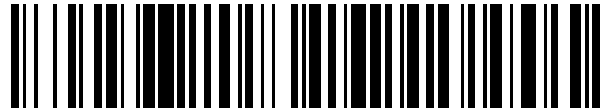


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 153**

51 Int. Cl.:

H02P 29/00 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)
F03D 9/00 (2006.01)
H02J 3/01 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
G01R 23/167 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2013 E 13702002 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.01.2016 EP 2807743**

54 Título: **Predicador de armónicos de un parque eólico y procedimiento correspondiente**

30 Prioridad:

24.01.2012 US 201261590100 P

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

11.04.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

LETAS, HEINZ-HERMANN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 566 153 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

Predictor de armónicos de un parque eólico y procedimiento correspondiente.

La invención concierne a un parque eólico con al menos dos instalaciones de energía eólica que presentan cada una de ellas un generador con un convertidor de frecuencia para generar energía eléctrica.

5 Para el funcionamiento de un parque eólico en la red de transmisión eléctrica es de importancia creciente, a causa del número y tamaño crecientes de los parques eólicos, que éstos actúen con efecto estabilizador sobre la red. Por tanto, los parques eólicos prestan su contribución a la función de asegurar la estabilidad de la red eléctrica. Un parámetro esencial de la calidad de la red es el contenido de armónicos. Las ordenanzas pertinentes limitan la amplitud en función del orden de los armónicos para obtener una calidad suficiente de la red. Los modernos
10 convertidores de frecuencia de instalaciones de energía eólica controladas generan, debido a los procesos de conmutación en el convertidor de frecuencia, unos armónicos de diferente naturaleza, tanto los de orden par e impar como los de posición de fase rígida con respecto a la red o los de posición de fase variable con respecto a la red. Las instalaciones de energía eólica se dimensionan en el marco de una comprobación de tipos a realizar para cada tipo de instalación de energía eólica y, a partir de esta comprobación, se determinan valores característicos. Si
15 deben conectarse varias instalaciones de energía eólica a la red, tal como en el caso de un parque eólico, se determinan en general los armónicos con ayuda de un procedimiento de cálculo a partir de los valores para las distintas instalaciones de energía eólica. Los armónicos entregados en total por el parque eólico tienen que permanecer dentro de ciertos valores límite. En la práctica, esto tiene frecuentemente una repercusión limitadora sobre el parque eólico. El comportamiento optimizado de los armónicos de parques eólicos con varias instalaciones de energía eólica es objeto de diferentes documentos, por ejemplo, EP2209200 y EP1959136.

En el cálculo de los armónicos para parques eólicos basándose en los valores de medida certificados para cada instalación de energía eólica individual se procede de manera diferente según la naturaleza del armónico: Los armónicos con bajos números de orden impares se consideran como típicos para convertidores de frecuencia guiados por una máquina o una red en la técnica de los tiristores. Los armónicos son rígidos en fase, referido a la
25 oscilación fundamental, y los armónicos de las distintas instalaciones de energía eólica se suman escalarmente. Resulta para un parque con N instalaciones de energía eólica el valor N veces mayor que el de una única instalación de energía eólica. Los armónicos de orden superior, especialmente en el dominio de la frecuencia de conmutación de los convertidores de frecuencia, se consideran como típicos para inversores de impulsos de marcha libre. La posición de fase de las instalaciones de energía eólica provistas de ellos no está fijamente referida a la oscilación fundamental, sino que puede tener una deriva con respecto a ella. En realidad, la posición de fase está igualmente dividida de forma estática. Por tanto, los valores de las distintas instalaciones de energía eólica no se suman directamente, sino que, según la distribución estática, se puede iniciar para estos armónicos un crecimiento correspondiente a la raíz cuadrada de las instalaciones de energía eólica (100 instalaciones de energía eólica generan así no 100 veces, sino solamente 10 veces el valor de una única instalación de energía eólica). Dado que,
30 referido a la actuación a bajos números de orden, resulta una reducción con la multiplicación escalar, se habla también de un factor de reducción de $1/\sqrt{N}$.

En las ordenanzas se consideran tan sólo insuficientemente los armónicos con números de orden bajos, pero pares. En general, éstos contienen una proporción considerable rígida en fase, es decir que rígido en fase y variable en fase están mezclados. Por tanto, no se puede utilizar el factor de reducción $1/\sqrt{N}$ aplicable a armónicos de fase variable. Convencionalmente, se efectúa por ello una adición escalar directa sin reducción. Esto es insatisfactorio, ya que los valores límite son con frecuencia bastante bajos, con lo que se limita netamente el tamaño del parque eólico respecto del número de instalaciones de energía eólica.

Además, la diversidad de los procedimientos de cálculo hace que, según la naturaleza del componente armónico, la utilización resulte engorrosa.

45 La invención se basa en el problema de evitar este inconveniente y conseguir una reducción universal que pueda utilizarse para todos los armónicos pares, impares y también situados en frecuencias intermedias, concretamente en particular también en el caso de bajos armónicos pares.

La solución según la invención reside en las características de las reivindicaciones 1, 7 y 9 independientes. Perfeccionamientos ventajosos son objeto de las reivindicaciones subordinadas.

50 En un parque eólico con al menos dos instalaciones de energía eólica que presentan cada una de ellas un generador con un convertidor de frecuencia para generar energía eléctrica, se ha previsto según la invención un predictor de armónicos que determina el componente armónico esperado del parque eólico para limitarlo a un valor límite de armónico y que está construido para ello con un módulo de cálculo que calcula un valor medio complejo a lo largo de al menos un periodo del componente armónico de una de las instalaciones de energía eólica y determina
55 a partir del mismo un primer vector sustitutivo, un módulo de iteración que conecta el módulo de cálculo sucesivamente a al menos otra de las instalaciones de energía eólica para formar al menos un segundo valor sustitutivo, y un módulo de suma que suma los vectores sustitutivos para formar un vector total y compara éste con

el valor límite de armónico.

En primer lugar, se explicarán algunos términos empleados:

Por un valor medio complejo se entiende un valor medio que se calcula en el plano de números complejos teniendo en cuenta la parte real y la parte imaginaria del componente armónico. Por tanto, se trata de un número complejo.

- 5 Por "conecta ... sucesivamente" se extiende que el módulo de iteración coopera con el módulo de cálculo de tal manera que se forma el valor medio complejo para una segunda instalación de energía eólica y eventualmente para una tercera, una cuarta y otras instalaciones de energía eólica, con lo que se forman correspondientemente unos segundos, unos terceros, unos cuartos y eventualmente otros vectores sustitutivos.

10 La invención se basa en el conocimiento de que se hace posible una estimación más exacta del componente armónico entregado en conjunto por las instalaciones de energía eólica de un parque eólico teniendo en cuenta las respectivas posiciones de fase medias. La invención consigue esto de una manera elegante por la combinación de un cálculo por separado para cada instalación de energía eólica, realizándose esto sucesivamente en un procedimiento de iteración para todas las instalaciones de energía eólica del parque eólico que se deben considerar, con una suma subsiguiente de las distintas instalaciones de energía eólica. El cálculo del parque eólico realizable tan sólo con dificultad es reducido en su totalidad a un cálculo de las distintas instalaciones de energía eólica, consiguiéndose una consideración en fase correcta mediante la construcción del módulo de cálculo con implementación de un formador de valor medio complejo. Las instalaciones de energía eólica con partes de fase variable de los armónicos que están decaladas una respecto de otra, se anulan así parcialmente o se suman en tan sólo una pequeña medida. Finalmente, con esta suma vectorial se determina un valor total para todo el parque eólico que es considerablemente más pequeño que el convencionalmente calculado.

15 La invención ha reconocido que un predictor formado según este principio estima los armónicos con suficiente exactitud incluso en aquellos casos en los que los armónicos están integrados por un constituyente de fase rígida y un constituyente de fase variable. Convencionalmente, solo se determinan por adición vectorial los casos con armónicos de fase puramente variable. La invención hace posible esto ahora también para casos mixtos y consigue así un predictor ampliamente utilizable. Éste es adecuado para todos los armónicos, sean pares, impares o bien tengan frecuencias intermedias. En particular, este predictor es adecuado también para uso en los armónicos pares de orden bajo que hasta ahora solamente se tenían en cuenta de manera insuficiente.

20 Por tanto, por medio del predictor según la invención se puede conseguir una estimación sensiblemente más exacta del componente armónico entregado en conjunto por el parque eólico, en concreto precisamente también y especialmente en los casos en los que el componente armónico es un caso mixto de parte de fase rígida y parte de fase variable. Se obtiene así un considerable salto hacia delante en comparación con la estimación usual hasta ahora en el estado de la técnica, basada en una adición escalar pura. Con el predictor según la invención se hace así posible que se dispongan más instalaciones de energía eólica en una conexión dada.

25 Convenientemente, el módulo de iteración y el módulo de suma están combinados formando un módulo de recursión. Se puede determinar así de manera sencilla y perfectamente comprensible el componente armónico para un número creciente de instalaciones de energía eólica en el parque eólico. Es así posible interrumpir la recursión cuando se haya alcanzado el valor límite del componente armónico. El predictor de armónicos emite directamente de esta manera el número de instalaciones de energía eólica que se pueden conectar como máximo para un parque eólico. Esto supone una simplificación considerable para la aplicación práctica.

30 Preferiblemente, el módulo de cálculo presenta una unidad de compensación para una parte de fase rígida del componente armónico de la instalación de energía eólica, un rotador para una parte de fase variable del componente armónico y un vectorizador que está concebido para determinar el vector sustitutivo basándose en valores medios de la unidad de compensación y el rotador según magnitud y ángulo. Por medio de la unidad de compensación se puede determinar especialmente de manera sencilla la parte de fase rígida. Característico de ésta es que presenta típicamente siempre la misma fase para las instalaciones de energía eólica consideradas del parque eólico. Por tanto, se puede calcular de manera simplificada por medio de la unidad de compensación. Para la parte de fase variable está previsto preferiblemente un rotador que representa la parte de circulación variable del componente armónico. La parte de fase variable no está, por definición, acoplada rigidamente en las diferentes instalaciones de energía eólica consideradas, sino que estas partes están acopladas independientemente una de otra. Por tanto, en el cálculo vectorial resultan diferentes direcciones para los vectores (aun cuando éstos presenten todos ellos la misma magnitud o longitud), de modo que, a causa de la diversidad angular, se reproduce en ellos la reducción deseada. El vectorizador capta estas diferencias respecto de los ángulos y las tiene en cuenta en la adición para determinar finalmente el valor sustitutivo, que viene determinado por una magnitud determinada (longitud del vector) y un ángulo determinado (posición de fase).

35 En una forma de realización especialmente ventajosa que eventualmente merece protección independiente, el convertidor de frecuencia de la instalación de energía eólica es ajustable respecto de sus partes de fase rígida y de fase variable del componente armónico. Se ha visto que ciertamente los armónicos no pueden ser evitados

(completamente) en los modernos inversores de impulsos de alta frecuencia, pero pueden ser influenciados con respecto a su posición de fase media. Como quiera que se desplaza la ponderación entre una parte de fase rígida y una parte de fase variable, se puede influenciar así la magnitud y sobre todo la posición angular del vector sustitutivo. Se pueden ajustar así para las distintas instalaciones de energía eólica aquellos valores que se neutralizan mutuamente del modo más amplio posible en su influencia sobre los armónicos. Se hace así posible prever más instalaciones de energía eólica en el parque eólico sin sobrepasar el valor límite de armónico. Convenientemente, el predictor de armónicos coopera para ello con un limitador. Éste regula la relación entre la parte de fase rígida y la parte de fase variable de tal manera que se consiga una reducción al valor límite deseado. El limitador puede estar configurado alternativa o adicionalmente también de modo que se limite el número de instalaciones de energía eólica que entregan energía eléctrica, para garantizar así en casos críticos que se mantenga el valor límite de armónico.

Preferiblemente, el predictor de armónicos está concebido especialmente para armónicos de orden par, concretamente en particular hasta los de orden 50. Se prefiere especialmente un diseño para armónicos bajos (hasta el orden 20) y/o armónicos altos en el dominio de la frecuencia de conmutación del convertidor de frecuencia.

La invención se extiende también a un procedimiento para limitar el componente armónico generado por un parque eólico, en donde el parque eólico comprende al menos dos instalaciones de energía eólica que presentan cada una de ellas un generador con un convertidor de frecuencia para generar energía eléctrica, estando previstos según la invención para una primera de las instalaciones de energía eólica un cálculo de un valor medio complejo a lo largo de al menos un periodo del componente armónico y, a partir del mismo, una determinación de un primer vector sustitutivo con magnitud y ángulo, y estando previstos de la misma manera una determinación iterativa de un segundo vector sustitutivo para al menos una segunda de las instalaciones de energía eólica y, finalmente, un empleo del primer vector sustitutivo como punto de base para el segundo vector sustitutivo para la suma y la formación subsiguiente de un vector total y para su comparación con el valor límite de armónico. Por punto de base de un vector se entiende el lado opuesto a la punta.

Para una explicación más detallada del procedimiento, se hace referencia a la explicación dada anteriormente para el parque eólico.

La invención se extiende también a un predictor de armónicos correspondiente para un parque eólico y al procedimiento correspondiente. Se hace referencia a las explicaciones anteriores. Además, se hace notar que el predictor de armónicos puede estar provisto convenientemente de una interfaz de simulación. Ésta sirve para funcionar como interfaz con un entorno de simulación en el que está implementado el parque eólico con sus instalaciones de energía eólica. Esto hace posible que el predictor de armónicos según la invención tenga también ya aplicación a parques eólicos en su fase de proyecto y planificación, es decir sin que tengan que estar ya materializados. Resulta así una ampliación considerable del espectro de aplicación del predictor de armónicos según la invención.

Se explicará seguidamente la invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que se representa un ejemplo de realización ventajoso. Muestran:

La figura 1, una representación general de un parque eólico con un predictor de armónicos según la invención;

La figura 2, una forma de realización alternativa con el predictor de armónicos según la invención;

La figura 3, un diagrama para la reducción del componente armónico conseguida con el predictor de armónicos;

La figura 4, una representación de las porciones de fase rígida y de fase variable del componente armónico de una instalación de energía eólica;

La figura 5, magnitudes y valores medios del componente armónico representados a lo largo de un periodo;

La figura 6, una ilustración gráfica del procedimiento de predicción para tres instalaciones de energía eólica; y

La figura 7, una representación ampliada de un gran número de instalaciones de energía eólica en el parque eólico.

En la figura 1 está representado un ejemplo de realización de un parque eólico con un predictor de armónicos según la invención. El parque eólico comprende una pluralidad de instalaciones de energía eólica 1, estando previstas tres instalaciones de energía eólica en el ejemplo de realización representado. Éstas son de construcción equivalente y se han marcado, para su identificación, con los números romanos I, II y III. Las instalaciones de energía eólica 1 presentan cada una de ellas un generador asíncrono 10 de doble alimentación con un convertidor de frecuencia 11 y, para la entrega de la energía eléctrica generada, están conectadas a una red colectora 2 que está configurada como una red de media tensión. Ésta se extiende hasta un punto de conexión 3 que usualmente incluye un transformador de alta tensión (no representado) para la conexión a una red de alta tensión 9.

Asimismo, está previsto un gestor 5 del parque eólico que ejerce una regulación de rango superior para las

instalaciones de energía eólica del parque eólico. El maestro 5 del parque eólico está unido con las instalaciones de energía eólica 1 a través de una red de líneas de señalización separada 4.

Además, está conectado un predictor de armónicos 6 a la red de líneas de señalización 4. Éste comprende un módulo de cálculo 61, un módulo de iteración 62 y un módulo de suma 63. El módulo de iteración 62 y el módulo de suma 63 están agrupados formando un módulo de recursión 64. En el módulo de cálculo 61 está dispuesta una entrada 65 para el orden del armónico n que ha de ser tratado por el predictor de armónicos. Usualmente, se prefijan aquí pequeños números de orden pares. Asimismo en el predictor de armónicos 6 está prevista una entrada 66 para un valor límite de armónico. Una conexión de salida 67 del predictor de armónicos 6 se extiende de vuelta hasta un limitador 68 que está dispuesto en el gestor 5 del parque.

A través de la red de líneas de señales 4 se suministran señales por la instalación de energía eólica 1 al componente armónico que se debe tratar, concretamente en particular con respecto a la porción de fase rígida y la porción de fase variable. En general, estas informaciones están presentes en un controlador del funcionamiento de la instalación de energía eólica 1 y pueden ser recuperadas del mismo, ya que este controlador dispone de sensores correspondientes en la propia instalación de energía eólica 1. Sin embargo, puede estar previsto también que se capten por separado los valores correspondientes por sensores 14 en las distintas instalaciones de energía eólica y se transmitan éstos a través de la red de líneas de señales 4.

El módulo de cálculo 61 determina a partir de los valores así adquiridos un valor medio complejo del componente armónico a lo largo de al menos un periodo completo y calcula a partir del mismo un vector sustitutivo. Esto se representa seguidamente con más detalle haciendo referencia a las figuras 4 y 5.

En la figura 4 se representa en el plano complejo un armónico de una de las instalaciones de energía eólica, sirviendo como ejemplo la instalación de energía eólica I. El armónico presenta una parte de fase rígida y una parte de fase variable. El sistema de coordenadas para la representación compleja del armónico se ha elegido de modo que la parte de fase rígida esté situada sobre el eje real. La parte de fase rígida se ha representado en la figura 4 con una flecha horizontal de trazos. Se añade a la parte de fase rígida la parte de fase variable, la cual se ha representado como un vector giratorio en forma circular con una delgada flecha de trazo continuo. Esta flecha gira (rota) con la frecuencia resultante del orden del armónico. El valor total del armónico se representa en cualquier momento deseado por la punta de la flecha delgada, cuyo punto de base está situado en la punta de la flecha de trazos para la parte de fase rígida. Resultan de esto los valores característicos representados en la figura 5. La parte real del armónico está representada en la figura 5 por la línea de trazos y la parte imaginaria del armónico está representada por la línea continua. La magnitud del número complejo, que viene definido por la respectiva parte real y la respectiva parte imaginaria, se representa por la línea de trazos y puntos. Es llamativo el hecho de que esta línea, a diferencia de las líneas para la parte real y la parte imaginaria, no presenta un trazado de forma sinusoidal, sino que más bien presenta un achatamiento en la zona en torno al ángulo de 180° . Esto resulta de que, al considerar la punta de la flecha de la línea continua en la figura 4, ésta presenta en el recorrido del extremo izquierdo del círculo, es decir, en la zona vuelta hacia el eje imaginario, una distancia casi uniforme al origen. Esto significa que en esta zona es mínima la magnitud del vector para todo el armónico que corre desde el origen hasta la punta de la flecha continua. Por tanto, el achatamiento resulta finalmente de la superposición del desplazamiento lineal por la porción de fase rígida, que actúa como una compensación, y de la rotación por la parte de fase variable.

Asimismo, en la figura 5 se representan como líneas horizontales los valores medios para la parte real (línea de trazo) y el valor medio para el valor total del armónico (parte de fase rígida y parte de fase variable) en representación en línea de trazos y puntos. El valor medio para el vector complejo del armónico es también complejo y está representado por una cruz en la figura 4. Esta cruz sirve según la invención como vector sustitutivo para el armónico, cuya magnitud corresponde a la amplitud media del armónico. El módulo de cálculo 61 suministra en su salida este valor medio complejo como vector sustitutivo.

El módulo de iteración 62 cuida de que el cálculo representado anteriormente en el ejemplo de la instalación de energía eólica I se repita de manera correspondiente para las demás instalaciones de energía eólica, en el ejemplo II y III. El módulo de suma 63 suma estos valores. Esto se visualiza en la figura 6. Ésta contiene tres representaciones circulares que están designadas con los números romanos I, II y III para las tres instalaciones de energía eólica. La representación del primer círculo corresponde a la de la figura 4 para la instalación de energía eólica I. Su vector sustitutivo, que funciona como valor sustitutivo, está representado por la flecha de trazos y puntos cerca del número romano I. Partiendo de este valor sustitutivo, es decir, visto gráficamente, partiendo de la punta del vector sustitutivo, se realiza el cálculo para la segunda instalación de energía eólica II. Esto significa que dicho vector funciona como punto cero para la porción de fase rígida, que conduce a un desplazamiento horizontal a lo largo del eje real. Esto está representado por la flecha de trazos cerca del número II. Alrededor de la punta de esta flecha está representado nuevamente un indicador de giro para la parte de fase variable en una línea continua. Dado que la segunda instalación de energía eólica II tiene otra posición de fase media con respecto a su armónico de fase variable, el vector sustitutivo (flecha de puntos y trazos cerca del número II) calculado para ella de la misma manera que para la instalación de energía eólica I está orientado de forma diferente de la del vector sustitutivo para la instalación de energía eólica I. Por tanto, se efectúa una adición vectorial de los dos vectores sustitutivos. Por medio

del módulo de iteración 62 y el módulo de suma 63 se repite este proceso para la tercera instalación de energía eólica III, de lo que resulta el tercer vector sustitutivo que está representado por la flecha de trazos y puntos cerca del número III en la figura 6. El módulo de suma 63 forma finalmente a partir de estos tres vectores sustitutivos un vector total T que está representado por una gruesa línea continua. Este vector representa el valor medio de la magnitud del componente armónico total generado por las instalaciones de energía eólica I - III teniendo en cuenta las respectivas porciones de fase rígida y de fase variable y su posición de fase relativa.

Si se ejecuta este procedimiento para un número mayor de instalaciones de energía eólica, por ejemplo para alrededor de 100 instalaciones de energía eólica, resulta entonces la evolución representada en la figura 7. Se aprecia a partir de la evolución total una curva característica como la que corresponde cualitativamente a una representación de raíz cuadrada. Esto significa que, según el predictor de armónicos de la invención, los armónicos totales de un parque eólico de un número correspondientemente grande N de instalaciones de energía eólica no se incrementan de manera correspondiente en N veces, sino que siguen aproximadamente a una expresión $1/\sqrt{N}$. Por tanto, con el predictor según la invención se puede estimar también de manera correspondiente el comportamiento total de un parque eólico para instalaciones de energía eólica cuyos armónicos están mezclados en el sentido de que presentan porciones de fase rígida y de fase variable. Se facilita así el mantenimiento de los valores límite en el punto de conexión 3 a la red pública 9.

El predictor de armónicos según la invención puede servir para que se activen convertidores de frecuencia 11 para generadores 10 de las instalaciones de energía eólica 1 de modo que sus armónicos estén ajustados con respecto a la parte de fase rígida y a la parte de fase variable para que el vector total T determinado por el predictor de armónicos 6 no sobrepase el valor límite de armónico LÍMITE. Además del ajuste del convertidor de frecuencia 11, puede estar previsto también que en casos críticos se reduzca el número N de instalaciones de energía eólica para conseguir así una reducción del componente armónico. Es de hacer notar que el principio del predictor de armónicos puede aplicarse en sí a cualquier clase de instalaciones de energía eólica 1; éste se ha acreditado especialmente en instalaciones de energía eólica con generador asíncrono 10 de doble alimentación. Precisamente en éstas se plantea particularmente el problema del caso mixto, es decir, un armónico con parte de fase rígida y parte de fase variable.

Según la invención, no es forzosamente necesario que el predictor de armónicos 6 esté implementado en un auténtico parque eólico. Es posible también conectar el predictor de armónicos 6 a una interfaz de simulación 7 (véase la figura 2) que coopera con un ordenador de simulación 70. La interfaz de simulación 7 reproduce, juntamente con el ordenador de simulación 70, el comportamiento eléctrico del parque eólico con sus instalaciones de energía eólica 1 y la red de líneas interna 2 hasta el punto de conexión 3. De esta manera, por medio del predictor de armónicos 6 se puede determinar ya el comportamiento del parque eólico con respecto a su componente armónico y se le puede tener en cuenta para el diseño del parque eólico antes de que, en general, éste se construya realmente. Esto hace posible un diseño sensiblemente más exacto del parque eólico. La interfaz de simulación 7 presenta para ello una conexión 74 para la simulación de la red de señales con los dispositivos conectados a ella y una conexión 77 para la aplicación de una señal de salida 67' del predictor de armónicos 6.

Las mejoras posibles con el predictor de armónicos según la invención están representadas en la figura 3. El estado ideal pretendido es una reducción del componente armónico con un factor de reducción RF según una relación $1/\sqrt{N}$, tal como ésta puede conseguirse convencionalmente tan sólo con armónicos de orden superior; este estado está representado en la figura 3 por una línea de puntos. Con el predictor de armónicos según la invención se puede conseguir una reducción como la que se representa por la línea continua. Se aprecia que no se consigue ciertamente en absoluto una reducción tan fuerte como la conseguida con los armónicos de orden superior, pero, no obstante, se consigue una mejora considerable frente al caso actual, en el que no se podía aceptar ninguna reducción, sino un valor constante de 1 según la línea de trazos.

Por tanto, con el predictor de armónicos según la invención se puede estimar con más exactitud la carga de armónicos, lo que hace posible en último término la conexión de más instalaciones de energía eólica en un parque eólico en el caso de una conexión dada con un valor límite de armónico prefijado. Es especialmente satisfactorio el hecho de que con el predictor de armónicos se hace ya posible una reducción considerable de la carga de armónicos en parques eólicos relativamente pequeños con diez o veinte instalaciones.

REIVINDICACIONES

1. Parque eólico con al menos dos instalaciones de energía eólica (1) que presentan cada una de ellas un generador (10) con un convertidor de frecuencia (11) para la generación de energía eléctrica,

caracterizado por que

5 está previsto un predictor de armónicos (6) que determina el componente armónico esperado del parque eólico para limitarlo a un valor límite de armónico, comprendiendo el predictor de armónicos (6),

un módulo de cálculo (61) que calcula un valor medio complejo a lo largo de al menos un periodo del armónico de una de las instalaciones de energía eólica I y determina a partir de éste un primer vector sustitutivo cuya magnitud corresponde a la amplitud media del armónico,

10 un módulo de iteración (62) que conecta sucesivamente el módulo de cálculo (61) a al menos otra de las instalaciones de energía eólica II para formar al menos un segundo vector sustitutivo, y un módulo de suma (63) que suma los vectores sustitutivos para formar un vector total T y compara éste con el valor límite de armónicos.

2. Parque eólico según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el módulo de iteración (62) y el módulo de suma (63) están combinados formando un módulo de recursión (64).

15 3. Parque eólico según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** por que el convertidor de frecuencia (11) es ajustable respecto de su parte de fase rígida y su parte de fase variable del armónico.

4. Parque eólico según la reivindicación 3, **caracterizado** por que el predictor de armónicos (6) coopera con un limitador (68) que ajusta el armónico al valor límite por regulación de la relación entre las partes de fase rígida y de fase variable.

20 5. Parque eólico según la reivindicación 3 o 4, **caracterizado** por que el predictor de armónicos (6) coopera con el limitador (68) de tal manera que ajusta el armónico al valor límite por limitación del número de instalaciones de energía eólica (1) que entregan energía eléctrica.

25 6. Parque eólico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el armónico presenta un orden par, preferiblemente a lo sumo hasta el orden 50 y más preferiblemente el orden 20, y/o está situado en el dominio de la frecuencia de conmutación del convertidor de frecuencia (11).

7. Predictor de armónicos para un parque eólico que comprende al menos dos instalaciones de energía eólica (1) que presentan cada una de ellas un generador (10) con un convertidor de frecuencia (11) para la generación de energía eléctrica, estando determinado un valor límite para el componente armónico generado por el parque eólico, **caracterizado** por que el predictor de armónicos (6) comprende:

30 un módulo de cálculo (61) que calcula un valor medio complejo a lo largo de al menos un periodo del armónico de una de las instalaciones de energía eólica I y determina a partir del mismo un primer vector sustitutivo cuya magnitud corresponde a la amplitud media del armónico,

35 un módulo de iteración (62) que conecta sucesivamente el módulo de cálculo (61) a al menos otra de las instalaciones de energía eólica II para formar al menos un segundo vector sustitutivo, y un módulo de suma (63) que suma los vectores sustitutivos para formar un vector total T y compara éste con el valor límite de armónico.

8. Predictor de armónicos según la reivindicación 7, **caracterizado** por que ha sido perfeccionado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.

40 9. Procedimiento para limitar el componente armónico generado por un parque eólico, en el que el parque eólico comprende al menos dos instalaciones de energía eólica (1) que presentan cada una de ellas un generador (10) con un convertidor de frecuencia (11) para la generación de energía eléctrica,

caracterizado por,

para una primera de las instalaciones de energía eólica (I),

calcular un valor medio complejo a lo largo de al menos un periodo del armónico y determinar a partir del mismo un primer valor sustitutivo con magnitud y ángulo, correspondiendo la magnitud a la amplitud media del armónico,

45 para al menos una segunda de las instalaciones de energía eólica (II),

determinar iterativamente un segundo factor sustitutivo de la misma manera,

emplear el primer vector sustitutivo como punto de base del segundo vector sustitutivo para realizar la suma y formar un vector total T y comparar éste con el valor límite de armónico.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** por determinar y sumar recursivamente los vectores sustitutivos para otras instalaciones de energía eólica (III).
- 5 11. Procedimiento según la reivindicación 9 o 10, **caracterizado** por que la determinación de un vector sustitutivo comprende un cálculo de un valor medio de una parte real del componente armónico de las respectivas instalaciones de energía eólica.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado** por que la determinación de un vector sustitutivo comprende un cálculo de un valor medio de una parte imaginaria del componente armónico.
- 10 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, **caracterizado** por escindir el armónico en una parte de fase rígida y en una parte de fase variable.
14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, **caracterizado** por que la magnitud del vector sustitutivo viene determinada por un valor medio de la magnitud del armónico a lo largo de al menos un periodo.
- 15 15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizado** por que el ángulo del vector sustitutivo viene determinado por la relación de los valores medios de la parte imaginaria con respecto a la parte real.
16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, **caracterizado** por regular la relación entre las partes de fase rígida y de fase variable del armónico para limitarlas a un valor límite.
- 20 17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16, **caracterizado** por limitar el número de instalaciones de energía eólica a fin de restringir el componente armónico al valor límite.

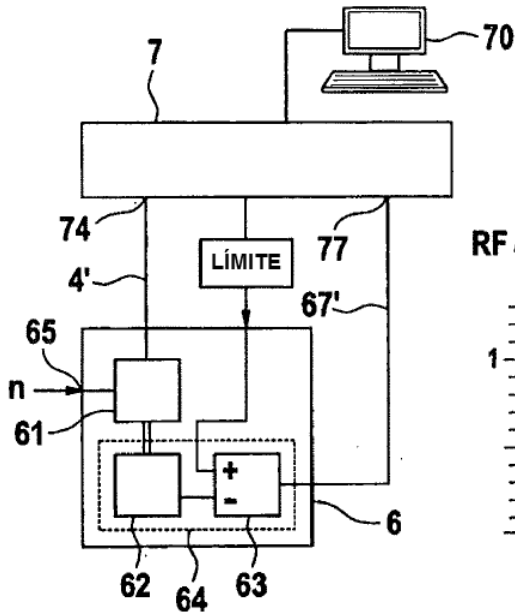


Fig. 2

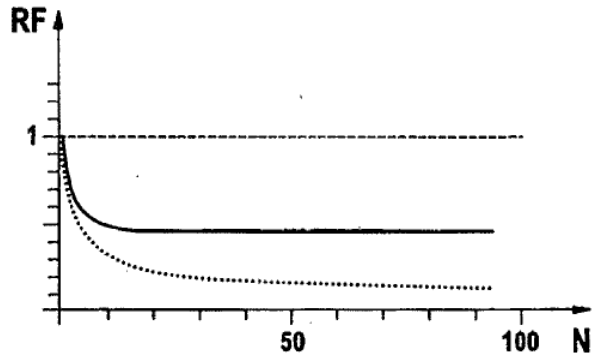


Fig. 3

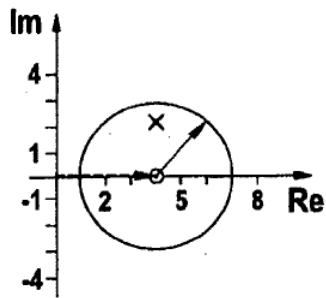


Fig. 4

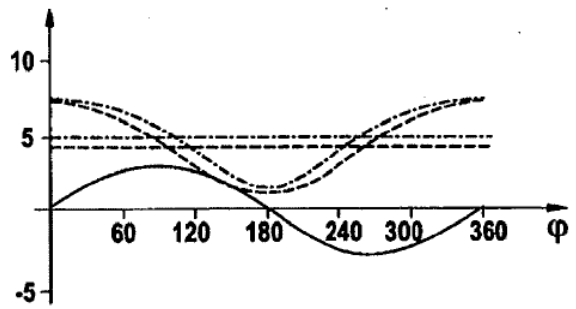


Fig. 5

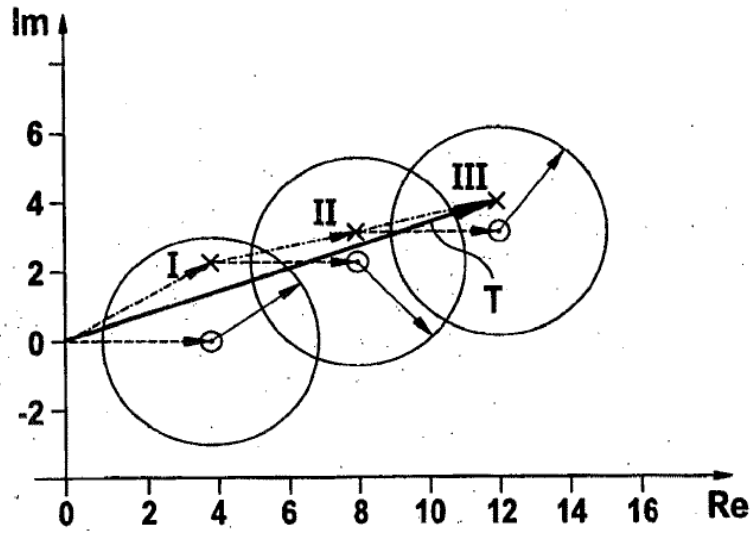


Fig. 6

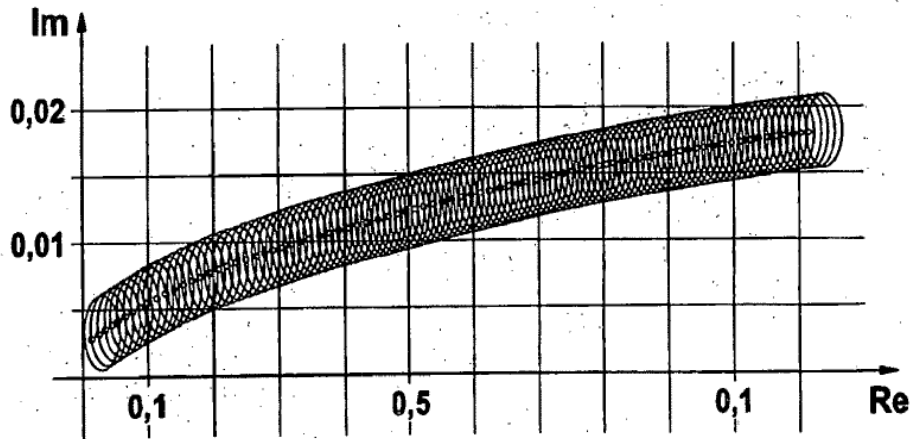


Fig. 7