se asigna a la red eléctrica. Además, la presente invención se refiere a un método para mitigar dicha perturbación. Además, la presente invención se refiere a una unidad de procesamiento de datos, a un sistema de generación de energía eléctrica y a un programa informático, que están todos adaptados para controlar los métodos mencionados anteriormente.

15 Antecedentes de la técnica

Las turbinas eólicas se utilizan para convertir la energía eólica en energía eléctrica de una manera limpia y eficiente. En una turbina eólica, un rotor que comprende palas de rotor acciona un generador eléctrico, ya sea directamente o por medio de una caja de cambios. La frecuencia de la corriente alterna (CA) que se desarrolla en los terminales del estator del generador eléctrico es directamente proporcional a la velocidad de rotación del rotor. La tensión en los terminales del estator también varía en función de la velocidad de rotación del generador. Para una captura de energía óptima, esta velocidad de rotación varía según la velocidad del viento que impulsa las palas del rotor. Para limitar la captura de energía a altas velocidades del viento y evitar un daño del rotor, la velocidad de rotación del generador eléctrico se controla alterando el ángulo de inclinación de las palas del rotor.

Una adaptación de la tensión y la frecuencia variables del generador eléctrico a una tensión y frecuencia nominalmente fijas de una red eléctrica se logra normalmente mediante un convertidor de energía. Un convertidor de energía normalmente incluye un puente generador, que en funcionamiento normal funciona como un rectificador activo para suministrar energía a un enlace de corriente continua (CC). El puente generador puede tener cualquier topología adecuada con una serie de dispositivos de conmutación de energía semiconductores totalmente controlados y regulados mediante una estrategia de modulación por ancho de pulso (PWM). Un convertidor de energía normalmente comprende dos puentes de red, en donde un primer puente de red convierte la señal de energía de CA proporcionada por el generador a una señal de energía de CC y un segundo puente de red convierte esta señal de energía de CC a una señal de energía de CA, que en tensión, frecuencia y ángulo de fase se corresponde con la red eléctrica. Como un convertidor de energía siempre efectúa una conversión de frecuencia, dichos convertidores de energía a menudo también se denominan convertidores de frecuencia.

35 Sin embargo, en la práctica siempre existen al menos algunas perturbaciones en una señal eléctrica que están presentes en una línea de conexión de energía eléctrica entre la(s) turbina(s) eólica(s) y la red eléctrica. Estas perturbaciones son en concreto perturbaciones armónicas, que pueden ser causadas, por ejemplo, por la frecuencia de conmutación de un convertidor de energía modulado por PWM o de puentes rectificadores pasivos, resonancias del sistema, hornos de arco... etc. Sin embargo, las perturbaciones también son causadas por equipos eléctricos conectados a la red eléctrica. A este respecto, un equipo eléctrico puede ser cualquier sistema eléctrico o dispositivo eléctrico, que esté conectado a la red eléctrica. En concreto, un equipo eléctrico incluye consumidores eléctricos o equipos de usuario y sistemas de generación de energía eléctrica como cualquier tipo de planta de energía eléctrica (por ejemplo, una o más turbinas eólicas), que alimente energía eléctrica a la red eléctrica.

45 Hay que señalar que las perturbaciones también pueden ser causadas por no idealidades en el propio sistema de energía, por ejemplo, saturación en los transformadores del sistema de energía.

La fiabilidad y la eficiencia de la red eléctrica, así como del equipo conectado dependen en gran medida de la distorsión armónica en la tensión del sistema de la red eléctrica. Por lo tanto, los gestores de la red eléctrica deben garantizar un suministro fiable de energía con una calidad que cumpla con ciertos estándares para garantizar un funcionamiento sin problemas de cualquier tipo de equipo eléctrico que se conecte a la red eléctrica. Por lo tanto, los gestores de la red están tomando grandes medidas para mantener la distorsión armónica dentro de niveles predefinidos. Esto se aplica en concreto a la distorsión armónica causada por convertidores de energía o convertidores de frecuencia. Sin embargo, ha de entenderse que, por supuesto, todos los armónicos en la red eléctrica son no deseados y pueden causar problemas en el sistema y/o en el equipo eléctrico conectado. No se hace distinción entre cómo se generan estos armónicos.

55 En la actualidad, el enfoque principal relacionado con el manejo de la emisión de armónicos desde los convertidores de energía está dirigido a los armónicos más significativos de una frecuencia de conmutación, sus bandas laterales y múltiplos de estas bandas laterales. Se conoce como suprimir estas frecuencias armónicas por medio de filtros especiales, diferentes patrones de conmutación, cambio de fase entre diferentes patrones de conmutación, etc.

También existen técnicas mediante las cuales los armónicos individuales pueden cancelarse mediante la aplicación de algoritmos para seleccionar patrones de conmutación de PWM apropiados.

5 El documento EP 1 995 863 A2 divulga un método para controlar una pluralidad de convertidores de energía que se pueden usar para conectarse a una red de suministro o una red eléctrica. Cada convertidor de energía incluye un puente de red que funciona según una estrategia de PWM, que tiene el mismo período de conmutación y que causa al menos un armónico no deseado en la tensión de la red eléctrica. El método incluye el paso de proporcionar el período de conmutación de la estrategia de PWM de cada puente de red con un desfase de tiempo diferente con respecto a un dato de tiempo de modo que al menos un armónico no deseado en la tensión de la red de suministro se cancele al menos parcialmente. Otra técnica relacionada se encuentra en el documento WO00/10017.

10 Generalmente, no se considera que los armónicos de orden inferior (frecuencia) causen problemas de distorsión significativos. Sin embargo, cuando se esperan problemas relacionados con armónicos de orden inferior, es conocido el uso de los denominados filtros de nivel de parque para afrontar dichos problemas. A este respecto, los filtros de nivel de parque son dispositivos de filtro de alta potencia, que suprimen ciertos armónicos en una señal de salida de energía eléctrica común proporcionada por dos o más turbinas eólicas o una granja eólica completa o  
15 parque eólico.

Para caracterizar la emisión armónica de un sistema de generación de energía eléctrica que está conectado a una red eléctrica por medio de un convertidor de energía (o convertidor de frecuencia), normalmente se toma el supuesto de que las corrientes eléctricas medidas en los terminales del convertidor de energía son todas generadas por el propio convertidor de energía. Este supuesto, que puede verse como una consecuencia de no tener en cuenta las  
20 perturbaciones armónicas (armónicos de fondo) que ya están presentes en la red eléctrica, tiene, entre otras cosas, el inconveniente de que no se puede incorporar un filtrado activo en el convertidor de energía, porque actualmente no es posible distinguir entre las perturbaciones armónicas causadas por armónicos de fondo dentro de la red eléctrica y las perturbaciones armónicas causadas por el convertidor de energía.

Con una cantidad creciente de sistemas de generación de energía eléctrica, en concreto turbinas eólicas, que están conectadas a la red eléctrica a través de convertidores de energía, la demanda de técnicas para controlar y/o  
25 analizar la emisión armónica de dichos dispositivos de energía eléctrica se está volviendo cada vez más importante.

Puede haber una necesidad de mejorar el análisis de perturbaciones eléctricas en la conexión entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica en concreto con respecto al origen de las perturbaciones eléctricas. Además, puede haber una necesidad de mitigar dichas perturbaciones eléctricas para mejorar la calidad  
30 eléctrica de una red eléctrica.

#### Resumen de la invención

Esta necesidad puede resolverse por medio del contenido según las reivindicaciones independientes. Los modos de realización ventajosos de la presente invención se describen mediante las reivindicaciones dependientes.

35 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para minimizar una perturbación en una señal eléctrica que está presente en una conexión eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica en una primera perturbación con una primera intensidad, en donde la primera perturbación se asigna al sistema de generación de energía eléctrica, y una segunda perturbación con una segunda intensidad, en donde la segunda perturbación se asigna a la red eléctrica. El método proporcionado comprende (a) determinar un valor de tensión de una tensión de la señal eléctrica, (b) determinar un valor de corriente de una corriente de la señal  
40 eléctrica, (c) calcular un valor de una tensión de circuito abierto de una fuente de tensión equivalente caracterizando el sistema de generación de energía eléctrica en un modelo armónico del sistema de generación de energía eléctrica basado en el valor de tensión medido, en el valor de corriente medido y en una impedancia equivalente característica del sistema de generación de energía eléctrica y (d) determinar la intensidad de la primera perturbación basada en el valor calculado de la tensión de circuito abierto de la fuente de tensión equivalente.

45 El método descrito se basa en la idea de que al representar el sistema de generación de energía eléctrica con una fuente de tensión equivalente y con una impedancia equivalente característica, la primera perturbación, que se asigna al sistema de generación de energía eléctrica, y la segunda perturbación, que se asigna a la red eléctrica, se pueden determinar independientemente la una de la otra. Específicamente, el modelo derivado que se utiliza para separar las dos perturbaciones entre sí puede contener una fuente de tensión interna ideal (tanto de magnitud como de fase) así como la impedancia compleja del sistema de generación de energía eléctrica que juntos forman la bien  
50 conocida representación de Thevenin -o como alternativa Norton- del sistema de generación de energía eléctrica.

En este documento, el término "sistema de generación de energía eléctrica" puede indicar cualquier dispositivo eléctrico que sea capaz de producir energía eléctrica. El sistema de generación de energía eléctrica puede no solo comprender un generador eléctrico. En concreto, el sistema de generación de energía eléctrica puede comprender  
55 además un equipo eléctrico, que se usa para conectar el generador eléctrico a la red eléctrica de una manera fiable. Específicamente, el equipo eléctrico puede ser un convertidor de energía o un convertidor de frecuencia, que se usa para adaptar la frecuencia de CA y la tensión de la señal de energía eléctrica proporcionada por el sistema de generación de energía eléctrica a la frecuencia de CA determinada y a la tensión determinada de la red eléctrica.

- 5 En concreto, el sistema de generación de energía eléctrica puede ser una turbina eólica. La turbina eólica puede ser, por ejemplo, una turbina eólica de velocidad variable o una turbina eólica doblemente alimentada, que tiene un generador eléctrico con devanados tanto en su estator como en su rotor, en donde ambos devanados transfieren una energía significativa entre el eje giratorio y el sistema eléctrico de la turbina eólica. Las turbinas eólicas doblemente alimentadas son útiles en aplicaciones que requieren variar la velocidad del eje para una frecuencia de CA fija de la señal de energía generada.
- 10 En este documento, el término "perturbación" puede referirse concretamente a cualquier componente de señal no deseado, que difiere en frecuencia y/o en fase de la señal eléctrica ideal, que se supone debe ser entregada por el sistema de generación de energía eléctrica a la red eléctrica. A este respecto, una "perturbación" puede comprender una tensión perturbadora y/o una corriente perturbadora.
- 15 El término "asignado a" puede indicar el origen de la perturbación respectiva. Específicamente, la primera perturbación puede ser causada por un funcionamiento (siempre no perfecto) del sistema de generación de energía eléctrica y la segunda perturbación puede ser causada por un estado de funcionamiento (siempre no perfecto) de la red eléctrica.
- 20 Según un modo de realización de la invención (a) la señal eléctrica comprende al menos dos componentes de frecuencia, (b) la determinación del valor de tensión se refiere a uno de los al menos dos componentes de frecuencia, (c) la determinación del valor actual se refiere a uno de los al menos dos componentes de frecuencia y (d) la impedancia equivalente característica se refiere a uno de los al menos dos componentes de frecuencia.
- A este respecto, la relación del valor de tensión y el valor de corriente con uno de los al menos dos componentes de frecuencia significa que la variable física respectiva (valor de tensión, valor de corriente) se determina a esta frecuencia. De la misma manera, la relación de la impedancia equivalente característica a esta frecuencia significa que en el caso de una impedancia dependiente de la frecuencia se tiene en cuenta un valor de impedancia que corresponde a esta frecuencia.
- 25 En términos generales, la señal eléctrica puede comprender una distribución de diferentes componentes de frecuencia. Como consecuencia, también el valor de tensión de las variables físicas, el valor de la corriente y la impedancia pueden presentar una distribución de frecuencia, en donde para efectuar el método descrito solo se tiene en cuenta un componente de frecuencia de estas variables físicas.
- 30 A este respecto, cabe señalar que el método descrito también se puede llevar a cabo de múltiples maneras a diferentes frecuencias. De este modo, las perturbaciones dentro del sistema eléctrico que comprende el sistema de generación de energía eléctrica, la red eléctrica y la conexión eléctrica entre el sistema de generación de energía eléctrica y la red eléctrica pueden analizarse de una manera dependiente de la frecuencia.
- Según un modo de realización adicional de la invención, la primera perturbación es una primera corriente armónica compleja y la segunda perturbación es una segunda corriente armónica compleja.
- 35 En términos generales, el método descrito permite una separación entre (a) las corrientes  $I_1(n)$  armónicas complejas individuales generadas por el sistema de generación de energía eléctrica o cualquier dispositivo electrónico de energía asignado al sistema de generación de energía eléctrica y (b) las corrientes  $I_2(n)$  armónicas complejas individuales causadas por los armónicos de fondo presentes en la conexión eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica. De esta manera, se puede formar una representación más precisa del modelo eléctrico del sistema de generación de energía eléctrica en cada frecuencia armónica.
- 40 A este respecto, el término "separación" puede significar concretamente que la primera corriente  $I_1(n)$  armónica compleja y la segunda corriente  $I_2(n)$  armónica compleja se determinan independientemente una de la otra.
- Cabe señalar que los armónicos pueden ser armónicos enteros ( $n$  es un número entero) o los denominados interarmónicos ( $n$  es un número no entero) con respecto a una frecuencia de perturbación específica.
- 45 Según un modo de realización adicional de la invención, las primeras perturbaciones son causadas por un convertidor de energía del sistema de generación de energía eléctrica. Esto puede proporcionar la ventaja de que con el método descrito puede examinarse una fuente de perturbaciones eléctricas considerablemente intensa en una conexión eléctrica entre el sistema de generación de energía eléctrica y la red eléctrica.
- 50 Como ya se ha señalado anteriormente, el convertidor de energía, que a menudo también se denomina convertidor de frecuencia, se usa normalmente para adaptar la frecuencia de CA de la señal de energía eléctrica proporcionada por el sistema de generación de energía eléctrica a la frecuencia de CA determinada de la red eléctrica.
- Según un modo de realización adicional de la invención, las primeras perturbaciones están relacionadas con una operación de conmutación del convertidor de energía.
- A este respecto, la primera perturbación o la primera corriente  $I_1(n)$  armónica puede tener un componente de frecuencia intenso, que corresponde a una frecuencia armónica entera de una frecuencia fundamental del

convertidor de energía, por ejemplo, causado por la operación de conmutación del convertidor de energía. Sin embargo, de nuevo cabe señalar que con el método descrito también puede ser posible analizar otros componentes de frecuencia de la primera perturbación y la segunda perturbación, en donde con respecto a la frecuencia fundamental, las otras frecuencias son armónicas no enteras.

- 5 Según un modo de realización adicional de la invención, la primera perturbación comprende una señal de tensión perturbadora, que está determinada por el valor de la tensión de circuito abierto de la fuente de tensión equivalente que caracteriza el sistema de generación de energía eléctrica en el modelo armónico. De este modo, el cálculo del valor de la tensión de circuito abierto utiliza la siguiente fórmula (1):

$$U_{pwm}(n) = U_m(n) + I_m(n) \cdot Z_{chm}(n) \quad (1)$$

- 10 En este caso,  $U_{pwm}(n)$  es la tensión perturbadora y la tensión de circuito abierto,  $U_m(n)$  es el valor de tensión medido,  $I_m(n)$  es el valor de corriente medido,  $Z_{chm}(n)$  es la impedancia equivalente característica del sistema convertidor de energía eléctrica y  $n$  es un valor de parámetro que es indicativo para el componente de frecuencia, en el que se determina la intensidad de la primera perturbación. Esto puede proporcionar la ventaja de que el (intensidad del) componente de tensión de la primera perturbación se puede determinar de una manera fácil y fiable.

- 15 Según un modo de realización adicional de la invención, la primera perturbación comprende además una señal de corriente  $I_{chm}(n)$  perturbadora, que está determinada por la fórmula (2):

$$I_{chm}(n) = U_{pwm}(n) / [Z_{chm}(n) + Z_{grid\_f}(n)] \quad (2)$$

En este caso,  $Z_{grid\_f}(n)$  es un valor de impedancia predefinido que se asigna a la impedancia equivalente de la red eléctrica.

- 20 El uso del valor  $Z_{grid\_f}(n)$  de impedancia predefinido, que puede representar la impedancia de una red ficticia, puede proporcionar la ventaja de que, para analizar las características especiales de la primera perturbación de la red, el sistema de generación de energía eléctrica al que está realmente conectada, puede ser eliminado. De este modo, las emisiones de corriente armónica de diferentes sistemas de generación de energía eléctrica individuales se pueden comparar directamente entre sí.

- 25 El método descrito se basa en la idea de que al determinar el primer nivel de perturbación asignado al sistema de generación de energía eléctrica independientemente del segundo nivel de perturbación que se asigna a la red eléctrica, el nivel de perturbación general en la conexión eléctrica entre el sistema de generación de energía eléctrica y la red eléctrica puede reducirse significativamente al hacer funcionar el sistema de generación de energía eléctrica en respuesta a la intensidad determinada de la primera perturbación.

- 30 Al controlar el funcionamiento del sistema de generación de energía eléctrica, las emisiones armónicas, que contribuyen a la primera perturbación, pueden eliminarse completamente o pueden mantenerse dentro de un cierto nivel. En el caso de una granja eólica en donde al menos dos sistemas de generación de energía eléctrica están conectados a la red eléctrica a través de la conexión eléctrica, los sistemas de generación de energía eléctrica pueden hacerse funcionar de forma coordinada, en donde, por ejemplo, la fase eléctrica de los armónicos individuales causada por cada uno de los sistemas de generación de energía eléctrica se ajuste de modo que los armónicos individuales se eliminen mutuamente.

- Según un modo de realización de la invención, el sistema de generación de energía eléctrica comprende un convertidor de energía con una unidad de control, que en respuesta a la señal de control controla el funcionamiento del convertidor de energía de tal manera que la primera intensidad de la primera perturbación y/o la segunda intensidad de la segunda perturbación se mitigan.

- 40 La unidad de control del convertidor de energía o convertidor de frecuencia puede ser, por ejemplo, una señal de referencia como una señal de tensión de referencia y/o una señal de corriente de referencia. La señal de referencia puede derivarse por medio de una unidad de procesamiento de datos, que en su entrada recibe el valor de tensión determinada y el valor de corriente determinado y que en base a estos valores deriva la señal de control descrita, respectivamente la señal de referencia descrita. Hay que señalar que, a este respecto, el valor de tensión determinado y el valor de corriente determinado son los valores muestreados brutos de estas dos cantidades.

- Según un aspecto adicional de la invención, se proporciona una unidad de procesamiento de datos para descomponer una perturbación en una señal eléctrica que está presente en una conexión eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica en (a) una primera perturbación con una primera intensidad, en donde la primera perturbación se asigna al sistema de generación de energía eléctrica y (b) una segunda perturbación con una segunda intensidad, en donde la segunda perturbación se asigna a la red eléctrica. La unidad de procesamiento de datos descrita está adaptada para controlar al menos uno de los métodos mencionados anteriormente.

- 55 La unidad de procesamiento de datos descrita también se basa en la idea de que, representando el sistema de generación de energía eléctrica con una fuente de tensión equivalente y con una impedancia equivalente

característica, la primera perturbación, que se asigna al sistema de generación de energía eléctrica y la segunda perturbación, que se asigna a la red eléctrica, se pueden determinar independientemente una de la otra.

5 Hay que señalar que la unidad de procesamiento de datos descrita se usa para mitigar una perturbación en una señal eléctrica presente en una conexión eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica. Para lograr esto, la unidad de procesamiento de datos es, si corresponde junto con una unidad de control para controlar el funcionamiento del sistema de generación de energía eléctrica, adaptada para controlar el método de mitigación de perturbaciones descrito anteriormente. En este caso, la unidad de procesamiento de datos descrita se basa en la idea de que al determinar el primer nivel de perturbación asignado al sistema de generación de energía eléctrica independientemente del segundo nivel de perturbación asignado a la red eléctrica, el nivel general de perturbación en la conexión eléctrica entre el sistema de generación de energía eléctrica y la red eléctrica puede reducirse significativamente al hacer funcionar el sistema de generación de energía eléctrica de una manera apropiada en respuesta a la intensidad determinada de la primera perturbación.

10 Según un aspecto adicional de la invención, se describe un sistema de generación de energía eléctrica, en concreto una turbina eólica. El sistema de generación de energía eléctrica descrito comprende (a) un generador eléctrico para convertir energía mecánica en energía eléctrica, (b) un equipo eléctrico para conectar el generador eléctrico a una conexión eléctrica entre el sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica y (c) una unidad de procesamiento de datos como se establece en la reivindicación precedente.

15 El sistema de generación de energía eléctrica descrito se basa en la idea de que la unidad de procesamiento de datos mencionada anteriormente para descomponer una perturbación en la señal eléctrica que está presente en la conexión eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica puede usarse para evaluar de manera efectiva la primera intensidad de la primera perturbación asignada al sistema de generación de energía eléctrica por separado de la segunda intensidad de la segunda perturbación que se asigna a la red eléctrica.

20 Cuando la primera perturbación (que depende de la frecuencia), que en este documento se denomina con  $I_1(n)$ , y la segunda perturbación (que depende de la frecuencia), que en este documento se denomina con  $I_2(n)$ , se han separado, es posible controlar estas dos cantidades independientemente, por ejemplo, retroalimentando una señal de control a un controlador del equipo eléctrico, que puede ser en concreto un convertidor de energía o un convertidor de frecuencia. Esto puede permitir, por ejemplo, controlar la emisión de armónicos individuales desde el sistema de generación de energía eléctrica, respectivamente el convertidor de energía, a cero o a un nivel que sea menor que un cierto nivel de perturbación. Además, un conocimiento de  $I_1(n)$  y/o  $I_2(n)$  también puede permitir un filtrado parcial o totalmente de armónicos específicos (no deseados) de la red eléctrica. En concreto, la filtración puede comprender un filtrado activo, que se efectúe en respuesta a  $I_1(n)$  y/o  $I_2(n)$ . Además, controlando el funcionamiento del convertidor de energía o convertidor de frecuencia, la perturbación total (primera perturbación + segunda perturbación) en la conexión eléctrica puede minimizarse. En términos generales, controlando el funcionamiento del convertidor de energía o convertidor de frecuencia en respuesta a  $I_1(n)$  y/o  $I_2(n)$ , las corrientes armónicas totales en los terminales del convertidor de frecuencia, que están conectados con la conexión eléctrica descrita, pueden reducirse a cero o puede limitarse a un cierto nivel.

25 Cabe señalar que la unidad de procesamiento de datos puede ser un procesador individual para una turbina eólica o un procesador que se usa para controlar el funcionamiento de al menos dos turbinas eólicas de una granja eólica. En este último caso, la unidad de procesamiento de datos puede efectuarse por medio de o con un controlador central de granja eólica, que se usa para coordinar el funcionamiento de la pluralidad de turbinas eólicas de la granja eólica.

30 Según un aspecto adicional de la invención, se describe un programa informático para descomponer una perturbación en una señal eléctrica presente en una conexión eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica y una red eléctrica en una primera perturbación con una primera intensidad, en donde la primera perturbación se asigna al sistema de generación de energía eléctrica y una segunda perturbación con una segunda intensidad, en donde la segunda perturbación se asigna a la red eléctrica. El programa informático, cuando se ejecuta mediante un procesador de datos, está adaptado para controlar y/o llevar a cabo uno de los métodos descritos anteriormente.

35 Como se usa en el presente documento, la referencia a un programa informático pretende ser equivalente a una referencia a un elemento de programa y/o a un medio legible por ordenador que contiene instrucciones para controlar un sistema informático para coordinar el rendimiento del método descrito anteriormente.

40 El programa informático puede implementarse como un código de instrucciones legible por ordenador en cualquier lenguaje de programación adecuado, como, por ejemplo, JAVA, C++ y puede almacenarse en un medio legible por ordenador (disco extraíble, memoria volátil o no volátil, memoria/procesador integrado, etc.). El código de instrucciones se puede usar para programar un ordenador o cualquier otro dispositivo programable para llevar a cabo las funciones previstas. El programa informático puede estar disponible desde una red, como la red mundial de Internet, desde la cual puede descargarse.

La invención puede efectuarse por medio de un programa informático, respectivamente, el software. Sin embargo, la invención también se puede efectuar por medio de uno o más circuitos electrónicos específicos, respectivamente, el hardware. Además, la invención también puede efectuarse en una forma híbrida, es decir, en una combinación de módulos de software y módulos de hardware.

5 Cabe señalar que los modos de realización de la invención se han descrito con referencia a diferentes ámbitos. En concreto, algunos modos de realización se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo de método mientras que otros modos de realización se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo de aparato. Sin embargo, un experto en la técnica entenderá de la descripción anterior y la siguiente que, a menos que se indique otra cosa, se consideran divulgadas con este documento no solo cualquier combinación de características pertenecientes a un  
10 tipo de ámbito sino también cualquier combinación de características relacionadas con diferentes ámbitos, en concreto, de las características de las reivindicaciones de tipo de método y las características de las reivindicaciones de tipo de aparato.

Los aspectos definidos anteriormente y otros aspectos de la presente invención son evidentes a partir de los ejemplos de modo de realización que se describirán a continuación y que se explican con referencia a los ejemplos  
15 de modo de realización. La invención se describirá con más detalle a continuación con referencia a ejemplos de modo de realización, pero a los que la invención no está limitada.

#### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra de manera esquemática una descomposición de una corriente perturbadora en (a) una primera  
20 corriente  $I_1(n)$  perturbadora que es asignada a un convertidor de energía de un sistema de generación de energía eléctrica y en (b) una segunda corriente  $I_2(n)$  perturbadora que es asignada a una red eléctrica.

La figura 2 ilustra un modelo armónico de un convertidor de energía, que está representado como un circuito equivalente de Thevenin para cada orden armónica  $n$  de interés.

La figura 3 ilustra el modelo armónico del convertidor de energía junto con una representación de la red eléctrica.

La figura 4 ilustra una configuración para el cálculo de las tensiones  $U_{pwm}(n)$  armónicas proporcionadas por el  
25 convertidor de energía.

La figura 5 ilustra una configuración para el cálculo de las corrientes  $I_{pwm}(n)$  armónicas proporcionadas por el convertidor de energía.

La figura 6 ilustra un sistema de generación de energía eléctrica conectado a una red eléctrica a través de una  
30 conexión eléctrica, en donde en respuesta a un valor de tensión  $U_m(n)$  y un valor de corriente  $I_m(n)$  en la conexión eléctrica el funcionamiento de un convertidor de energía del sistema de generación de energía eléctrica se controla de manera que se minimiza la suma de las corrientes  $I_1(n)$  armónicas emitidas por el convertidor de energía y las corrientes  $I_2(n)$  armónicas causadas por los armónicos de fondo de la red eléctrica.

#### Descripción detallada

La ilustración en el dibujo es de manera esquemática. Cabe señalar que, en diferentes figuras, se proporcionan  
35 elementos similares o idénticos con los mismos signos de referencia o con signos de referencia que son diferentes de los signos de referencia correspondientes solo en el primer dígito.

La presente invención es especialmente útil para aplicaciones de turbinas eólicas a nivel de turbinas eólicas y/o en  
40 granjas eólicas que comprenden una pluralidad de turbinas eólicas. Sin embargo, la presente invención también se puede usar con otras configuraciones de energía eléctrica, como la conexión de una planta de energía solar o una planta de energía undimotriz a una red eléctrica, cuyas plantas también tienen sistemas de generación de energía distribuidos espacialmente y, si corresponde, convertidores de energía, respectivamente, convertidores de frecuencia para conectar los sistemas de generación de energía a la red eléctrica.

La figura 1 ilustra de manera esquemática una descomposición de una corriente perturbadora en (a) una primera  
45 corriente  $I_1(n)$  perturbadora que es asignada a un convertidor 110 de energía y en (b) una segunda corriente  $I_2(n)$  perturbadora que es asignada a una red 150 eléctrica. Según el modo de realización descrito aquí, el convertidor 110 de energía es parte de un sistema de generación de energía eléctrica no representado tal como una turbina eólica. El convertidor 110 de energía está conectado a la red 150 eléctrica por medio de una línea 170 de conexión eléctrica.

Como se aclarará a continuación con más detalle, la descomposición de la corriente perturbadora, que en este  
50 documento también se denomina corriente armónica, puede efectuarse empleando un modelo armónico. Después de descomponer o separar  $I_1(n)$  y  $I_2(n)$ , será posible controlar estas dos cantidades de manera independiente. Dicho control se puede hacer, en concreto, retroalimentando una señal de control a un controlador de corriente o de tensión (no mostrado en la figura 1) del convertidor 110 de energía. Esto puede, por ejemplo, permitir:

(A) Controlar la emisión de armónicos individuales desde el convertidor 110 de energía a cero o dentro de un cierto nivel.

(B) Filtrar parcialmente o totalmente armónicos específicos de la red 150 eléctrica.

5 (C) Controlar las corrientes armónicas totales en los terminales del convertidor 110 de energía a cero o mantenerse dentro de un cierto nivel.

10 La figura 2 ilustra un modelo armónico del convertidor 110 de energía, que se representa como un circuito equivalente de Thevenin para cada orden armónico de interés. El orden armónico de interés es indicado por "n". Cabe señalar que "n" puede ser un número entero o un número no entero. El circuito equivalente de Thevenin para el convertidor 110 de energía comprende una fuente 212 de tensión equivalente y una impedancia 214 característica. En la figura 2, la tensión de circuito abierto para el enésimo armónico se denomina con  $U_{pwm}(n)$ , el valor de impedancia característica del convertidor 110 de energía para el enésimo armónico se denomina con  $Z_{chm}(n)$  y la corriente armónica emitida desde el convertidor 110 de energía para el enésimo armónico se denomina con  $I_{chm}(n)$ .

15 El modelo armónico representa el convertidor 110 de energía que se usa en un sistema de generación de energía eléctrica tal como una turbina eólica como un número de circuitos de Thevenin equivalentes, representando cada uno la emisión armónica y la reacción a armónicos de fondo de la red 150 eléctrica en una única frecuencia armónica n. En este documento, el modelo armónico que se usa para describir el convertidor 110 de energía también se denomina modelo (chm) armónico de convertidor.

20 Cabe señalar que el modelo armónico descrito representa tanto los componentes pasivos (como inductores, condensadores y resistencias, transformador) que están presentes dentro de un sistema de generación de energía eléctrica, como también la impedancia de bucle cerrado del convertidor de energía incluyendo el efecto del algoritmo de control de software.

25 Como se describió anteriormente, las corrientes armónicas medidas en los terminales del convertidor 110 de energía están compuestas por dos componentes separados: corrientes generadas por el convertidor ( $I_1(n)$ ) de energía y corrientes que son consecuencia de la reacción del convertidor 110 de energía a armónicos de fondo en la red ( $I_2(n)$ ) eléctrica. A este respecto, hay que señalar que el convertidor 110 de energía y, específicamente, la impedancia 214 característica del convertidor 110 de energía amortiguarán las perturbaciones de tensión no deseadas de la red 150 eléctrica. A este respecto, la presencia del convertidor 110 de energía contribuye a una calidad de tensión mejorada de la red 150 eléctrica. Además, las corrientes armónicas generadas por el convertidor 30 110 de energía están determinadas por la impedancia de la red eléctrica. Esto se ilustra en la figura 3.

Cabe señalar que el que la "impedancia característica" amortigüe o no las "perturbaciones de tensión no deseadas" depende de las características de esta impedancia (el control del convertidor podría actuar de tal manera que no amortiguase los armónicos a ciertas frecuencias). El modelo armónico del convertidor permite determinar esto ya que incluye el sistema de control de circuito cerrado.

35 La figura 3 ilustra el modelo armónico del convertidor 110 de energía junto con una representación de la red 150 eléctrica. En la figura 3,  $U_{pwm}(n)$  representa las tensiones armónicas generadas por una conmutación de Modulación de Ancho de Pulso (PWM) en el convertidor 110 de energía,  $Z_{chm}(n)$  es de nuevo la impedancia 214 equivalente del convertidor 110 de energía,  $Z_{grid}(n)$  es la impedancia 354 de la red 150 eléctrica vista desde los terminales del convertidor 110 de energía y  $U_{grid}(n)$  representa las tensiones 352 armónicas de fondo de circuito abierto en la red eléctrica. Además,  $I_m(n)$  denomina los componentes de frecuencia individuales de la corriente armónica medida en los terminales del convertidor 110 de energía. En consecuencia,  $U_m(n)$  denomina los componentes de frecuencia individuales de la tensión armónica medida en los terminales del convertidor 110 de energía. En todas las cantidades "n" se refiere al orden armónico que puede ser entero o no entero.

45 Para analizar la emisión de corrientes armónicas desde el convertidor 110 de energía, los efectos de los armónicos de fondo de la red 150 eléctrica, así como la influencia de la impedancia de la red 150 eléctrica tienen que eliminarse de los resultados. Esto se puede lograr mediante dos simples pasos de cálculo (paso 1 y paso 2) en la evaluación del modelo de armónicos del convertidor. Hay que señalar que como alternativa también es posible derivar el modelo armónico del convertidor identificando los parámetros del modelo a partir de los componentes  $U_m(n)$  de frecuencia individuales de la tensión armónica medida y los componentes  $I_m(n)$  de frecuencia individuales de la corriente medida por medio de algoritmos de identificación apropiados.

Paso 1: Cálculo de la tensión armónica  $U_{pwm}(n)$

Las tensiones armónicas generadas por el convertidor 110 de energía (tensiones de circuito abierto  $U_{pwm}(n)$ ) se derivan de las corrientes  $I_m(n)$  armónicas medidas y las tensiones  $U_m(n)$  armónicas medidas junto con la impedancia 214 interna del convertidor 110 de energía. Esto se ilustra en la figura 4.

La figura 4 ilustra una configuración para el cálculo de las tensiones  $U_{pwm}(n)$  armónicas proporcionadas por el convertidor 110 de energía. El número de referencia 456 denomina una unidad de medida ficticia para medir las tensiones  $U_m(n)$  armónicas.

Las tensiones de circuito abierto  $U_{pwm}(n)$  del convertidor 110 de energía vienen determinadas por:

$$5 \quad U_{pwm}(n) = U_m(n) + I_m(n) \cdot Z_{chm}(n)$$

En la derivación de  $U_{pwm}(n)$ , la impedancia 214 interna del convertidor 110 de energía se toma como conocida. La exactitud de esta impedancia 214 se puede verificar, por ejemplo, mediante mediciones de laboratorio o mediciones bajo diferentes condiciones de red, por ejemplo, midiendo diferentes sistemas de generación de energía eléctrica.

Paso 2: Cálculo de la corriente armónica  $I_{chm}(n)$

10 A continuación, el cálculo de las corrientes  $I_{chm}(n)$  armónicas se describe con referencia a la figura 5 que ilustra una configuración para el cálculo de corrientes  $I_{chm}(n)$  armónicas proporcionadas por el convertidor 110 de energía.

15 Cuando se conocen la tensión  $U_{pwm}(n)$  de circuito abierto y la impedancia  $Z_{chm}(n)+Z_{grid}(n)$  total, puede derivarse la emisión de corriente armónica del convertidor 110 de energía. Como es conveniente eliminar las características individuales de la red eléctrica de los resultados obtenidos, la impedancia  $Z_{grid}(n)$  se reemplaza por una impedancia  $Z_{grid\_f}(n)$  ficticia de una red 550 ficticia que tiene una impedancia característica. En la figura 5, la impedancia  $Z_{grid\_f}(n)$  ficticia se denomina con el número de referencia 554. Reemplazar la impedancia  $Z_{grid}(n)$  con la impedancia  $Z_{grid\_f}(n)$  ficticia puede proporcionar la ventaja de que las emisiones de corriente armónica de diferentes convertidores 110 de energía, que se asignan a diferentes sistemas de generación de energía eléctrica (por ejemplo, turbinas eólicas) se pueden comparar directamente entre sí.

20 A partir del circuito presentado en la figura 5, la emisión de corriente armónica de la turbina puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$I_{chm}(n) = U_{pwm}(n) / [Z_{chm}(n) + Z_{grid\_f}(n)]$$

Se puede realizar un control independiente de  $I_1(n)$  y  $I_2(n)$  mediante el siguiente procedimiento:

25 Las fuentes eléctricas internas complejas derivadas -esto estando  $U_{chm}$  en la representación de Thevenin mostrada anteriormente, o de manera equivalente, una fuente de corriente obtenida al transformar el equivalente de Thevenin en un equivalente de Norton- pueden ser retroalimentada a una señal de referencia apropiada para una unidad de control del convertidor de energía. Al funcionar en respuesta a dicha señal de referencia, el convertidor 110 de energía será capaz bien de eliminar su emisión armónica, para mantener la emisión dentro de un cierto nivel y/o de alterar la fase de los armónicos individuales para cancelar los armónicos entre convertidores de energía adyacentes de un sistema superior (por ejemplo, una granja eólica) que comprende una pluralidad de sistemas de generación de energía eléctrica (por ejemplo, turbinas eólicas).

30 Una posible configuración para dicho procedimiento de control se ilustra en la figura 6. La figura 6 muestra un sistema de generación 600 de energía eléctrica conectado a una red 150 eléctrica a través de una línea 170 de conexión eléctrica. El sistema 600 de generación de energía eléctrica comprende (a) un convertidor 110 de energía, (b) un generador 602 eléctrico para convertir energía mecánica en energía eléctrica, (c) una unidad 656 de medición para medir una señal  $i_m$  de corriente sin rectificar, (d) una unidad 658 de medición para medir una señal de tensión sin rectificar  $u_m$ , (e) una unidad 615 de procesamiento de datos y (f) una unidad 611 de control para una modulación PWM del convertidor 110 de energía.

35 Según el modo de realización descrito aquí, la corriente  $i_m$  medida sin rectificar y la tensión  $u_m$  medida sin rectificar son ambas introducidas en la unidad 615 de procesamiento de datos en la que se calculan los armónicos individuales de interés  $I_m(n)$  y  $U_m(n)$ , respectivamente, y se aplican junto con la impedancia interna conocida del convertidor 110 de energía,  $Z_{chm}$ , para derivar las fuentes  $U_{pwm}(n)$  y  $I_{chm}(n)$  eléctricas armónicas internas individuales (ver figura 5). Estas fuentes eléctricas armónicas derivadas se recogen entonces bien en un valor  $U_{ref}$  de referencia de tensión y/o en un valor  $I_{ref}$  de referencia de corriente. Este/Estos valores de referencia se añaden entonces a una señal de referencia para la unidad 611 de control que controla el funcionamiento del convertidor 110 de energía. Según el modo de realización descrito aquí, en respuesta al valor  $U_{ref}$  de referencia de tensión y/o el valor  $I_{ref}$  de referencia de corriente la unidad 611 de control controla el funcionamiento del convertidor 110 de energía de manera que la suma de las corrientes armónicas  $I_1(n)$  emitidas por el convertidor 110 de energía y las corrientes armónicas  $I_2(n)$  causadas por los armónicos de fondo de la red 150 eléctrica se minimizan.

40 La separación de los armónicos en  $I_1(n)$  y  $I_2(n)$  pone de manifiesto en concreto las siguientes ventajas:

(A) Caracterización más precisa de los armónicos emitidos por un sistema de generación de energía eléctrica que comprende un dispositivo de energía eléctrica como, por ejemplo, un convertidor de energía/frecuencia.

(B) Posibilidad de obtener las características deseadas, por ejemplo, cancelación de los armónicos generados por un dispositivo de energía eléctrica como un convertidor de energía/frecuencia al retroalimentar una fuente armónica derivada a la referencia apropiada para controlar el funcionamiento del dispositivo de energía eléctrica, eliminando así la fuente armónica.

5 (C) Es posible diseñar el tamaño correcto del equipo de filtro en un nivel de turbina eólica o en una granja eólica sin tener que dimensionar por exceso o por defecto el equipo de filtro.

(D) Representación correcta y muy precisa del convertidor de energía/frecuencia incluyendo el sistema de control y las impedancias conectadas en relación con los armónicos de fondo de una red eléctrica.

10 (E) La separación de los armónicos en  $I_1(n)$  y  $I_2(n)$  se puede utilizar para fines de medición, donde no es posible conectar el dispositivo de energía eléctrica que genera los armónicos a una red eléctrica (sin perturbaciones). Esto permite una comparación fiable entre diferentes dispositivos de energía eléctrica, que pueden ser fabricados por diferentes compañías de producción.

15 (F) Posibilidad de cambiar un ángulo de fase de armónicos individuales de manera que interfieran de manera destructiva con los armónicos individuales correspondientes de al menos otro dispositivo de energía eléctrica o convertidor de energía/frecuencia.

Lista de signos de referencia

110 convertidor de energía/convertidor de frecuencia

150 red eléctrica

170 línea de conexión eléctrica

20 212 fuente de tensión equivalente del convertidor de energía

214 impedancia característica del convertidor de energía

352 fuente de tensión equivalente de la red eléctrica/tensiones armónicas de fondo de circuito abierto

354 impedancia característica de la red eléctrica

456 unidad de medida para medir un valor de tensión del enésimo armónico

25 550 red eléctrica ficticia

554 impedancia característica de la red eléctrica ficticia

600 sistema de generación de energía eléctrica

602 generador eléctrico

611 unidad de control para la modulación PWM del convertidor de energía

30 615 unidad de procesamiento de datos

656 unidad de medida para medir la tensión sin rectificar

658 unidad de medida para medir la corriente sin rectificar

$I_1(n)$  corriente armónica causada por el convertidor de energía para el enésimo armónico

$I_2(n)$  corriente armónica causada por la red eléctrica para el enésimo armónico

35 Upwm(n) tensión de circuito abierto para el enésimo armónico

Zchm(n) valor de impedancia característica del convertidor de energía para el enésimo armónico

Ichm(n) corriente armónica del convertidor de energía para el enésimo armónico

Im(n) valor de corriente medida del enésimo armónico

Um(n) valor de tensión medida del enésimo armónico

40 Uref valor de referencia de tensión

Iref valor de referencia de corriente

i\_m señal sin rectificar de corriente

u\_m señal sin rectificar de tensión

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para mitigar una perturbación en una señal eléctrica presente en una conexión (170) eléctrica entre un sistema de generación de energía eléctrica (110, 600) que comprende un convertidor (110) de energía y una red (150) eléctrica, en donde una primera perturbación (I1(n)) con una primera intensidad se asigna al sistema de generación de energía eléctrica (110, 600), y una segunda perturbación (I2(n)) con una segunda intensidad se asigna a la red (150) eléctrica,
- 5 el método que comprende
- determinar la intensidad de la primera perturbación (I1(n)),
- derivar una señal (Uref, Iref) de control basada en la intensidad determinada de la primera perturbación (I1(n)) y
- 10 controlar el funcionamiento del sistema de generación de energía eléctrica (110, 600) en respuesta a la señal (Uref, Iref) de control de manera que la suma de las corrientes (I1(n)) armónicas emitidas por el convertidor (110) de energía y las corrientes (I1(n)) armónicas causadas por los armónicos de fondo de la red (150) eléctrica se minimizan,
- en donde determinar la intensidad de la primera perturbación (I1(n)) comprende
- 15 determinar un valor (Um(n)) de tensión de una tensión de la señal eléctrica,
- determinar un (Im(n)) valor de corriente de una corriente de la señal (Ichn(n)) eléctrica,
- calcular un valor de tensión (Upwm(n)) de circuito abierto de una fuente (212) de tensión equivalente caracterizando el sistema (110, 600) de generación de energía eléctrica en un modelo armónico del sistema (110, 600) de generación de energía eléctrica basado en el valor (Um(n)) de tensión determinado, en el valor (Im(n)) de corriente determinado y en una impedancia (Zchm(n)) equivalente característica del sistema (110, 600) de generación de energía eléctrica, y
- 20 determinar la intensidad de la primera perturbación (I1(n)) en función del valor calculado de la tensión (Upwm(n)) de circuito abierto de la fuente (212) de tensión equivalente.
2. El método como se establece en la reivindicación anterior, en donde la señal eléctrica comprende al menos dos componentes de frecuencia,
- 25 la determinación del valor (Im(n)) de tensión se relaciona con uno de los al menos dos componentes de frecuencia,
- la determinación del valor (Um(n)) de corriente se relaciona con uno de los al menos dos componentes de frecuencia y
- la impedancia (214) equivalente característica se relaciona con uno de los al menos dos componentes de frecuencia.
3. El método como se establece en la reivindicación precedente, en donde la primera perturbación es una primera corriente (I1(n)) armónica compleja y
- 30 la segunda perturbación es una segunda corriente (I2(n)) armónica compleja.
4. El método como se establece en una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde
- las primeras perturbaciones (I1(n)) son causadas por un convertidor (110) de energía del sistema (600) de generación de energía eléctrica.
- 35 5. El método como se establece en la reivindicación precedente, en donde las primeras perturbaciones (I1(n)) están relacionadas con una operación de conmutación del convertidor (110) de energía.
6. El método como se establece en una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde
- 40 la primera perturbación (I1(n)) comprende una señal de tensión perturbadora, que está determinada por el valor de tensión (Upwm(n)) de circuito abierto de la fuente (212) de tensión equivalente que caracteriza el sistema (110, 600) de generación de energía eléctrica en el modelo armónico, en donde el
- cálculo del valor de tensión (Upwm(n)) de circuito abierto usa la fórmula
- $$U_{pwm}(n) = U_m(n) + I_m(n) \cdot Z_{chm}(n)$$
- en donde
- 45 - Upwm(n) es la tensión perturbadora y la tensión de circuito abierto,

- Um(n) es el valor de tensión medida,
- Im(n) es el valor de corriente medida,
- Zchm(n) es la impedancia equivalente característica del sistema de generación de energía eléctrica y
- n es un valor de parámetro que es indicativo para el componente de frecuencia, en el que se determina la intensidad de la primera perturbación.

5 7. El método como se establece en la reivindicación precedente, en donde la primera perturbación (I1(n)) comprende además una señal (Ichm(n)) de corriente perturbadora, que está determinada por la fórmula

$$I_{chm}(n) = U_{pwm}(n) / [Z_{chm}(n) + Z_{grid\_f}(n)]$$

en donde

10 - Zgrid\_f(n) es un valor de impedancia predefinido que se asigna a la impedancia equivalente de la red eléctrica.

8. El método como se establece en una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde

15 el sistema (600) de generación de energía eléctrica comprende una unidad (611) de control, que en respuesta a la señal (Uref, Iref) de control controla el funcionamiento del convertidor (110) de energía de manera que la primera intensidad de la primera perturbación (I1(n)) y/o la segunda intensidad de la segunda perturbación (I2(n)) se mitigan.

9. Una unidad de procesamiento de datos para mitigar una perturbación en una señal eléctrica que está presente en una conexión (170) eléctrica entre un sistema (110, 600) de generación de energía eléctrica y una red (150) eléctrica, en donde

20 una primera perturbación (I1(n)) con una primera intensidad se asigna al sistema (110, 600) de generación de energía eléctrica, y

una segunda perturbación (I2(n)) con una segunda intensidad se asigna a la red (150) eléctrica, en donde la unidad (615) de procesamiento de datos está adaptada para controlar el método como se establece en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 y 8.

25 10. Un sistema de generación de energía eléctrica, en concreto una turbina eólica, el sistema (600) de generación de energía eléctrica que comprende

un generador (602) eléctrico para convertir energía mecánica en energía eléctrica,

un equipo (110) eléctrico para conectar el generador eléctrico a una conexión (170) eléctrica entre el sistema (600) de generación de energía eléctrica y una red (150) eléctrica, y

una unidad (615) de procesamiento de datos como se establece en la reivindicación precedente.

30 11. Un programa informático para mitigar una perturbación en una señal eléctrica que está presente en una conexión (170) eléctrica entre un sistema (110, 600) de generación de energía eléctrica y una red (150) eléctrica, en donde

una primera perturbación (I1(n)) con una primera intensidad se asigna al sistema (110, 600) de generación de energía eléctrica, y

35 una segunda perturbación (I2(n)) con una segunda intensidad se asigna a la red (150) eléctrica, el programa informático, cuando se ejecuta mediante un procesador (615) de datos, se adapta para controlar y/o llevar a cabo el método como se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

FIG 1

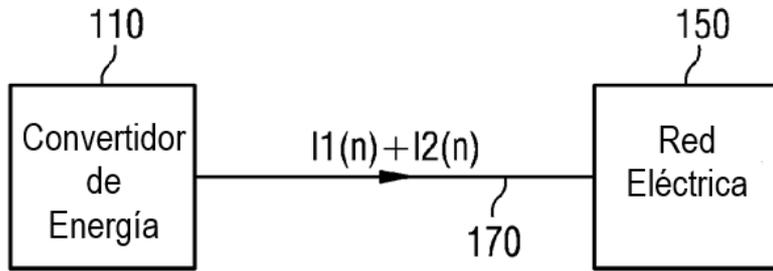


FIG 2

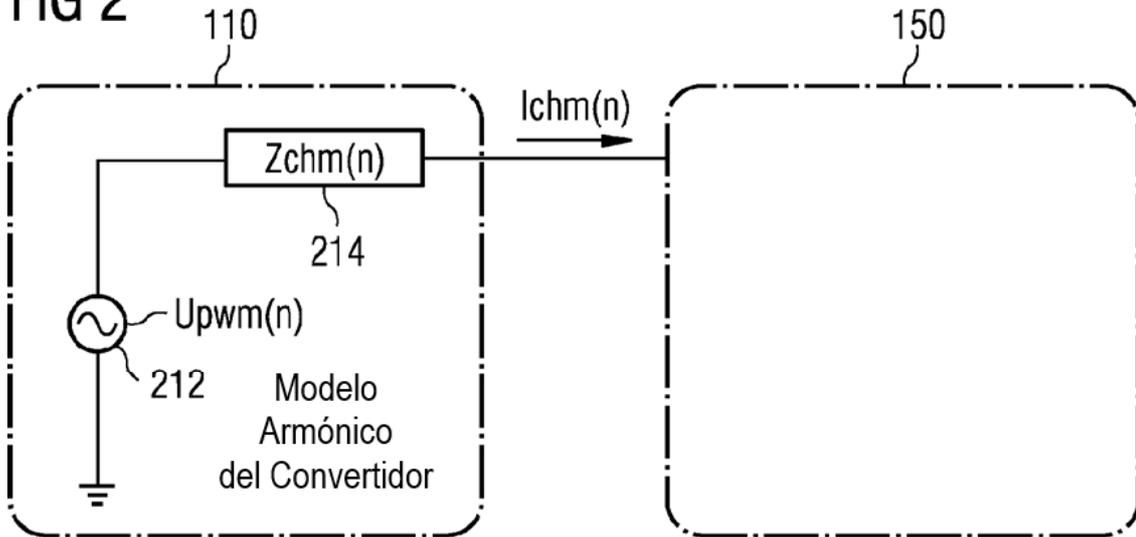


FIG 3

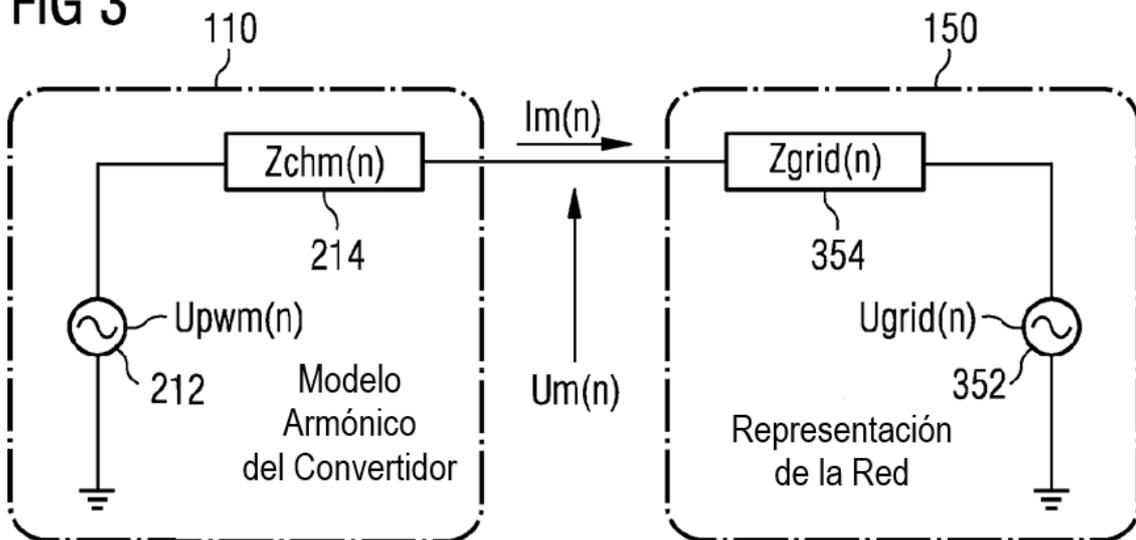


FIG 4

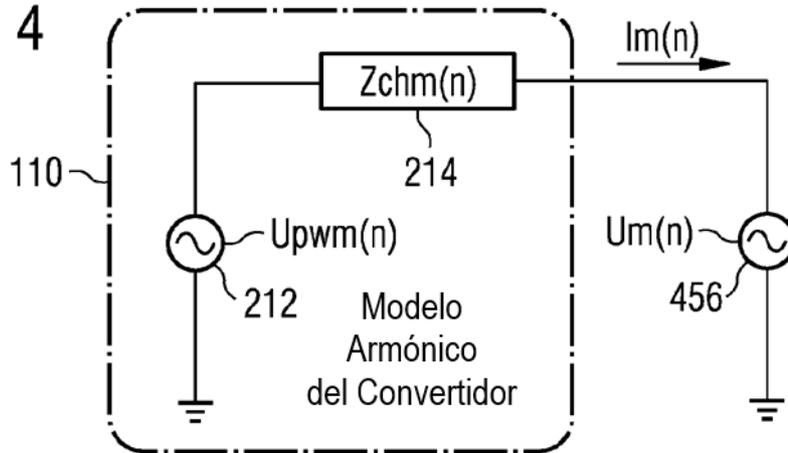


FIG 5

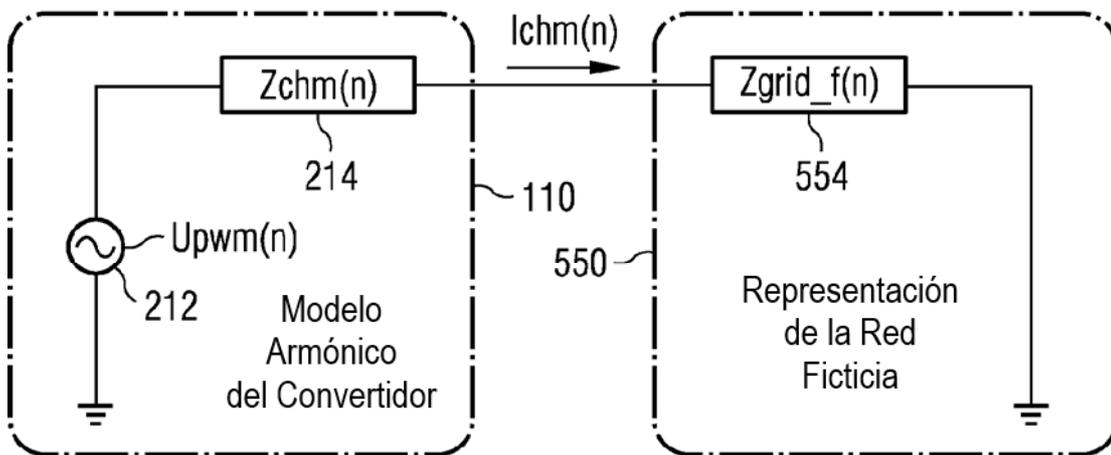


FIG 6

