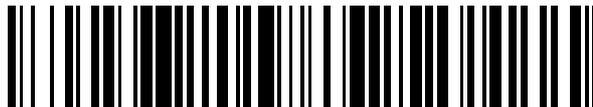


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 586 334**

51 Int. Cl.:

**H02M 1/12** (2006.01)  
**H02J 3/01** (2006.01)  
**G01R 31/34** (2006.01)  
**G01R 19/06** (2006.01)  
**G01R 31/02** (2006.01)  
**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.08.2010 E 10173591 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.06.2016 EP 2299568**

54 Título: **Sistema y método para monitorizar filtros de potencia y detectar un fallo de filtro de potencia en un generador eléctrico de turbina eólica**

30 Prioridad:

**21.08.2009 DK 200970094**  
**21.08.2009 US 235839 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.10.2016**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**  
**Hedeager 42**  
**8200 AARHUS N, DK**

72 Inventor/es:

**YIN, BO;**  
**NIELSEN, JOHN GODSK;**  
**LARSEN, KIM BRØNDUM;**  
**KRISTENSEN, OVE STYHM y**  
**ANG, KHENG HONG**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 586 334 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

Sistema y método para monitorizar filtros de potencia y detectar un fallo de filtro de potencia en un generador eléctrico de turbina eólica

### Campo de la invención

- 5 Realizaciones de la presente invención proporcionan un sistema y método para monitorizar el funcionamiento de los filtros de potencia en sistemas de generación de potencia, y detectar defectos o fallos de filtro de potencia en tales sistemas. En una realización preferida, los sistemas de generación de potencia son turbinas eólicas de alta capacidad.

### Antecedentes

- 10 Los sistemas de generación de potencia convierten normalmente una fuente de potencia en energía eléctrica haciendo girar un rotor de un generador eléctrico. Se suministra potencia en una tensión y frecuencia específicas a una red eléctrica, que transmite entonces la potencia al consumidor. Con el fin de garantizar que la potencia se suministra a una tensión y frecuencia constantes, pueden usarse diversos dispositivos/equipos de control. Garantizar que la potencia se proporciona en la tensión y frecuencia deseadas puede ser particularmente un reto para los generadores de turbina eólica, que no hacen girar el rotor del generador a una velocidad constante. La potencia producida por la turbina debe convertirse en potencia eléctrica estable para su transmisión.

- Por ejemplo, un generador de turbina eólica de la técnica anterior proporciona un convertidor de plena potencia que tiene un rectificador activo del lado de generador acoplado a un inversor activo del lado de red por medio de un enlace de corriente continua (CC). En esta configuración, el rectificador activo convierte señales de corriente alterna (CA) de frecuencia variable del generador a una tensión de CC, que se sitúa en el enlace de CC. El inversor activo convierte la tensión de CC en el enlace de CC en potencia de CA de frecuencia fijada para una red de energía eléctrica. Una configuración de este tipo requiere una circuitería complicada y costosa que usa conmutadores activos (por ejemplo, transistores bipolares de puerta aislada (IGBT)) para el rectificador e inversor activos. Estos tipos de conmutadores activos tienen normalmente una mayor pérdida de potencia durante la conversión de potencia, y pueden provocar armónicos de alta frecuencia no deseados en la red de energía eléctrica.

- Por ejemplo, el convertidor de red puede generar armónicos de frecuencia de conmutación en una frecuencia de 5 kHz. Puede usarse un filtro de armónicos del lado de red (filtro de red) para proporcionar una trayectoria para los armónicos de frecuencia de conmutación e impedir la transmisión no deseada de los armónicos de frecuencia de conmutación a la red de distribución de energía eléctrica. El filtro de red puede ser una batería de condensadores que acumula energía eléctrica a una velocidad variable, y descarga la energía a una velocidad controlada. El filtro de red puede conectarse al lado de red usando, por ejemplo, un fusible.

- Un problema asociado con las turbinas eólicas disponibles actualmente es que cuando se funde uno o más de los fusibles del filtro de red, o falla algún otro componente del filtro de red, el filtro de red no puede funcionar correctamente. En algunos de estos sistemas disponibles actualmente, cuando se funde el fusible de filtro de red, no se proporciona ninguna señal de retroalimentación al sistema de control de la turbina eólica. Como resultado, la turbina eólica continuará suministrando potencia a la red sin el filtro de red. Esto puede provocar, a su vez, otros problemas, tales como una alarma de defecto de sobretensión o problemas en la conexión a la red. Este problema puede agravarse en redes eléctricas que pueden ser objeto de un control global deficiente.

- Una solución a este problema es proporcionar diversos componentes eléctricos conectados directamente al filtro de red para monitorizar el filtro con el fin de detectar fallos, e informar de estos fallos a un operario por medio del sistema de control. Sin embargo, en los sistemas actuales, puede ser difícil encontrar componentes que sean fáciles de instalar y mantener, y que cumplan diversos requisitos regulatorios.

- La patente estadounidense 4.011.512 da a conocer un aparato de detección de fallos de filtro armónico para usar en transmisores de radio de banda lateral única. El filtro está conectado a dos acopladores direccionales que miden la potencia de entrada y de salida del filtro. Los dos acopladores también están conectados a un circuito comparador para detectar un desajuste de potencia, y para generar una señal de control indicativa de un fallo de filtro.

Por tanto, sería una mejora en la técnica si pudiese desarrollarse un sistema y un método para superar uno o más de los problemas mencionados anteriormente.

### Sumario

- 50 Un aspecto de la presente invención proporciona un método para determinar un defecto en un filtro de potencia de un generador de turbina eólica según la reivindicación 1, un sistema correspondiente según la reivindicación 8 y un medio legible por ordenador que contiene un código de programa informático según la reivindicación 13. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes. El método puede incluir las etapas de: calcular una potencia reactiva consumida por el filtro de potencia; y comparar la potencia reactiva calculada con una potencia reactiva umbral predefinida para determinar dicho defecto.

5 En algunas realizaciones, la potencia reactiva calculada puede estar basada en un valor medido de una corriente de polo de convertidor, y uno de una tensión de polo de convertidor para cada cable de fase del generador de turbina eólica. La etapa de calcular la potencia reactiva consumida por el filtro de potencia puede incluir calcular una potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red del generador de turbina eólica durante un periodo de tiempo.

10 En realizaciones adicionales, la etapa de calcular la potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red puede incluir además ajustar la potencia reactiva promedio consumida por el polo de convertidor de red mediante un factor de tensión para determinar una potencia reactiva promedio ajustada consumida por el polo de convertidor de red. Los valores medidos pueden obtenerse sustancialmente en una transición desde un estado de precarga hasta un estado de marcha del generador de turbina eólica.

15 En realizaciones alternativas, la etapa de calcular la potencia reactiva consumida por el filtro de potencia puede incluir además: calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida en dicho estado de precarga por una fuente de alimentación auxiliar del generador de turbina eólica; calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en dicho estado de marcha; y calcular la potencia reactiva promedio consumida solo por el filtro de red basándose en los valores de la potencia reactiva promedio consumida por la fuente de alimentación auxiliar y la potencia reactiva promedio consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia.

20 En esta realización, la etapa de calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida por dicha fuente de alimentación auxiliar en dicho estado de precarga puede incluir además: conectar un condensador de enlace de CC a un polo de convertidor de dicho generador de turbina eólica, precargar dicho condensador de enlace de CC mientras dicho filtro de potencia está desconectado; y obtener dichos valores medidos durante dicho estado de precarga. La etapa de calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en dicho estado de marcha puede incluir además: conectar eléctricamente dicho filtro de potencia; proporcionar un retardo; calcular dicha potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia durante dicho periodo de tiempo; y desconectar dicho condensador de enlace de CC.

25 En algunas realizaciones, el filtro de potencia puede ser uno de un filtro de potencia del lado de red, un filtro  $dv/dt$  del lado de máquina, o un filtro de estator, y dicho defecto puede ser al menos uno de un fallo en un fusible, un fallo en un condensador, o un fallo en una conexión de dicho filtro de potencia. Un ciclo fundamental puede ser de 0,02 segundos y el periodo de tiempo puede ser de uno o más ciclos fundamentales.

30 Un aspecto alternativo de la presente invención proporciona un sistema para detectar un defecto en un filtro de potencia de un generador de turbina eólica, comprendiendo el sistema: un procesador informático; y una pluralidad de sensores conectados eléctricamente a dicho generador de turbina eólica y dicho procesador informático; en el que dicho procesador informático está configurado para: calcular una potencia reactiva consumida por el filtro de potencia basándose en datos de dichos sensores; y comparar la potencia reactiva calculada con una potencia reactiva umbral predefinida para determinar dicho defecto.

35 En realizaciones alternativas del sistema, los sensores pueden proporcionar un valor medido de una corriente de polo de convertidor, y uno de una tensión de polo de convertidor y una tensión de polo de estator para cada cable de fase del generador de turbina eólica. El procesador puede calcular además una potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red del generador de turbina eólica durante un periodo de tiempo.

40 En otras realizaciones, el procesador puede calcular además una potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red ajustando la potencia reactiva promedio consumida por el polo de convertidor de red mediante un factor de tensión para determinar una potencia reactiva promedio ajustada consumida por el polo de convertidor de red. Los valores medidos pueden obtenerse sustancialmente en una transición desde un estado de precarga hasta un estado de marcha del generador de turbina eólica.

45 En algunas realizaciones, el procesador puede calcular la potencia reactiva consumida por el filtro de potencia: calculando una potencia reactiva promedio ajustada consumida en dicho estado de precarga por una fuente de alimentación auxiliar del generador de turbina eólica; calculando una potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en dicho estado de marcha; y calculando la potencia reactiva promedio consumida solo por el filtro de red basándose en los valores de la potencia reactiva promedio consumida por la fuente de alimentación auxiliar y la potencia reactiva promedio consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia.

50 En realizaciones adicionales, el procesador puede calcular dicha potencia reactiva promedio ajustada consumida por dicha fuente de alimentación auxiliar en dicho estado de precarga: conectando un condensador de enlace de CC a un polo de convertidor de dicho generador de turbina eólica; precargando dicho condensador de enlace de CC mientras dicho filtro de potencia está desconectado; y obteniendo dichos valores medidos durante dicho estado de precarga. El procesador puede calcular dicha potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en dicho estado de marcha: conectando eléctricamente dicho filtro

de potencia; proporcionando un retardo; calculando dicha potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia durante dicho periodo de tiempo; y desconectando dicho condensador de enlace de CC. Un ciclo fundamental puede ser de 0,02 segundos y el periodo de tiempo puede ser de uno o más ciclos fundamentales.

5 Un aspecto adicional de la presente invención proporciona un medio legible por ordenador que contiene un código de programa informático para determinar un defecto en un filtro de potencia de un generador de turbina eólica, estando configurado el código informático para: calcular una potencia reactiva consumida por el filtro de potencia; y comparar la potencia reactiva calculada con una potencia reactiva umbral predefinida para determinar dicho defecto.

10 En algunas realizaciones, la potencia reactiva calculada puede estar basada en un valor medido de una corriente de polo de convertidor y una tensión de polo de convertidor/una tensión de polo de estator para cada cable de fase del generador de turbina eólica. La etapa de calcular la potencia reactiva consumida por el filtro de potencia puede incluir además calcular una potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red del generador de turbina eólica durante un periodo de tiempo.

15 En realizaciones alternativas, la etapa de calcular la potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red puede incluir además ajustar la potencia reactiva promedio consumida por el polo de convertidor de red mediante un factor de tensión para determinar una potencia reactiva promedio ajustada consumida por el polo de convertidor de red. Los valores medidos pueden obtenerse sustancialmente en una transición desde un estado de precarga hasta un estado de marcha del generador de turbina eólica.

20 En realizaciones adicionales, la etapa de calcular la potencia reactiva consumida por el filtro de potencia puede incluir además: calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida en dicho estado de precarga por una fuente de alimentación auxiliar del generador de turbina eólica; calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en dicho estado de marcha; y calcular la potencia reactiva promedio consumida solo por el filtro de red basándose en los valores de la potencia reactiva promedio consumida por la fuente de alimentación auxiliar y la potencia reactiva promedio consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia.

25 En otras realizaciones, la etapa de calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida por dicha fuente de alimentación auxiliar en dicho estado de precarga puede incluir además: conectar un condensador de enlace de CC a un polo de convertidor de dicho generador de turbina eólica; precargar dicho condensador de enlace de CC mientras dicho filtro de potencia está desconectado; y obtener dichos valores medidos durante dicho estado de precarga. La etapa de calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en dicho estado de marcha puede incluir además: conectar eléctricamente dicho filtro de potencia; proporcionar un retardo; calcular dicha potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia durante dicho periodo de tiempo; y desconectar dicho condensador de enlace de CC.

35 El filtro de potencia puede ser uno de un filtro de potencia del lado de red, un filtro  $dv/dt$  del lado de máquina, o un filtro de estator. El defecto puede ser al menos uno de un fallo en un fusible, un fallo en un condensador, o un fallo en una conexión de dicho filtro de potencia.

### Breve descripción de los dibujos

40 Las realizaciones de la invención se comprenderán mejor y serán evidentes a primera vista para un experto habitual en la técnica a partir de la siguiente descripción escrita, solo a modo de ejemplo, y en relación con los dibujos, en los que:

la figura 1 ilustra un diagrama esquemático simplificado de un generador de turbina eólica en el que pueden usarse realizaciones de la presente invención para determinar un fallo de filtro de potencia;

45 la figura 2 ilustra un diagrama de circuito de un generador de turbina eólica en el que pueden usarse realizaciones de la presente invención para determinar un fallo de filtro de potencia;

la figura 3 ilustra una vista de cerca de una parte del diagrama de circuito de la figura 2 que muestra el inversor de red y el filtro de potencia;

la figura 4A ilustra un diagrama esquemático de una realización de un filtro de red mostrado en las figuras 2 y 3;

50 la figura 4B ilustra un diagrama esquemático que muestra un modo de funcionamiento normal para el filtro de red de la figura 4A;

la figura 4C ilustra un diagrama esquemático que muestra un modo de fallo posible para el filtro de red de la figura 4A;

la figura 4D ilustra un diagrama esquemático que muestra un modo alternativo de fallo posible para el filtro de red de la figura 4A;

la figura 4E ilustra un diagrama esquemático que muestra otro modo alternativo de fallo posible para el filtro de red de la figura 4A;

la figura 5 es un gráfico que ilustra una posible implementación de un procedimiento de detección que puede usarse con el sistema y método de la presente invención;

5 la figura 6 ilustra un diagrama de flujo que muestra una posible implementación del método de la presente invención; y

la figura 7 ilustra un diagrama esquemático de un posible sistema informático que puede usarse para implementar el sistema y método de la presente invención.

### Descripción detallada

10 Las realizaciones de la presente invención proporcionan un sistema y método para alertar a un operario de un sistema de generación de electricidad de un fallo en un filtro de potencia sin requerir la instalación de componentes de hardware adicionales. Se describirá a continuación, a efectos ilustrativos, una realización del sistema y método presentes con respecto a un generador de turbina eólica que produce potencia trifásica. Sin embargo, se entiende que pueden usarse otros tipos y tamaños de generadores, tanto monofásicos como multifase, sin alejarse del  
15 alcance de las realizaciones presentes, tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas. A modo de ejemplo, pueden usarse realizaciones de la presente invención con generadores de inducción simplemente/doblemente alimentados, generadores síncronos que incluyen generadores de imanes permanentes (PM), de imanes permanentes interiores (IPM), y de imanes permanentes montados en superficie (SMPM), generadores asíncronos que incluyen generadores de inducción (IG), generadores de jaula de ardilla, y otros tipos  
20 de generadores conocidos para los expertos en la técnica. También pueden considerarse los sistemas eléctricos a tamaño real.

De manera similar, mientras que la descripción a continuación se centra en un ejemplo de realización en el que el filtro de potencia es un filtro de lado de red, ha de entenderse que pueden usarse también otros tipos y ubicaciones de filtros de potencia con realizaciones de la presente invención. El método de determinar un fallo en un filtro de  
25 potencia puede aplicarse a cualquier filtro en un generador de potencia eléctrica, y más particularmente un generador de turbina eólica. A modo de ejemplo no limitativo, tales filtros pueden incluir filtros dv/dt del lado de máquina, filtros de estator, o cualquier otro tipo de filtro de potencia que pueda filtrar los armónicos de frecuencia de conmutación. A efectos descriptivos, el término "filtro de red" usado a continuación se aplica a todos los filtros de potencia de este tipo.

30 La figura 1 ilustra un diagrama esquemático simplificado de un sistema de generador de turbina eólica (WTG) 10 en el que pueden usarse realizaciones de la presente invención para determinar un fallo de filtro de potencia. El sistema de WTG 10 puede ser un sistema de PM, IPM, SMPM o IM tal como se describió anteriormente. El sistema de WTG 10 incluye una pala de rotor 20 conectada mediante un árbol de entrada 22 a una caja de engranajes 24 opcional. La caja de engranajes 24 está conectada por medio de un árbol de salida 26 a un WTG 30, que convierte el movimiento de rotación de la pala de rotor 20 en potencia eléctrica. La caja de engranajes 24 opcional puede usarse para  
35 aumentar la velocidad de rotación del árbol de salida 26.

En esta realización, el WTG 30 está configurado para suministrar potencia a una red de energía eléctrica 130 de frecuencia fijada (normalmente 50 o 60 Hz). Una manera para que el WTG 30 proporcione potencia sincronizada a la red 130 sería garantizar que la pala de rotor 20 gira a una velocidad constante. Sin embargo, con el fin de proporcionar una eficacia mayor en la producción de electricidad, puede permitirse que la velocidad de la pala de rotor 20 varíe dentro de un intervalo determinado. Esto permite que la pala de rotor 20 rote a una velocidad óptima para cualquier velocidad de viento dada. Por tanto, el WTG 30 puede producir potencia de CA que no está sincronizada con la red de energía eléctrica 130.  
40

Para mitigar este problema, puede conectarse un convertidor CA/CC 35 a los devanados de estator del WTG 30 por medio de líneas de potencia 31a, 31b, y 31c. El convertidor CA/CC 35 convierte la salida de potencia de CA del WTG 30 en potencia de CC. El convertidor CA/CC 35 está conectado por medio de un condensador de filtro 36 a un convertidor CC/CA 40, que convierte la potencia de CC en potencia de CA que está sincronizada con la red de energía eléctrica 130. En algunas configuraciones, puede situarse un transformador (no mostrado) entre el convertidor CC/CA 40 y la red 130. Pueden conectarse eléctricamente uno o más filtros de potencia 42 y/o filtros de  
50 red 44 a las líneas de potencia de salida 45a, 45b, y 45c, que se conectan al transformador y la red 130.

La figura 2 ilustra un diagrama de circuito 100 de un generador de turbina eólica 150 en el que pueden usarse realizaciones de la presente invención para determinar el estado de un filtro de red 102 y para informar de cualquier fallo en el filtro de red 102 a un operario del sistema. En esta realización, el WTG 150 es un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). Sin embargo, tal como se destacó anteriormente, se entiende que pueden usarse las realizaciones de la presente invención con cualquier tipo de WTG. El WTG DFIG 150 incluye un estator (no mostrado) que tiene un devanado trifásico que está conectado a través de un disyuntor 152 por medio de líneas de potencia 154a, 154b y 154c directamente a la red de transmisión 130 a través de un transformador elevador de tensión 156. La corriente en las líneas de potencia 154a, 154b, 154c que fluye hacia la red eléctrica principal 130  
55

5 puede medirse usando transductores preexistentes 155a, 155b y 155c. En la descripción a continuación, las líneas de potencia 154a, 154b y 154c forman el “polo de estator”, y la corriente medida usando los transductores 155a, 155b, y 155c se conocerá como la corriente de polo de estator. Se entiende que también pueden usarse otros tipos y ubicaciones de dispositivos de medición que funcionan para medir la corriente de polo de estator y/o la tensión de polo de estator. El devanado de rotor trifásico (no mostrado) está conectado por medio de un conjunto de anillo colector y escobilla (no mostrado) al lado de rotor de un convertidor de potencia 120 por medio de líneas de potencia 158a, 158b y 158c.

10 El convertidor de potencia 120 incluye un rectificador CA/CC 122 del lado de máquina, un enlace de CC 124, y un inversor de red CC/CA 126. El filtro de red 102 está conectado a la salida del inversor de red 126 por medio de líneas de potencia 128a, 128b, y 128c. Entonces, la potencia trifásica filtrada se proporciona a través de un primer disyuntor/conmutador 131 y un segundo disyuntor/conmutador 133 al transformador 156 y la red eléctrica principal 130 por medio de líneas de potencia 140a, 140b y 140c. Puede proporcionarse una fuente de alimentación auxiliar 142 de la turbina eólica para impulsar determinados componentes en la turbina eólica en algunas circunstancias. La fuente de alimentación auxiliar 142 puede consumir potencia de la red principal 130, o del inversor de red 126. La corriente en las líneas de potencia 140a, 140b, 140c que fluye hacia la red eléctrica principal 130 puede medirse usando transductores 160a, 160b y 160c preexistentes. En la descripción a continuación, las líneas de potencia 140a, 140b y 140c forman el “polo de convertidor de red”, y la corriente medida usando los transductores 160a, 160b, y 160c se conocerá como la corriente de polo de convertidor. Esto se describirá en más detalle a continuación. Se entiende que pueden usarse también otros tipos y ubicaciones de dispositivos de medición que funcionan para medir la corriente de polo de convertidor y/o la tensión de polo de convertidor.

20 En esta realización, el disyuntor/conmutador 131 puede usarse para desconectar la salida de potencia del convertidor de potencia 120 durante un defecto u otra condición. De manera similar, el disyuntor/conmutador 133 puede usarse para desconectar la salida de potencia del convertidor de potencia 120 y la fuente de alimentación auxiliar 142 de la red principal 130 durante un defecto u otra condición.

25 La figura 3 ilustra una vista de cerca del inversor de red 126 y filtro de red 102 mostrados en la figura 2. En esta realización, el filtro de red 102 está instalado entre las bobinas de choque/conmutadores de conector 104, 106 y el disyuntor 133. El filtro de red 102 está conectado al punto 132c, 132b, y 132a en las líneas de potencia 140c, 140b, y 140a a través de un fusible de red 134c, 134b, y 134a, respectivamente. Pueden usarse un circuito de precarga, ilustrado como conmutador 108 y resistencias de precarga 109 para poner en marcha un condensador de enlace de CC 125 dentro del enlace de CC 124 antes del arranque del generador o conexión del convertidor del lado de máquina. Durante la precarga, los conmutadores 104, 106 están desconectados. Durante el funcionamiento normal, una vez que la tensión medida a lo largo del condensador de enlace de CC 125 alcanza un valor objetivo, se encienden los conmutadores 104 y 106, y se apaga el conmutador 108. Sin embargo, el método de la presente invención permite que el conmutador 108 se mantenga encendido durante un periodo de tiempo. Esto se describirá con mucho más detalle a continuación.

30 En la figura 4A, se muestra un ejemplo de un diagrama esquemático para el filtro de red 102. En esta realización, el filtro de red 102 incluye una primera batería de condensadores 102a, una segunda batería de condensadores 102b, y una bobina de descarga 102c. Cada batería de condensadores 102a, 102b está conectada eléctricamente a las líneas de potencia 128a, 128b, y 128c por medio de líneas de salida 136a, 136b, y 136c respectivamente. De manera similar, la bobina de descarga 102c está conectada eléctricamente a las líneas de potencia 128a, 128b, y 128c. Cuando el filtro de red 102 se apaga por algún motivo, cualquier tensión residual de CC que permanezca en los condensadores 102a, 102b puede descargarse muy rápidamente a través de la bobina de descarga 102c. Esto ayuda a garantizar un tiempo corto de conexión de nuevo cuando el filtro de red 102 está encendido de nuevo.

35 Se entiende que pueden usarse también otras configuraciones del filtro de red 102. Por ejemplo, el filtro de red 102 puede incluir una o más baterías de condensadores, que pueden conectarse en diferentes configuraciones. Los condensadores usados en las baterías de condensadores pueden ser de auto-regeneración. Se considera que todas las configuraciones de este tipo para el filtro de red 102 están incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, dado que estas configuraciones funcionan para filtrar la potencia suministrada que incluye, pero no se limita a, los armónicos de frecuencia de conmutación.

40 La figura 4B ilustra el modo de funcionamiento normal para el filtro de red 102 mostrado en la figura 4A. En el modo de funcionamiento normal, todos los filtros de red trifásicos 102a, 102b se han conectado, y no está fundido ningún fusible del filtro de red.

45 Las figuras 4C-4E ilustran modos de fallo del filtro de red 102. El modo de fallo para los condensadores de tipo de auto-regeneración 102a, 102b usados en el filtro de red 102 es normalmente una degradación lenta de la capacitancia, es decir la capacitancia disminuirá con el tiempo. Los modos de fallo comunes para el filtro de red 102 pueden incluir un fallo de uno o más de los fusibles 134a, 134b, 134c, o de los contactores. La figura 4C ilustra el caso en el que uno de los fusibles/contactores (134c) del filtro de red falla, dando como resultado la desconexión de uno de los condensadores 103a. La figura 4D ilustra el caso en el que dos de los fusibles/contactores (134b, 134c) del filtro de red fallan, dando como resultado la desconexión de dos de los condensadores 103a, 103b. La figura 4E ilustra el caso en el que todos los fusibles/contactores del filtro de red fallan, dando como resultado la desconexión

5 de todos los condensadores 103a, 103b, 103c. A efectos de la descripción que sigue, cuando el filtro de red 102 funciona correctamente, todas las ramas del filtro de red trifásico funcionan y ninguno de los fusibles/contactores/condensadores del filtro de red está fundido. El fallo del filtro de red puede incluir cualquier fallo de fusibles, cualquier fallo de contactores del filtro de red, cualquier fallo de condensadores, o cualquier otro fallo de un componente en el filtro de red 102.

En un sistema eléctrico de corriente alternativo, el término “potencia reactiva” se usa para representar la energía almacenada y liberada alternativamente por los inductores y/o condensadores. En las realizaciones presentes, puede usarse un concepto de potencia reactiva instantánea. La potencia reactiva instantánea consumida por el filtro de red 102 mostrado en las figuras 4A-4E se describe a continuación con referencia a las ecuaciones 1-4.

10 A efectos de la descripción, se supone que la tensión de red varía dentro de un intervalo de 0,8 unidades de potencia (p.u.) y 1,2 p.u. Por tanto, dado que la potencia reactiva se calcula como la raíz cuadrada de las unidades de tensión, la potencia reactiva en un modo normal está dentro de un intervalo de  $0,64Q_{nom} - 1,44Q_{nom}$ .

15 Para el modo de fallo ilustrado en la figura 4C, la potencia reactiva consumida por el filtro de red 102 es aproximadamente la mitad de la potencia reactiva consumida en el modo normal. Por tanto, el intervalo de potencia reactiva en este caso es de  $0,32 * Q_{nom} - 0,72 * Q_{nom}$ . Para los modos de fallo ilustrados en las figuras 4D y 4E, la potencia reactiva consumida por el filtro de red 102 es cero.

20 A efectos ilustrativos, se supone que los condensadores 103a-103c tienen una capacidad nominal de 56 KVar en una tensión de 440V, y la tensión nominal de la toma de red es de 400V (línea-línea), con una frecuencia nominal de o bien 50Hz o bien 60Hz, dependiendo de la ubicación de la red. Entonces, el valor de la potencia reactiva nominal  $Q_{nom}$  puede computarse usando la siguiente fórmula:

$$Q_{nom} = Con * (V_{con}/V_{red})^2 \tag{A}$$

en la que Con es la capacidad nominal del condensador,  $V_{con}$  es la tensión límite del condensador, y  $V_{red}$  es la tensión límite nominal de la red.

25 Por tanto, el valor de  $Q_{nom}$  para el condensador 102 sería 46,44kVar en tensión nominal para el generador descrito en el presente documento. Sin embargo, se entiende que el valor de  $Q_{nom}$  puede cambiar dependiendo del tipo de condensadores usados, la capacidad del generador de turbina eólica, la tensión línea-línea, etc.

30 Las realizaciones del sistema y el método de la presente invención proporcionan medios para medir la potencia reactiva consumida por el filtro de red 102 durante cada uno de los modos descritos anteriormente, usando solo entradas existentes. Entonces, pueden usarse las mediciones para determinar un modo de fallo del filtro de red 102, el cual se informa después a un sistema de supervisión que genera una alarma si el filtro de red 102 falla. Las mediciones se logran comparando los valores medios de la potencia reactiva antes y después de que los conmutadores 104 y 106 se cierren. En este caso, se supone que la fuente de alimentación auxiliar 142 no se enciende y se apaga cíclicamente durante el procedimiento de detección de fallos.

35 La figura 5 es un gráfico que ilustra una posible implementación de un procedimiento de detección, designado generalmente con el número de referencia 300, que puede usarse con el sistema y método de la presente invención. La figura 6 ilustra un diagrama de flujo, designado generalmente con el número de referencia 400, que muestra una posible implementación del método de la presente invención.

En esta realización, se resumen en la tabla 1 a continuación las diversas señales disponibles para monitorizar y detectar fallos del filtro de red 102:

40 Tabla 1

Transductor de polo de convertidor de red principal II1	MGC_IL1
Transductor de polo de convertidor de red principal II2	MGC_IL2
Transductor de polo de convertidor de red principal II3	MGC_IL3
Transductor de polo de estator de red principal UL1	MGS_UL1
Transductor de polo de estator de red principal UL2	MGS_UL2
Transductor de polo de estator de red principal UL3	MGS_UL3
Transductor de polo de convertidor de red principal UL1	MGC_UL1
Transductor de polo de convertidor de red principal UL2	MGC_UL2

Transductor de polo de convertidor de red principal UL3	MGC_UL3
---------------------------------------------------------	---------

5 en la que MGC\_ILx representa la corriente enviada a la red 130 en el polo de convertidor de red, medida, por ejemplo, usando transductores 160a, 160b y 160c, y que incluye la corriente del convertidor de red 126 y la corriente de la fuente de alimentación auxiliar 142; y MGS\_ULx son las tensiones del polo de estator medidas en un punto entre el conmutador 152 y el transformador de alta tensión 156. MGC\_ULx representa las tensiones de cada cable de fase del polo de convertidor de red, y puede medirse con sensores de tensión ubicados cerca de los transductores 160. Se entiende que pueden usarse también otros puntos de medición.

Entonces, puede calcularse la potencia reactiva q consumida en el polo de convertidor de red usando la fórmula 1 tal como sigue:

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{1}{\sqrt{3}}[(MGC\_UL1 - MGC\_UL2) \cdot MGC\_IL3 \\
 &\quad + (MGC\_UL2 - MGC\_UL3) \cdot MGC\_IL1 + (MGC\_UL3 - MGC\_UL1) \cdot MGC\_IL2] \quad (1) \\
 &= 1,5(MGC\_v_\beta \cdot MGC\_i_\alpha - MGC\_v_\alpha \cdot MGC\_i_\beta)
 \end{aligned}$$

10 en la que MGC\_ILx y MGC\_ULx se definen anteriormente para el polo de convertidor de red en el marco original a-b-c, MGC\_v\_\alpha y MGC\_v\_\beta designan las tensiones de polo de convertidor de red principal en el marco \alpha-\beta, y MGC\_i\_\alpha y MGC\_i\_\beta designan las corrientes de polo de convertidor de red principal en el marco \alpha-\beta, en los que:

$$\begin{bmatrix} MGC\_i_\alpha \\ MGC\_i_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -0,5 & -0,5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} MGC\_IL1 \\ MGC\_IL2 \\ MGC\_IL3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} MGC\_v_\alpha \\ MGC\_v_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -0,5 & -0,5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} MGC\_UL1 \\ MGC\_UL2 \\ MGC\_UL3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} MGC\_UL1 \\ MGC\_UL2 \\ MGC\_UL3 \end{bmatrix} = \text{relación de giro} \begin{bmatrix} MGS\_UL1 \\ MGS\_UL2 \\ MGS\_UL3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

15 La fórmula 4 puede requerirse en los casos en los que los sensores de tensión para medir directamente el valor de MGC\_ULx no estén disponibles. El valor de MGS\_ULx representa las tensiones de polo de estator tal como se midieron, y se multiplican por el radio de giro del transformador 156 para determinar MGC\_ULx. En algunas realizaciones, puede usarse la definición de q en el marco a-b-c. Alternativamente, puede usarse la transformación al marco \alpha-\beta.

20 En una realización, el sistema de WTG es un sistema eléctrico a tamaño real y la salida eléctrica del generador se proporciona a un convertidor de potencia en oposición que se acopla tras ello a un filtro de red. Se miden mediciones directas de de una corriente y una tensión de un polo de convertidor de red para determinar el consumo de potencia reactiva del filtro de red.

25 Con referencia continua a la figura 6, el método 400 comienza con una primera etapa de habilitar la comprobación del filtro de potencia y el ajuste de todas las variables a cero, tal como se muestra con el número de referencia 402. Esta etapa de habilitación puede lograrse, por ejemplo, cuando un operario del sistema inicia un programa de software en uno o más microprocesadores de control que reciben datos del sistema y proporcionan diversas funciones de control al mismo.

30 Tal como se describió anteriormente, el método 400 usa los valores promedio de la potencia reactiva. Con el fin de determinar los valores promedio para la potencia reactiva, debe determinarse un periodo de muestreo. A efectos ilustrativos, usaremos 100 microsegundos (\mu s) como el periodo de muestreo. Se entiende que también pueden usarse otros periodos de muestreo. Usando un periodo de muestreo de 100 \mu s, la potencia reactiva promedio del

polo de convertidor de red en un ciclo fundamental (0,02 segundos) puede computarse como:

$$\begin{aligned} \bar{q} &= \int q dt \\ &= \frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} q(i) \end{aligned} \quad (5)$$

En esta realización, la potencia reactiva calculada en las ecuaciones (1) y (5) incluye la potencia reactiva consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar 142 de la turbina eólica como por los filtros de red 102 (véase la figura 1). Con el fin de determinar la potencia reactiva consumida solo por el filtro de red 102, hay varios factores a considerar.

En primer lugar, puede observarse que hay una zona de superposición entre el caso normal (figura 4B) y el primer caso de fallo (figura 4C). Tal como se describió anteriormente, la potencia reactiva consumida por el filtro de red en el modo normal está entre  $0,64Q_{nom} - 1,44Q_{nom}$ . La potencia reactiva consumida por el filtro de red en el primer caso de fallo es la mitad de la potencia reactiva consumida en el modo normal, es decir entre  $0,32Q_{nom} - 0,72Q_{nom}$ . Para compensar la superposición en estos intervalos, puede introducirse un factor de tensión en la computación de la potencia reactiva promedio (ecuación 5) para eliminar el efecto de las variaciones de la tensión de red. Esto puede mostrarse como:

$$\bar{Q} = \bar{q} \cdot U_{factor} \quad (6)$$

en la que  $\bar{Q}$  es la potencia reactiva promedio ajustada del polo de convertidor de red, y el factor de tensión  $U_{factor}$  se define como:

$$U_{factor} = \frac{U_{Nom}^2}{[(UL1\_RMS)^2 + (UL2\_RMS)^2 + (UL3\_RMS)^2]/3} \quad (7)$$

$$UL1\_RMS = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} [MGC\_UL1(i)]^2} \quad (8)$$

$$UL2\_RMS = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} [MGC\_UL2(i)]^2} \quad (9)$$

$$UL3\_RMS = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} [MGC\_UL3(i)]^2} \quad (10)$$

y  $U_{nom}$  es la tensión nominal de red.

El segundo factor a considerar es el hecho de que los valores de  $\bar{q}$  y  $\bar{Q}$  calculados anteriormente son dependientes de la configuración de circuito eléctrico específica mostrada en las figuras 1 y 2. La potencia reactiva  $\bar{q}$  y  $\bar{Q}$  puede contener potencia reactiva consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar 142 como por el filtro de red 102. Para obtener la potencia reactiva consumida solo por el filtro de red 102, puede calcularse y compararse la potencia reactiva antes y después de que se cierren los conmutadores 104 y 106. A continuación, se consideran dos etapas diferentes, etapa a y etapa b, que proporcionan una transición entre un estado de "precarga" y un estado de "marcha" para el generador de turbina eólica.

En la etapa a, el conmutador 108 está ajustado en ENCENDIDO, y los conmutadores 104 y 106 están APAGADOS, tal como se muestra con el número de referencia 404 en la figura 6. Entonces, el condensador de enlace de CC 125 (figura 3) se carga a través de una o más resistencias precargadas 109. Durante esta etapa, los valores de la potencia reactiva  $\bar{q}$  y  $\bar{Q}$  incluyen la potencia reactiva consumida solo por la fuente de alimentación auxiliar 142 de la turbina eólica.

En la etapa b, cuando el enlace de tensión de CC alcanza una determinada tensión, por ejemplo 500V, se encienden los conmutadores 104 y 106 y se conecta el filtro de red 102. Durante esta etapa de "marcha", los valores de la potencia reactiva  $\bar{q}$  y  $\bar{Q}$  incluyen la potencia reactiva consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar 142 de la turbina eólica como por el filtro de red 102.

En esta realización, si la fuente de alimentación auxiliar 142 consume la misma cantidad de potencia reactiva durante la etapa a y la etapa b, la diferencia de potencia reactiva entre la etapa a y la etapa b es la potencia reactiva consumida por el filtro de red 102. Sin embargo, puede que la fuente de alimentación auxiliar 142 no consuma siempre la misma cantidad de potencia reactiva en ambas etapas. Por ejemplo, durante el funcionamiento normal, el

5 generador de turbina eólica puede desviarse automáticamente para mantener la góndola directamente contra el viento. Puede engancharse automáticamente un sistema de refrigeración (no mostrado) para refrigerar el generador de potencia 120. Por tanto, hay una posibilidad de que se requiera algo de potencia auxiliar de la fuente de alimentación auxiliar 142 durante la etapa b. Por tanto, la diferencia de potencia reactiva entre la etapa a y la etapa b puede no representar la potencia reactiva consumida por el filtro de red 102.

10 Para reducir la posibilidad de que la fuente de alimentación auxiliar 142 se encienda y se apague cíclicamente durante el procedimiento de detección de fallos de filtro de red, y obtener la potencia reactiva de filtro de red, el procedimiento de detección puede hacerse tanto continuo como corto, y puede comprobarse la consistencia de los datos. Con referencia a la figura 5, el gráfico 300 muestra los estados de encendido – apagado de los conmutadores 104, 106 y 108 en el eje izquierdo 301 trazados frente al tiempo en segundos en el eje inferior 303. Obsérvese que los conmutadores 104 y 106 están enganchados simultáneamente para conectar el filtro de red 102. Sin embargo, se entiende que pueden usarse también diversas configuraciones eléctricas que incluyan un número de conmutadores mayor o menor.

15 Tal como se ilustra en el gráfico 300, justo antes de que los conmutadores 104 y 106 se enciendan, y mientras el conmutador 108 está encendido, pueden procesarse datos de potencia reactiva de 10 ciclos fundamentales para obtener un valor promedio de la potencia reactiva durante la etapa a ( $\bar{Q}_a$ ), tal como se muestra con el número de referencia 302 en la figura 5, y el número de referencia 406 en la figura 6. Se entiende que pueden usarse también un número mayor o menor de ciclos fundamentales como periodo de tiempo deseado. El cálculo del valor de  $\Delta Q$  mostrado en la etapa 406 se describe más en detalle a continuación.

20 A continuación de esto, puede insertarse un retardo de 0,1 segundos para evitar el periodo transitorio asociado con el cierre de los conmutadores 104 y 106, tal como se muestra con el número de referencia 304 en la figura 5, y número de referencia 408 en la figura 6. Se entiende que pueden usarse también otros valores para el retardo deseado, tanto mayores de o menores de 0,1 segundos. A continuación, se encienden los conmutadores 104 y 106, tal como se muestra con el número de referencia 410.

25 Tras ello, puede procesarse otros 10 ciclos fundamentales de datos de potencia reactiva para obtener un valor promedio de la potencia reactiva durante la etapa b ( $\bar{Q}_b$ ), tal como se muestra con el número de referencia 306 en la figura 5, y el número de referencia 412 en la figura 6. El cálculo del valor de  $\Delta Q$  mostrado en la etapa 412 se describe más en detalle a continuación. Para este ejemplo, se requieren por tanto solo 0,5 segundos para la totalidad del procedimiento de detección. Se entiende, tal como se describió anteriormente, que pueden usarse también otros periodos de tiempo, retardos y números de ciclos, tanto menores como mayores.

30 Con el fin de determinar que la fuente de alimentación auxiliar 142 no se ha encendido y apagado durante el procedimiento de monitorización, tal como se muestra con el número de referencia 414, puede comprobarse la consistencia de los dos conjuntos de datos de diez ciclos fundamentales. El procedimiento para comprobar los datos se describe a continuación.

35 El valor promedio de los datos de un ciclo fundamental puede definirse como

$$\{\bar{Q}_{a_1} \cdots \bar{Q}_{a_{10}}\} \quad (11)$$

$$\text{y } \{\bar{Q}_{b_1} \cdots \bar{Q}_{b_{10}}\} \quad (12)$$

en las que  $\bar{Q}_{a_1} \sim \bar{Q}_{a_{10}}$  y  $\bar{Q}_{b_1} \sim \bar{Q}_{b_{10}}$  se calculan basándose en la ecuación 6 definida anteriormente.

40 Para determinar que la fuente de alimentación auxiliar 142 no se ha encendido y apagado cíclicamente durante el procedimiento de detección, deben satisfacerse las siguientes ecuaciones:

$$|\{\bar{Q}_{a_i} - \bar{Q}_{a_k}\}| \leq \Delta Q \quad i, k = 1 \sim 10 \quad (13)$$

$$|\{\bar{Q}_{b_i} - \bar{Q}_{b_k}\}| \leq \Delta Q \quad i, k = 1 \sim 10 \quad (14)$$

$$|\{\bar{Q}_b - \bar{Q}_a\}| \in [Q_{Min} \quad Q_{Max}] \quad (15)$$

en las que la potencia reactiva promedio para la etapa a y la etapa b son:

$$\bar{Q}_a = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \bar{Q}_{a_i} \quad (16)$$

45

$$\bar{Q}_b = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \bar{Q}_{b_i} \quad (17)$$

Y  $\Delta Q$  y  $[Q_{Min} Q_{Max}]$  son valores seleccionados por el operario del generador de turbina eólica. A modo de ejemplo no limitativo,  $\Delta Q$  podría seleccionarse como  $0,05Q_{nom}$  y  $[Q_{Min} Q_{Max}]$  podrían seleccionarse como  $[-0,2Q_{nom} 1,2Q_{nom}]$ . Obsérvese que los valores para  $\Delta Q$  se calculan durante las etapas 406 y 412 tal como se describió anteriormente.

Si no se satisfacen las ecuaciones 13-15, entonces la fuente de alimentación auxiliar 142 se ha encendido y apagado cíclicamente durante el procedimiento de detección. En este caso, la comprobación del filtro de potencia puede terminarse, tal como se muestra con los números de referencia 416 y 417.

Si se satisfacen las ecuaciones 13-15, la fuente de alimentación auxiliar 142 no se ha encendido y apagado cíclicamente durante el procedimiento de detección, tal como se muestra con el número de referencia 418. La potencia reactiva promedio consumida por el filtro de red se obtiene entonces como

$$Q = \bar{Q}_b - \bar{Q}_a \quad (18)$$

tal como se muestra con el número de referencia 420.

El valor para la potencia reactiva  $Q$  calculado anteriormente puede compararse entonces con un valor deseado, es decir una potencia reactiva umbral, para determinar si se ha detectado un defecto del filtro de potencia, tal como se muestra con el número de referencia 422. A modo de ejemplo no limitativo, puede generarse una condición de defecto si:

$$Q \leq 0,75Q_{nom} \quad (19)$$

en la que  $Q_{nom}$  designa la potencia reactiva consumida en el modo de funcionamiento normal con tensión nominal de red, tal como se definió anteriormente. Se entiende que el porcentaje específico de  $Q_{nom}$  que tiene que usarse lo puede definir el administrador de sistema del generador de turbina eólica, de modo que puede ajustarse fácilmente durante las pruebas y el funcionamiento. De manera similar, el administrador de sistema puede definir asimismo un valor de " $Q/Q_{nom}$ ". Por tanto, la ecuación 19 puede escribirse como la ecuación 20 a continuación:

$$\text{valor de condensador medido en p.u.} = \frac{Q}{Q_{nom}} \leq \text{nivel de desconexión de condensador en p.u.} \quad (20)$$

Si no se satisface la ecuación 20, el valor de  $Q$  está dentro de límites aceptables, tal como se muestra con el número de referencia 426. El funcionamiento normal del WTG puede entonces comenzar de nuevo, tal como se muestra con el número de referencia 428.

Sin embargo, si se satisface la ecuación 20, se ha determinado una condición de defecto, tal como se muestra con el número de referencia 430. Puede enviarse entonces un mensaje de error al operario tal como "valor muy bajo de condensador de filtro calculado para: xxxx p.u., tiene que estar por encima de xxxx p.u.", tal como se muestra con el número de referencia 432.

En una realización, está previsto un sistema de diagnóstico para el sistema de turbina eólica 10. El sistema de diagnóstico puede comprender capacidades para probar y diagnosticar el sistema eléctrico así como componentes individuales tales como generadores, transformadores, contactores, filtros, dispositivos de conmutación semiconductores, etc. El método 400, tal como se describió anteriormente, que se usa para monitorizar el filtro de red 102 está implementado como parte del sistema de diagnóstico. Puede implementarse también un esquema de monitorización de temperatura de filtro para complementar el método 400.

Pueden usarse también otros métodos de prueba en un sistema de diagnóstico de sistema eléctrico de este tipo, o bien para el filtro de red 102, cualquier otro componente individual, o para una colección de componentes. Por ejemplo, pueden usarse pruebas de temperatura de recinto, monitorización de parámetros eléctricos, análisis de respuestas de frecuencia, detección de descargas parciales, o cualquier otro esquema de pruebas como parte del sistema de diagnóstico. Un sistema de diagnóstico de este tipo puede comprender también una funcionalidad tal como el control de determinados componentes individuales, o una colección de componentes en el sistema. El sistema de diagnóstico podría también modificar la producción de potencia del generador de turbina eólica en respuesta a determinados defecto detectados, o apagar la turbina de manera preventiva. Puede tener también una entrada en el programa de mantenimiento de la turbina eólica, dando lugar a una llamada de mantenimiento, en respuesta a una determinación de que un componente está cerca del fallo.

Algunas partes de la descripción anterior se presentan explícita o implícitamente en términos de algoritmos y

representaciones de funciones o simbólicas de operaciones con datos dentro de una memoria de ordenador. Estas descripciones algorítmicas y representaciones de funciones o simbólicas son los medios usados por aquellos expertos en las técnicas de procesamiento de datos para transmitir de la manera más eficaz la sustancia de su trabajo a otros expertos en la técnica. Se considera en este caso, y generalmente, que un algoritmo es una

5 secuencia de etapas autoconsistente que conduce a un resultado deseado. Las etapas son aquellas que requieren manipulaciones físicas de cantidades físicas, tales como señales eléctricas, magnéticas u ópticas que pueden almacenarse, transferirse, combinarse, compararse, y manipularse de otro modo.

A menos que se especifique de otro modo, y como es evidente a partir de lo siguiente, se apreciará que, a lo largo de la presente memoria descriptiva, las descripciones que usan términos tales como “escanear”, “calcular”, “determinar”, “sustituir”, “generar”, “inicializar”, “emitir”, o similares, se refieren a la acción y procedimientos de un

10 sistema informático, o un dispositivo electrónico similar, que manipula y transforma los datos representados como cantidades físicas dentro del sistema informático en otros datos representados de manera similar como cantidades físicas dentro del sistema informático u otros dispositivos de almacenamiento, transmisión o visualización de información.

La presente memoria descriptiva también da a conocer aparatos, tales como el procesador 110, para realizar las operaciones de los métodos. Tal aparato puede construirse especialmente para los fines requeridos, o puede comprender un ordenador para fines generales u otro dispositivo activado o reconfigurado de manera selectiva por un programa informático almacenado en el ordenador. Los algoritmos y visualizaciones presentadas en el presente documento no están relacionados de manera inherente con ningún ordenador particular u otro aparato. Pueden

15 usarse diversas máquinas con fines generales con programas según las enseñanzas en el presente documento. Alternativamente, puede ser apropiada la construcción de aparatos más especializados para realizar las etapas del método requeridas. La estructura de un ordenador convencional de uso general se mostrará a partir de la descripción a continuación.

Además, la presente memoria descriptiva también da a conocer implícitamente un programa informático, en el que será evidente para el experto en la técnica que las etapas individuales del método descrito en el presente documento pueden ponerse en marcha mediante código informático. No se pretende que el programa informático se limite a ningún lenguaje de programación particular y a la implementación del mismo. Se apreciará que pueden usarse una variedad de lenguajes de programación y codificación de los mismos para implementar las enseñanzas de la divulgación contenida en el presente documento. Además, no se pretende que el programa informático se

20 limite a ningún flujo de control particular.

Además, puede realizarse una o más de las etapas del programa informático en paralelo en vez de de manera secuencial. Un programa informático de este tipo puede almacenarse en cualquier medio legible por ordenador. El medio legible por ordenador puede incluir dispositivos de almacenamiento tales como discos magnéticos u ópticos, chips de memoria, u otros dispositivos de almacenamiento adecuados para interconectarse con un ordenador de uso

25 general. El medio legible por ordenador puede incluir también un medio cableado tal como se ejemplifica en el sistema de Internet, o un medio inalámbrico tal como se ejemplifica en el sistema de teléfonos móviles GSM. Cuando se carga y se ejecuta el programa informático en un ordenador de uso general de este tipo da como resultado de manera eficaz un aparato que implementa las etapas del método preferido.

La invención puede implementarse también como módulos de hardware. Más particularmente, en el sentido del hardware, un módulo es una unidad de hardware funcional diseñada para usarse con otros componentes o módulos. Por ejemplo, un módulo puede implementarse usando componentes electrónicos discretos, o puede formar una parte de un circuito electrónico completo tal como un circuito integrado específico de aplicación (ASIC). Existen otras numerosas posibilidades. Los expertos en la técnica apreciarán que el sistema también puede implementarse como una combinación de módulos de hardware y software.

El método y sistema del ejemplo de realización puede implementarse en un sistema informático 500, mostrado esquemáticamente en la figura 7. Puede implementarse como software, tal como un programa informático que se ejecuta dentro del sistema informático 500, y que da instrucciones al sistema informático 500 para llevar a cabo el método del ejemplo de realización.

El sistema informático 500 puede incluir un módulo de ordenador 502, módulos de entrada tales como un teclado 504 y ratón 506 y una pluralidad de dispositivo de salida tales como un dispositivo de visualización 508, e impresora 510. Se entiende que tanto el sistema informático 500 como los diversos dispositivos de entrada y salida pueden ubicarse alejados del generador de turbina eólica 100. Alternativamente, pueden ubicarse partes del sistema informático 500 con el generador de turbina eólica 100, mientras que otras partes se ubican de manera alejada. También se entiende que pueden usarse múltiples sistemas informáticos para implementar diversas partes del

30 método 400 tal como se describió anteriormente.

El módulo de ordenador 502 puede conectarse a una red de ordenadores 512 por medio de un dispositivo transceptor adecuado 514, para permitir el acceso por ejemplo a Internet u otros sistemas de red tales como red de área local (LAN) o red de área extensa (WAN).

5 El módulo de ordenador 502 en el ejemplo incluye un procesador 518, una memoria de acceso aleatorio (RAM) 520 y una memoria de solo lectura (ROM) 522. El módulo de ordenador 502 también incluye diversas interfaces de entrada/salida (I/O), por ejemplo la interfaz I/O 524 al dispositivo de visualización 508, y la interfaz I/O 526 al teclado 504. Los componentes del módulo de ordenador 502 se comunican normalmente por medio de un bus 528 interconectado y de una manera conocida para el experto en la técnica relevante.

10 El programa de aplicación puede suministrarse al usuario del sistema informático 500 codificado en un medio de almacenamiento de datos tal como un CD-ROM o portador de memoria flash y leerse usando un controlador de medio de almacenamiento de datos correspondiente de un dispositivo de almacenamiento de datos 530. El programa de aplicación se lee y controla en su ejecución mediante el procesador 518. Puede lograrse el almacenamiento intermedio de datos de programa usando la RAM 720.

15 Las realizaciones de la presente invención proporcionan varias ventajas. Dado que el sistema y método pueden implementarse usando mediciones de tensión y corriente disponibles actualmente, no se necesita instalar ningún hardware adicional en el WTG. El sistema y método proporcionan una opción económica para determinar una condición de defecto en uno o más filtros de potencia conectados al WTG. Por tanto, el sistema y método actuales pueden usarse para alertar a un operario de un fallo de filtro de potencia antes de que se produzca cualquier daño en los componentes del WTG.

20 Las realizaciones de la presente invención proporcionan un sistema y método para detectar de manera precisa todos los fallos de los filtros de potencia. El método proporciona comprobaciones para indicar si el resultado de la detección no es preciso. El método puede detectar fallos de los filtros de potencia no solo bajo tensión nominal sino también bajo tensiones de red de funcionamiento permitidas.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para determinar un defecto en un filtro de potencia (102) de un generador de turbina eólica (30, 150), comprendiendo el método las etapas de:
- calcular una potencia reactiva consumida por el filtro de potencia; y
- 5           comparar la potencia reactiva calculada con una potencia reactiva umbral predefinida para determinar dicho defecto,
- en el que dicha potencia reactiva calculada está basada en un valor medido de una corriente de polo de convertidor y uno de una tensión de polo de convertidor para cada cable de fase del generador de turbina eólica,
- 10           caracterizado porque
- dichos valores medidos se obtienen en una transición desde un estado de precarga hasta un estado de marcha del generador de turbina eólica, en el que el estado de precarga consiste en precargar un condensador de enlace de CC conectado a uno de un polo de convertidor del generador de turbina eólica, mientras el filtro de potencia está desconectado.
- 15    2.    Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de calcular la potencia reactiva consumida por el filtro de potencia comprende calcular una potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red del generador de turbina eólica durante un periodo de tiempo.
3.    Método según la reivindicación 2, en el que la etapa de calcular la potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red comprende además ajustar la potencia reactiva promedio consumida por el polo de convertidor de red mediante un factor de tensión para determinar una potencia reactiva promedio ajustada consumida por el polo de convertidor de red.
- 20           4.    Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de calcular la potencia reactiva consumida por el filtro de potencia comprende además:
- calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida en dicho estado de precarga por una fuente de alimentación auxiliar (142) del generador de turbina eólica;
- 25           calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en dicho estado de marcha; y
- calcular la potencia reactiva promedio consumida solo por el filtro de potencia basándose en los valores de la potencia reactiva promedio consumida por la fuente de alimentación auxiliar y la potencia reactiva promedio consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia.
- 30           5.    Método según la reivindicación 4, en el que:
- la etapa de calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida por dicha fuente de alimentación auxiliar en dicho estado de precarga comprende además:
- conectar el condensador de enlace de CC (125) a un polo de convertidor de dicho generador de turbina eólica;
- 35                   precargar dicho condensador de enlace de CC mientras dicho filtro de potencia está desconectado; y
- obtener dichos valores medidos durante dicho estado de precarga;
- la etapa de calcular una potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en dicho estado de marcha comprende además:
- conectar eléctricamente dicho filtro de potencia;
- 40                   proporcionar un retardo;
- calcular dicha potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia durante dicho periodo de tiempo; y
- 45                   desconectar dicho condensador de enlace de CC.
6.    Método según una cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en el que un ciclo fundamental es de 0,02 segundos y el periodo de tiempo es de uno o más ciclos fundamentales.

7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho filtro de potencia es uno de un filtro de potencia del lado de red, un filtro  $dv/dt$  del lado de máquina, o un filtro de estator, y dicho defecto es al menos uno de un fallo en un fusible, un fallo en un condensador, o un fallo en una conexión de dicho filtro de potencia.
- 5 8. Sistema para detectar un defecto en un filtro de potencia (102) de un generador de turbina eólica (30, 150), comprendiendo el sistema:
- un procesador informático (518); y
- una pluralidad de sensores (155, 160) conectados eléctricamente a dicho generador de turbina eólica y dicho procesador informático; en el que
- 10 dicho procesador informático está configurado para:
- calcular una potencia reactiva consumida por el filtro de potencia basándose en datos de dichos sensores; y
- comparar la potencia reactiva calculada con una potencia reactiva umbral predefinida para determinar dicho defecto,
- 15 en el que dichos sensores proporcionan un valor medido de una corriente de polo de convertidor y uno de una tensión de polo de convertidor para cada cable de fase del generador de turbina eólica,
- caracterizado porque
- dichos valores medidos se obtienen en una transición desde un estado de precarga hasta un estado de marcha del generador de turbina eólica, en el que el estado de precarga consiste en precargar un condensador de enlace de CC conectado a uno de un polo de convertidor del generador de turbina eólica, mientras el filtro de potencia está desconectado.
- 20 9. Sistema según la reivindicación 8, en el que dicho procesador calcula una potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red del generador de turbina eólica durante un periodo de tiempo.
10. Sistema según la reivindicación 9, en el que dicho procesador calcula además una potencia reactiva promedio consumida por un polo de convertidor de red ajustando la potencia reactiva promedio consumida por el polo de convertidor de red mediante un factor de tensión para determinar una potencia reactiva promedio ajustada consumida por el polo de convertidor de red.
- 25 11. Sistema de cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en el que el procesador calcula la potencia reactiva consumida por el filtro de potencia:
- calculando una potencia reactiva promedio ajustada consumida en un estado de precarga por una fuente de alimentación auxiliar del generador de turbina eólica;
- 30 calculando una potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en un estado de marcha; y
- calculando la potencia reactiva promedio consumida solo por el filtro de red basándose en los valores de la potencia reactiva promedio consumida por la fuente de alimentación auxiliar y la potencia reactiva promedio consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia.
- 35 12. Sistema según la reivindicación 11, en el que:
- dicho procesador calcula dicha potencia reactiva promedio ajustada consumida por dicha fuente de alimentación auxiliar en dicho estado de precarga:
- 40 conectando el condensador de enlace de CC a un polo de convertidor de dicho generador de turbina eólica;
- precargando dicho condensador de enlace de CC mientras dicho filtro de potencia está desconectado; y
- obteniendo dichos valores medidos durante dicho estado de precarga; y
- dicho procesador calcula dicha potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia en dicho estado de marcha:
- 45 conectando eléctricamente dicho filtro de potencia;
- proporcionando un retardo;

calculando dicha potencia reactiva promedio ajustada consumida tanto por la fuente de alimentación auxiliar como por el filtro de potencia durante dicho periodo de tiempo; y

desconectando dicho condensador de enlace de CC.

- 5 13. Medio legible por ordenador que contiene un código de programa informático para determinar un defecto en un filtro de potencia de un generador de turbina eólica, estando el código informático configurado para hacer funcionar el método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

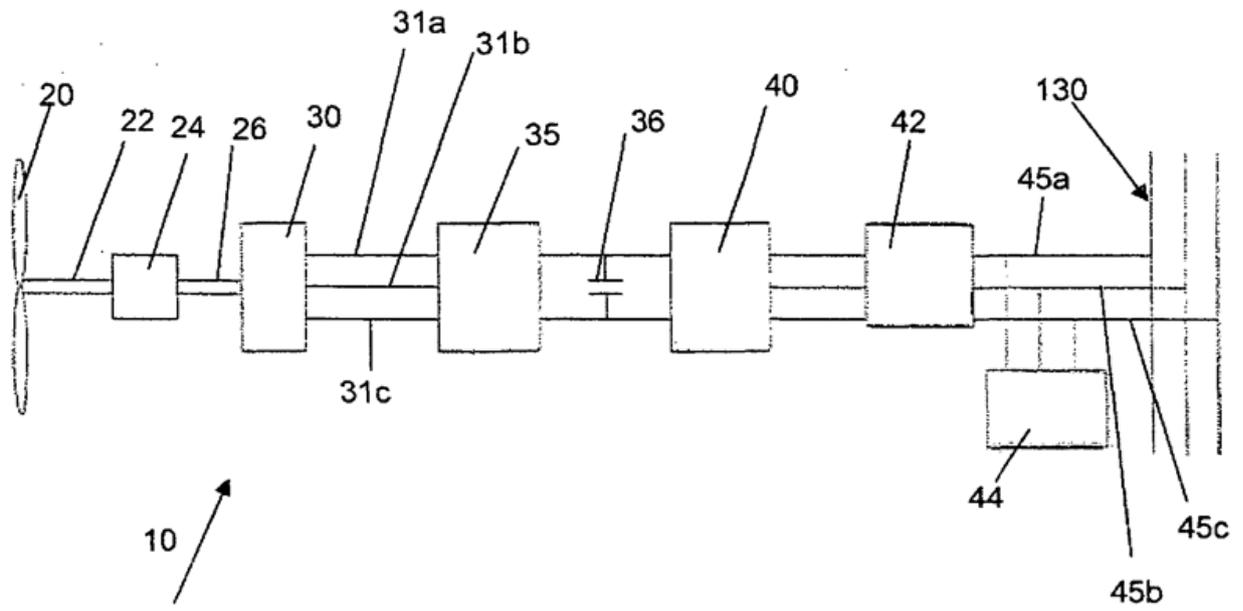


Figura 1

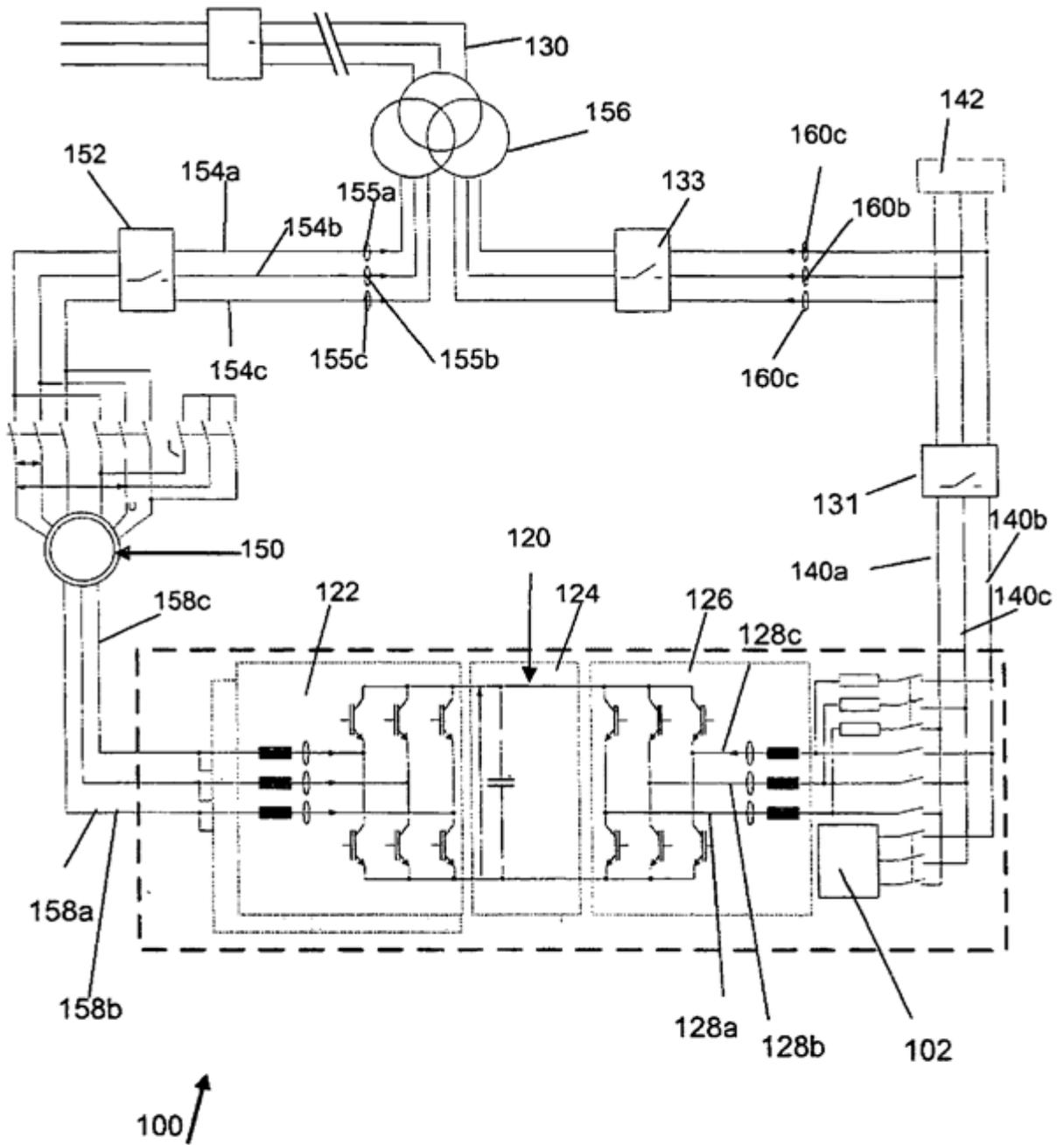


Figura 2

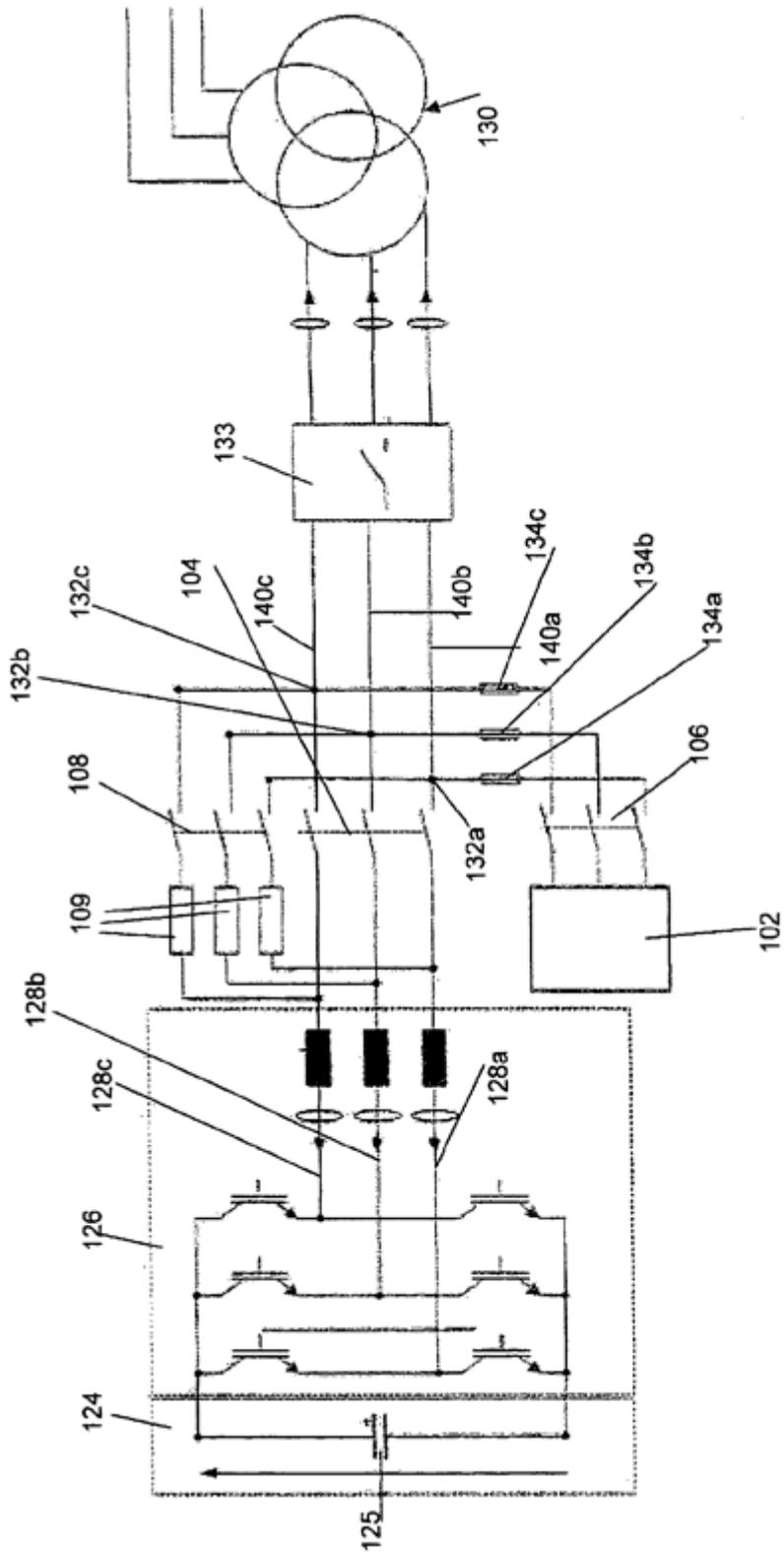
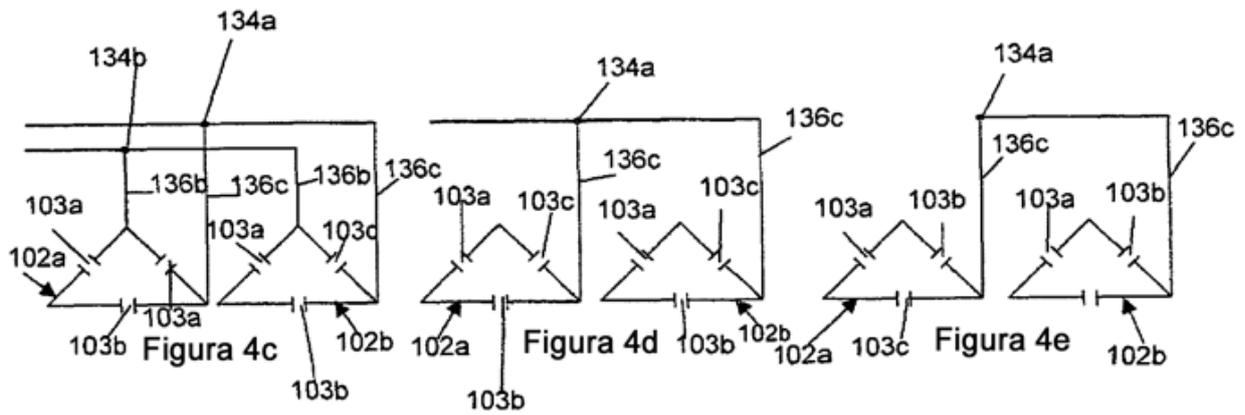
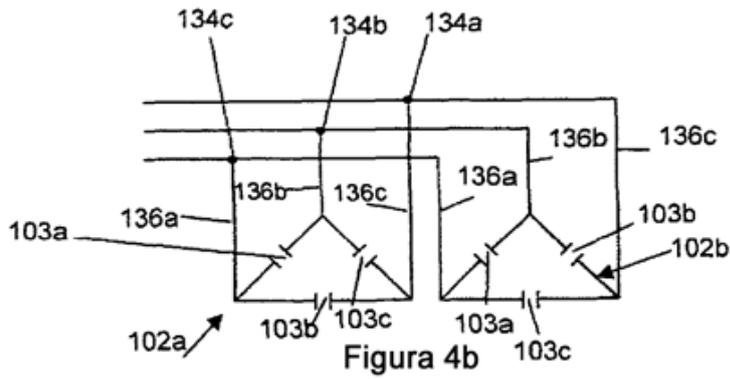
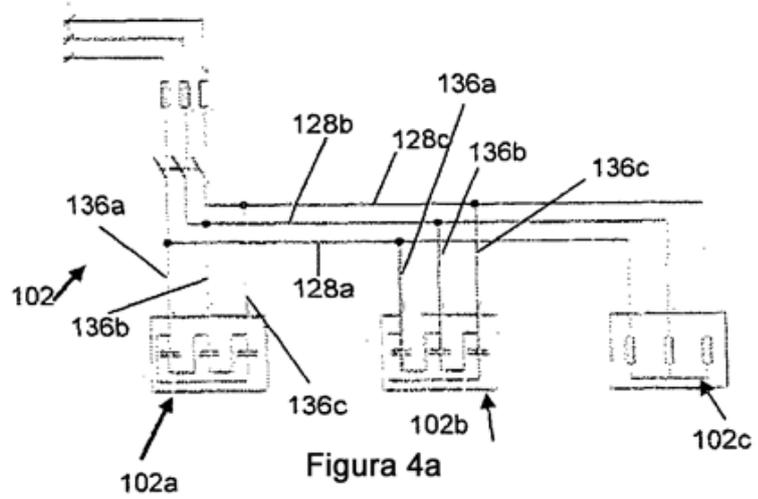


Figura 3



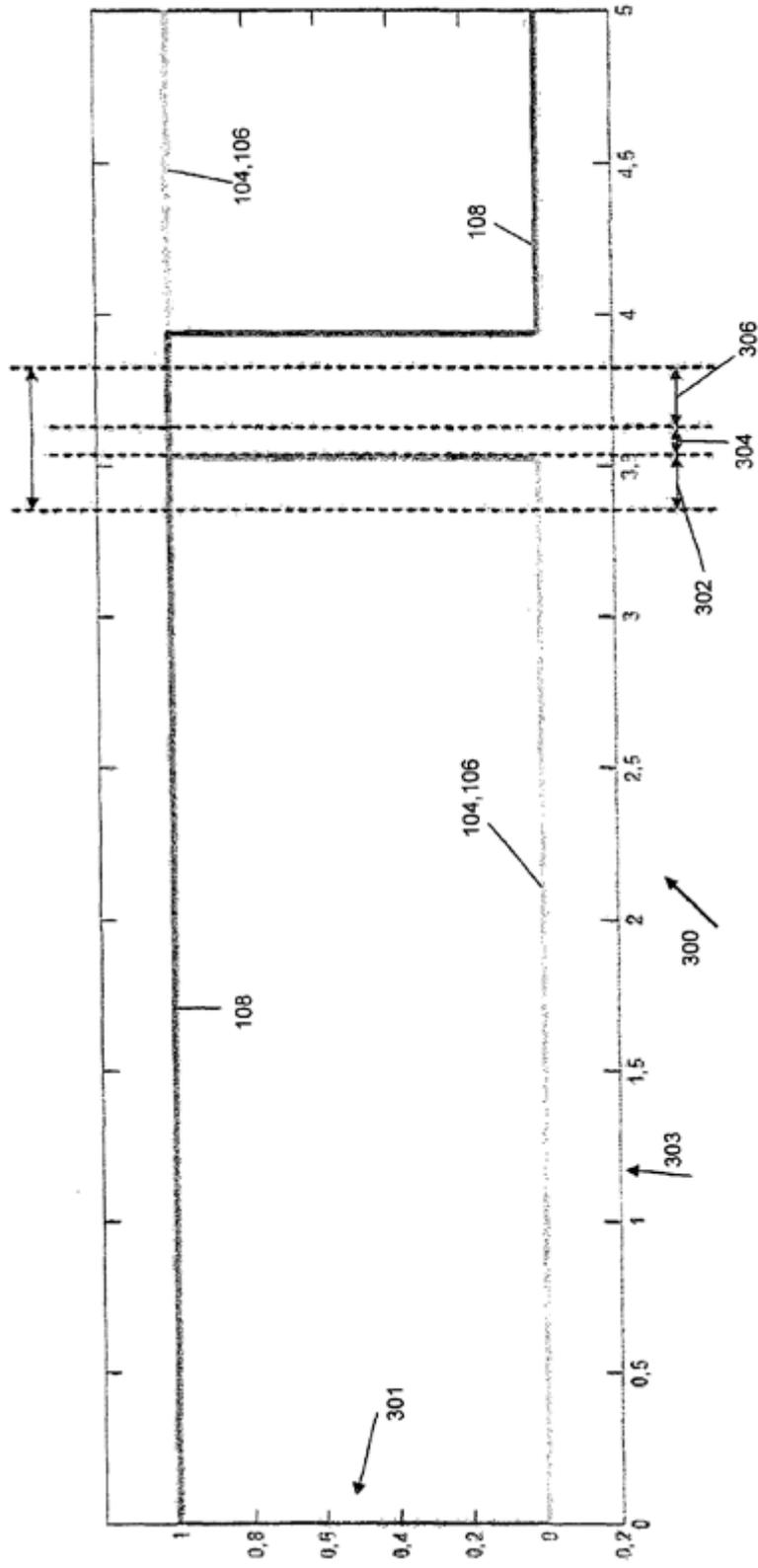
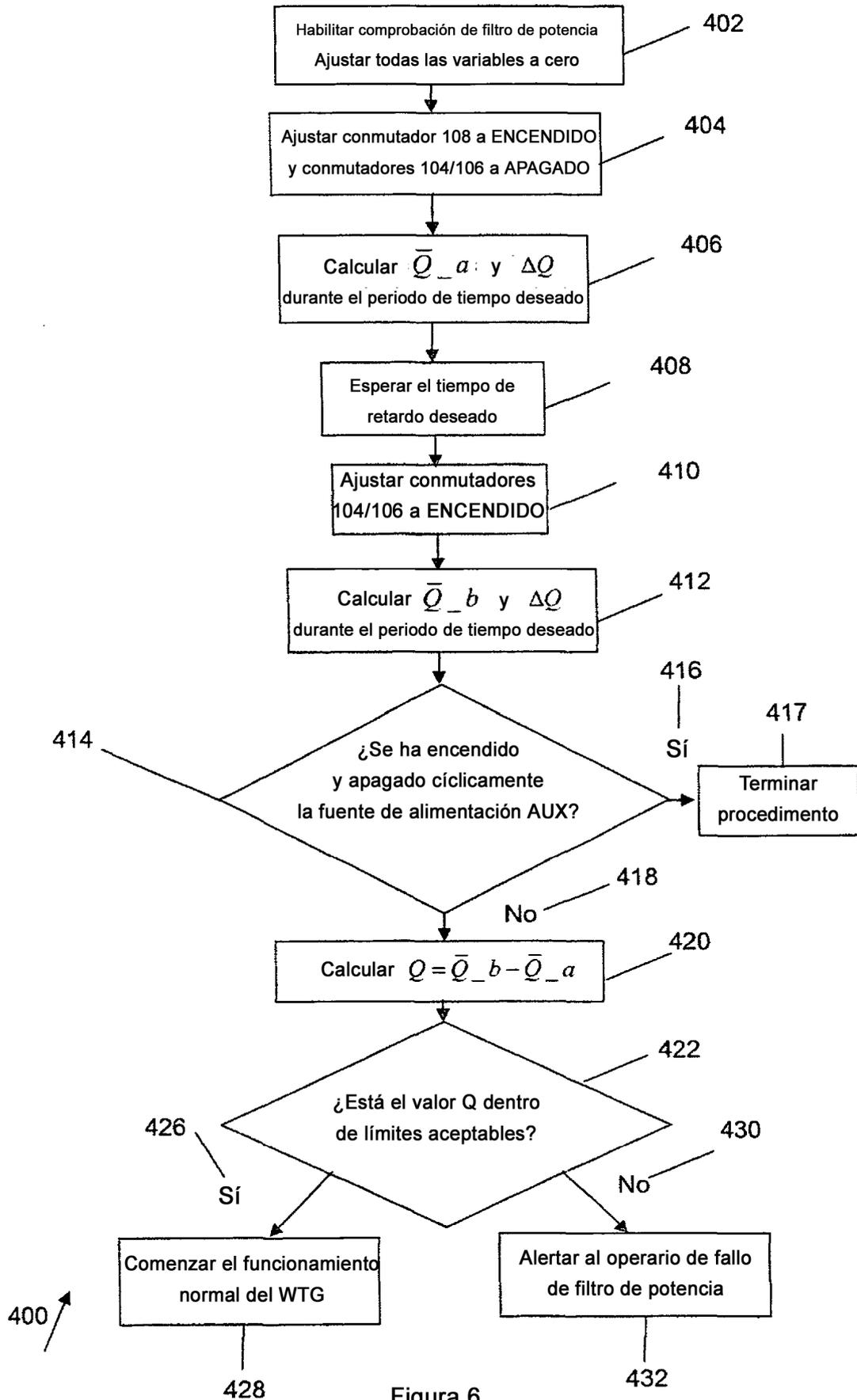


Figura 5



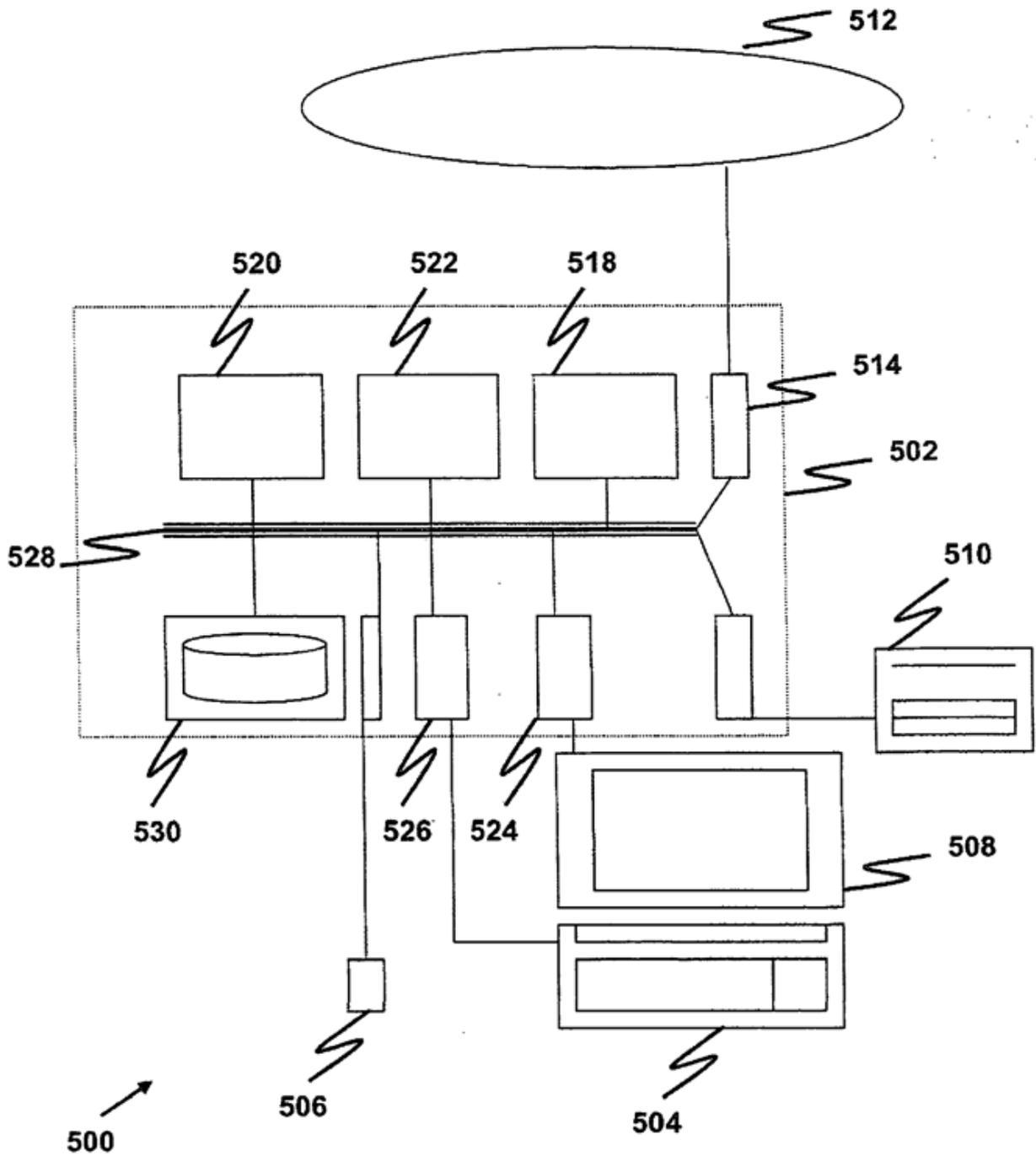


Figura 7