

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 988 392**

51 Int. Cl.:

H02M 7/5387 (2007.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.05.2022** **PCT/EP2022/062220**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.11.2022** **WO22234049**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.05.2022** **E 22727880 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2024** **EP 4315585**

54 Título: **Método para mejorar el funcionamiento de un inversor**

30 Prioridad:

06.05.2021 EP 21172574

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

20.11.2024

73 Titular/es:

FRONIUS INTERNATIONAL GMBH (100.0%)
Froniusstraße 1
4643 Pettenbach, AT

72 Inventor/es:

REZAEI, MOHSEN y
CRESPO CORDO, MARIA

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 988 392 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

Método para mejorar el funcionamiento de un inversor

5 La invención se refiere a un método para mejorar el funcionamiento de un inversor, en particular a un método para optimizar la potencia reactiva inyectada por un inversor en una red de alimentación pública o autónoma o en un sistema de reserva.

10 Un inversor puede utilizarse para convertir una tensión continua en una tensión alterna. El inversor puede conectarse a una red de alimentación autónoma local o a una red de alimentación pública o a un sistema de reserva. Un inversor puede constar de una o varias fases de alimentación. Un inversor trifásico puede convertir una tensión continua recibida en tres fases de alimentación L1, L2, L3. Una fuente de tensión continua, como una batería o un conjunto fotovoltaico, puede aplicar una tensión continua al lado de corriente continua, CC, del inversor. En el lado de corriente alterna, CA, el inversor comprende un filtro de CA que puede incluir un condensador de CA para cada fase de alimentación. Convencionalmente, las capacitancias C de los condensadores de CA del filtro de CA se miden en una fase de producción del inversor. Después de haber medido la capacitancia C de cada uno de los condensadores de CA del filtro de CA, el valor de capacitancia medido se ajusta en el software de control para que un controlador del inversor pueda compensar el efecto de una corriente eléctrica consumida por el condensador de CA respectivo. Esto se hace principalmente para evitar la inyección de corrientes reactivas no deseadas en la red de suministro eléctrico respectiva. Sin embargo, a medida que el inversor abandona la fase de producción y se instala en el campo, los componentes del inversor empiezan a degradarse o envejecer con el tiempo. Esto es especialmente cierto cuando el inversor se instala en un entorno adverso. Debido a la tolerancia y al envejecimiento de los condensadores de filtro de la etapa de filtro de CA con el paso del tiempo, la corriente del condensador se desvía de un valor predefinido. De este modo, se degrada el comportamiento operativo y el rendimiento del inversor.

JP 2019 161824 A describe un dispositivo de fuente de alimentación que comprende: un carril conectado a un terminal de salida de un inversor; un interruptor insertado en el carril en serie; un filtro de CA que tiene un reactor insertado en serie entre el inversor y el interruptor y un condensador conectado entre el carril y un punto neutro; una unidad de detección de corriente que detecta una corriente del reactor; una unidad de detección de tensión que detecta una tensión de alimentación de CA; una unidad de control de accionamiento; una unidad de cálculo del valor de corrección que calcula un valor de corrección para una capacitancia electrostática del condensador, basándose en la corriente y la tensión detectadas por la unidad de detección de corriente y la unidad de detección de tensión mientras el interruptor se mantiene apagado; y una unidad de corrección que corrige un valor de referencia para la capacitancia electrostática del condensador, que se utiliza en el control de accionamiento del inversor por una unidad de control de accionamiento mediante el uso del valor de corrección calculado.

40 WO 2015/084337 A1 describe un dispositivo de potencia que incluye una entrada configurada para recibir potencia de entrada, una salida configurada para proporcionar potencia de salida a una carga, un circuito de conversión de potencia acoplado a la entrada y configurado con una primera línea de salida y una segunda línea de salida, la primera línea de salida acoplada a la salida y configurada para proporcionar corriente de salida en la salida, un condensador acoplado a una unión de la primera línea de salida y la salida, y acoplado a la segunda línea de salida, y un controlador acoplado al circuito de conversión de potencia. El controlador está configurado para recibir una primera medida de corriente para la primera línea de salida, recibir una primera medida de tensión a través del condensador, y determinar una corriente de carga basada en la primera medida de corriente y la primera medida de tensión.

50 EP 3 173 802 A1 describe métodos y sistemas de conversión de potencia en los que un sistema de detección de degradación de condensadores incluye un circuito amplificador de ganancia ajustable calibrado mediante el ajuste automático de una ganancia de amplificador para acomodar los niveles de corriente de un circuito de filtro particular en un primer modo con el rectificador y el inversor del sistema apagados. Los valores de capacitancia de los condensadores de filtro se calculan en función de las señales de corriente amplificadas y se comparan con un intervalo de tolerancia aceptable para identificar selectivamente un fallo del condensador de filtro o para almacenar los valores de capacitancia calculados como valores de base en una memoria electrónica en el primer modo.

55 La publicación científica "Review of Health Prognostics and Condition Monitoring of Electronic Components", de C. Bhargava et al., IEEE ACCESS, IEEE, EE.UU., vol. 8, 20 de abril de 2020 (2020-04-20), páginas 75163-75183, XP011786064, DOI:10.1109/ACCESS.2020.2989410 resume los desarrollos y avances en las áreas de fabricación ecológica, mantenimiento, predicción de la vida útil restante (RUL), y similares, y el estado actual de la investigación en la fiabilidad de los componentes electrónicos.

60 Es un objeto de la presente invención proporcionar un método para mejorar el comportamiento operativo de un inversor teniendo en cuenta el envejecimiento de los componentes del inversor y/o factores ambientales.

La invención se refiere a un método para mejorar un comportamiento operativo de un inversor según la reivindicación 1 y el inversor correspondiente según la reivindicación 14. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

5 La compensación del cambio observado de la capacitancia del condensador de CA con el tiempo se realiza en una posible realización de forma automática basada en factores ambientales.

10 En una posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, si la capacitancia calculada del condensador de CA no se encuentra dentro de un intervalo de tolerancia predefinido, el inversor se apaga automáticamente y/o el procesador del inversor envía un mensaje de advertencia a un servidor remoto o se emite a través de una interfaz de usuario del inversor.

15 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, la capacitancia calculada del condensador de CA se almacena junto con una temperatura ambiente medida y/o una marca de fecha y/o una humedad medida en un almacenamiento local y/o una base de datos de un servidor en la nube.

20 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, el procesador del inversor ajusta automáticamente una fase y/o una amplitud de la corriente de CA generada por el inversor para compensar el cambio observado de la capacitancia del condensador de CA.

En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, si la capacitancia calculada del condensador de CA no se encuentra dentro del intervalo de tolerancia predefinido, el procesador del inversor activa una conmutación automática a un condensador de CA redundante.

25 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, la capacitancia calculada del condensador de CA y la temperatura ambiente medida asociada y/o la marca de fecha y/o la humedad almacenados en la base de datos del servidor en la nube son clasificados por un módulo de inteligencia artificial del servidor en la nube para predecir el comportamiento operativo del condensador de CA para diversas temperaturas ambiente y/o la vida útil restante del condensador de CA y/o las clases de fallo en el condensador de CA.

35 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, las operaciones de mantenimiento predictivo son activadas automáticamente por el servidor en la nube en respuesta al comportamiento operativo previsto y/o a la vida útil prevista del condensador de CA y/o a las clases de fallo previstas en el condensador de CA.

40 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, el calcular la capacitancia del condensador de CA comprende:
calcular una señal de corriente en cuadratura utilizando una integral de la señal de corriente medida,
calcular un valor medio de corriente en cuadratura para la señal de corriente en cuadratura calculada y
calcular un valor cuadrático medio de corriente en cuadratura para la señal de corriente en cuadratura calculada.

45 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, el cálculo de la capacitancia del condensador de CA comprende además
calcular un valor medio de tensión utilizando la integral de la señal de tensión medida y
calcular un valor cuadrático medio de tensión para la señal de tensión medida.

50 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, el calcular la capacitancia del condensador de CA comprende además calcular un valor cuadrático medio de la corriente en cuadratura libre de CC para la corriente como raíz cuadrada de la diferencia entre el valor cuadrático medio calculado de la corriente en cuadratura y el valor al cuadrado del valor medio de la corriente en cuadratura.

55 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, el cálculo de la capacitancia del condensador de CA comprende además
calcular un valor cuadrático medio de tensión libre de CC para la tensión como raíz cuadrada de la diferencia entre el valor cuadrático medio de tensión calculado y el valor cuadrático del valor medio de tensión calculado.

60 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, la capacitancia del condensador de CA calculada como la relación entre el valor cuadrático medio de la corriente en cuadratura libre de CC y el valor cuadrático medio de la tensión libre de CC se almacena en una memoria local del inversor. Los datos pueden almacenarse en la memoria local del inversor hasta que se transfieran a una memoria externa o a un servidor en la nube.

En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, se realiza una compensación automática de la capacitancia del condensador de CA si se ha activado una calibración de la capacitancia por un servidor remoto en la nube o por un usuario a través de una interfaz de usuario del inversor.

5 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, una compensación automática de la capacitancia del condensador de CA se realiza automáticamente antes de cada puesta en marcha del inversor y/o se realiza manualmente.

10 En otra posible realización del método según el primer aspecto de la presente invención, el cambio observado de la capacitancia del condensador de CA a lo largo del tiempo se compensa ajustando la corriente de CA generada por el inversor para la fase de suministro de energía eléctrica respectiva a fin de optimizar una inyección de corriente reactiva durante una inyección de energía por el inversor a través de un relé de red cerrado en la red de suministro de energía pública o autónoma.

15 En una posible realización del inversor según el segundo aspecto de la presente invención, para cada fase de alimentación eléctrica se proporciona un sensor de corriente adaptado para medir la señal de corriente y un sensor de tensión adaptado para medir la señal de tensión.

20 En otra posible realización del inversor según el segundo aspecto de la presente invención, el inversor comprende además una interfaz de comunicación para comunicarse con un servidor remoto en la nube y/o una interfaz de usuario adaptada para mostrar la capacitancia calculada del condensador de CA y/o para configurar parámetros del inversor y que está conectada al inversor o integrada en dicho inversor.

25 En otra posible realización del inversor según el segundo aspecto de la presente invención, el inversor comprende al menos una entrada de corriente continua para recibir corriente eléctrica continua generada por al menos una fuente de corriente continua. La fuente de corriente continua puede incluir al menos un panel fotovoltaico, una batería o cualquier otro generador de corriente continua.

30 A continuación, se describen con más detalle posibles realizaciones de los diferentes aspectos de la presente invención con referencia a las figuras adjuntas.

La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques para ilustrar una posible realización ejemplar de un inversor monofásico o multifásico según un aspecto de la presente invención;

35 la Fig. 2 muestra un diagrama de circuito para ilustrar una posible realización ejemplar de un inversor según la presente invención;

la Fig. 3 muestra otro diagrama eléctrico para ilustrar una posible realización ejemplar de un inversor según la presente invención;

40 la Fig. 4 muestra un diagrama de flujo de una posible realización ejemplar de un método según un aspecto de la presente invención;

45 la Fig. 5 muestra otro diagrama de flujo para ilustrar un cálculo de una capacitancia de un condensador de CA realizado durante la ejecución de un método implementado por ordenador según el primer aspecto de la presente invención;

50 la Fig. 6 muestra un diagrama para ilustrar una interpolación de una capacitancia C frente a la temperatura T realizada en una posible realización del método implementado por ordenador según la presente invención;

la Fig. 7 muestra otro diagrama para ilustrar una clasificación realizada por un módulo de inteligencia artificial al ejecutar un método implementado por ordenador según la presente invención en una posible realización;

55 la Fig. 8 muestra un diagrama para ilustrar un modelo de simulación que puede utilizarse para simular el método según la presente invención;

60 la Fig. 9 muestra un diagrama de circuito para ilustrar el funcionamiento de un método implementado por ordenador según la presente invención;

las Figs. 10A-10D muestran señales de tensión y corriente para ilustrar el comportamiento operativo de un inversor durante un arranque según la presente invención utilizando un modelo de datos de simulación;

65

las Figs. 11A-11D muestran señales de tensión y corriente para ilustrar el comportamiento operativo de un inversor según la presente invención utilizando un modelo de datos de simulación.

La Fig. 1 muestra un diagrama para ilustrar la configuración de un sistema que comprende un inversor 1 según un aspecto de la presente invención. El inversor 1 puede ser monofásico o multifásico. El inversor 1 comprende un lado de CC para recibir una tensión de CC de una o varias fuentes de tensión de CC. El inversor 1 comprende además un lado de CA para emitir una tensión de CA que puede suministrarse a una red de alimentación pública o a una red de alimentación autónoma o a un sistema de reserva. El inversor 1 comprende un procesador, en particular un microprocesador 2, que está adaptado para realizar un método implementado por ordenador para mejorar el comportamiento operativo del inversor 1.

Como se ilustra esquemáticamente en la Fig. 1, el inversor 1 puede conectarse por el lado de CA a una salida de CA, por ejemplo, una red de suministro eléctrico pública o una red de suministro eléctrico autónoma. También puede conectarse por el lado de CA a una carga de reserva o a un generador de CA. Además, el inversor 1 puede conectarse en el lado de CA a una salida de CA generada. En el lado de CC, el inversor 1 puede conectarse al menos a una entrada de CC, por ejemplo, un generador de tensión de CC, uno o varios paneles fotovoltaicos o una o varias baterías.

En una realización preferida, el inversor 1 incluye una interfaz de usuario 3, como se ilustra en la Fig. 1. La interfaz de usuario 3 puede estar integrada en el inversor 1. En una realización alternativa, la interfaz de usuario 3 puede estar integrada en una unidad de interfaz de usuario independiente conectada al inversor 1, en particular mediante un enlace de comunicación inalámbrico o por cable. Además, el inversor 1 puede conectarse a través de una red de datos 4 a un servidor remoto 5, tal como se ilustra esquemáticamente en la Fig. 1. El servidor 5 también puede comprender un módulo de inteligencia artificial adaptado para realizar aprendizaje automático ML. La interfaz de usuario 3 puede integrarse en un dispositivo móvil, tal como un teléfono inteligente o una tableta. Además, la interfaz de usuario 3 también puede integrarse en un equipo de terminal PC conectado al inversor 1 directamente o a través de una red de área local o a través de Internet. La interfaz de usuario 3 puede integrarse en un cliente de un particular o de una empresa, en particular el operador de la red de suministro eléctrico. La transferencia de archivos y/o datos entre el microprocesador 2 del inversor 1 y el servidor remoto 5 puede realizarse según protocolos de transferencia de datos predefinidos. El inversor 1 comprende en el lado de CA un filtro de CA 7 integrado que tiene uno o más condensadores de CA, como también se ilustra en los diagramas de circuitos de las Figs. 2, 3. El inversor comprende una pantalla 2a y un convertidor CC - CA 2b, como se muestra en la Fig. 1.

La Fig. 2 muestra el esquema de un inversor trifásico 1 con un puente de CA 6 para tres fases de alimentación. El puente de CA 6 está conectado mediante un filtro de CA 7 y un relé de red 8 a una red de CA 9. Las tres fases de alimentación A, B, C están conectadas a través de bobinas L_A , L_B , L_C y tres contactos 8A, 8B, 8C a las tres fases de alimentación A, B, C de la red de CA 9. La red de CA 9 puede ser una red pública o una red privada. La red de CA 9 puede ser una red de suministro eléctrico pública o una red de suministro eléctrico autónoma, como una microrred o un sistema de reserva.

El microprocesador 2 del inversor 1 está adaptado para realizar un método implementado por ordenador que comprende dos pasos principales. En un primer paso principal, se calcula una capacitancia C de un condensador de CA de dicho inversor 1 para cada fase de suministro de energía eléctrica del inversor 1 sobre la base de una señal de tensión medida y una señal de corriente medida para la respectiva fase de suministro de energía eléctrica A,B,C durante un arranque del inversor 1 cuando el inversor 1 está separado por el relé de red 8 de la red de CA 9 que puede comprender una red de suministro de energía pública o autónoma o un sistema de reserva.

En otro paso principal, un cambio observado de la capacitancia C del condensador de CA a lo largo del tiempo se compensa ajustando la corriente de CA generada por el inversor 1 para la fase de alimentación eléctrica respectiva a fin de optimizar una inyección de corriente reactiva. En una realización preferida, el cambio observado de la capacitancia C del condensador de CA a lo largo del tiempo se compensa ajustando la corriente de CA generada por el inversor 1 para la fase de suministro de energía eléctrica respectiva con el fin de optimizar la inyección de corriente reactiva durante una inyección de energía por parte del inversor 1 a través del relé de red cerrado 8 en la red de CA 9. En consecuencia, el microprocesador 2 del inversor 1 realiza un algoritmo de autocalibración del condensador de CA durante el funcionamiento del inversor 1 para mejorar su comportamiento operativo. En una posible realización, el uso del algoritmo de autocalibrado del condensador de CA en un inversor 1 multifásico, en particular trifásico, como se ilustra en la Fig. 2, implica una simplificación conceptual al tratar el inversor 1 respectivo como tres inversores monofásicos separados, en los que cada inversor 1 monofásico se proporciona para una fase de alimentación asociada. El método implementado por ordenador puede utilizar por separado las señales de tensión de CA y de corriente de CA de cada fase de alimentación para estimar el valor total del condensador C de cada fase de alimentación. Esta simplificación conceptual también permite utilizar los valores de los sensores independientemente de la posición de los sensores utilizados para medir la corriente. Los tres valores medidos (uno por fase) comprenden los valores de capacidad C de una batería global equivalente de condensadores en estrella o triángulo, según la configuración de los voltímetros de CA presentes en el inversor 1 fase-neutro o fase-fase, respectivamente. La configuración no es relevante para los cálculos realizados, ya que el método

implementado por ordenador según la presente invención puede funcionar independientemente de la configuración proporcionando automáticamente una capacitancia C de los condensadores de CA en la configuración respectiva (estrella o triángulo) utilizada en el inversor individual 1, siempre que las tensiones y corrientes de los condensadores puedan medirse y/o calcularse y estén disponibles para el microcontrolador 2 del inversor 1.

La Fig. 3 muestra el esquema eléctrico de un inversor monofásico 1 con una sola fase de alimentación que puede conectarse a la red de CA 9 mediante un relé de red 8.

La Fig. 4 ilustra un diagrama de flujo de una posible realización ejemplar de un método implementado por ordenador para mejorar un comportamiento operativo de un inversor 1 según un primer aspecto de la presente invención.

En un primer paso S0, se realiza una puesta en marcha del inversor 1.

En el siguiente paso S1, se calcula la capacidad C de un condensador de CA de la etapa de filtro de CA 7 del inversor 1 para cada fase de suministro de energía eléctrica del inversor 1 sobre la base de una señal de tensión medida U y una señal de corriente medida I para la fase de suministro de energía eléctrica respectiva directamente tras la puesta en marcha del inversor 1 en el paso S0 o se realiza durante la puesta en marcha del inversor 1 respectivo. El cálculo de la capacitancia C del condensador de CA se lleva a cabo cuando el inversor 1 se separa de la red de suministro eléctrico pública o autónoma 9, en particular mediante la desconexión del relé de red 8. El procesador 2 del inversor 1 puede calcular la capacidad C del condensador de CA para cada fuente de alimentación eléctrica del inversor 1 basándose en un número mínimo predefinido de muestras de señal de tensión y muestras de señal de corriente.

En el siguiente paso S2, la capacitancia C calculada del condensador de CA puede almacenarse en una memoria interna o externa, en particular en una memoria en la nube. En una posible realización, la capacitancia C calculada del condensador de CA y una temperatura ambiente T medida asociada pueden almacenarse en una base de datos local o remota. Además, en este paso se realiza un ajuste de la curva C - T (interpolación o extrapolación) para mapear posteriormente la temperatura T en tiempo real a la capacitancia C estimada relevante, utilizando esta curva $C(T)$. También es posible almacenar una curva $C(H,T)$ o una curva $C(H,T,t)$ en el paso S2 teniendo en cuenta la humedad H y el tiempo t .

En un paso S3 se comprueba si la capacitancia C calculada del condensador de CA se encuentra en un intervalo admisible entre una capacitancia mínima y una capacitancia máxima.

Si la capacitancia calculada está dentro del rango admisible, se realizan las correcciones necesarias en las ganancias del controlador para optimizar la inyección de potencia reactiva en el paso S4.

En otro paso S5, se inicia la alimentación de energía eléctrica por parte del inversor 1, en particular después de haber cerrado el relé de red 8.

En otro paso S6, puede comprobarse si se ha activado o no la calibración en línea de la capacitancia. La calibración de la capacitancia puede ser activada por un servidor remoto en la nube 5 o por un usuario a través de la interfaz de usuario 3 del inversor 1.

Cuando se ha calculado la capacitancia C del condensador de CA en el paso S1, también se puede almacenar la temperatura ambiente T en el paso S2. Además, se puede almacenar una humedad momentánea H y una marca de tiempo t . Así, por ejemplo, si por la mañana la temperatura ambiente T es más fría que durante el mediodía, esto puede afectar al valor de capacidad C del condensador de CA. Para compensar esto, después de la alimentación en el paso S5, se puede incluir un paso adicional S7, donde se comprueba en el paso S7 si el valor de temperatura T está dentro o fuera de una banda de tolerancia predefinida. Si la temperatura T no está dentro de la banda de tolerancia predefinida, el valor de capacitancia C del condensador de CA se estima a partir de la curva $C(T, H, t)$ almacenada en el paso S8. En el paso S7 se comprueba si la temperatura T está dentro o fuera de un rango de temperatura admisible. Si no es así, el proceso continúa con el paso de mapeo S8. En caso contrario, el proceso vuelve al paso de alimentación S5, como se ilustra en el diagrama de flujo de la Fig. 4.

Si se ha activado la calibración en línea de la capacitancia tras la comprobación en el paso S6 y si se encuentra que la temperatura T está fuera del intervalo de temperatura admisible predefinido, en el paso S8 se realiza el mapeo de la capacitancia en tiempo real del condensador de CA basándose en una curva $C(T)$, una curva $C(T,H)$ o basándose en una curva $C(T,H,t)$ almacenada en el paso S2. En el paso S8 se estima una capacitancia en tiempo real basada en la curva almacenada.

Durante la alimentación, el valor de capacitancia C del condensador de CA puede estimarse no sólo en función de la temperatura T , sino también en función de la edad o la vida útil de funcionamiento del condensador de CA. Esto puede extraerse de una curva inter/extrapolada. De este modo, también se tiene en cuenta el factor de edad. El

valor de temperatura T también puede ser un parámetro estacional. Por ejemplo, en el mes de mayo, este factor puede ser diferente del de enero. Esta nueva dependencia en el tiempo, puede entrar en vigor después de un número mínimo predefinido de días, por ejemplo después de 90 o 180 días, dependiendo de la región donde esté instalado el inversor 1, cuando el inversor 1 haya experimentado suficientes condiciones meteorológicas.

En otra posible realización, dado que en muchos inversores también se incorpora un sensor de humedad junto con un sensor de temperatura interno, la humedad H también puede utilizarse como otro parámetro para realizar incluso una estimación más precisa del valor C en función de las condiciones del emplazamiento y de las diferentes condiciones meteorológicas.

En otro paso S9, se comprueba si la capacitancia mapeada C del condensador de CA se encuentra dentro de un intervalo de tolerancia predefinido, es decir, entre un valor de capacitancia mínimo $C_{\min}$ y un valor de capacitancia máximo $C_{\max}$. Si la capacitancia mapeada C del condensador de CA no se encuentra dentro del intervalo de tolerancia predefinido, el inversor 1 se apaga automáticamente en el paso S12 después de que la información sobre el condensador defectuoso se haya enviado a un servidor web o se haya emitido a través de una interfaz de usuario con un código de estado/advertencia en el paso S11. El procesador 2 del inversor 1 puede enviar un mensaje de advertencia en el paso S11 a un servidor remoto 5 o enviarlo a un usuario a través de una interfaz de usuario 3 del inversor 1 en el paso S11. El mensaje de advertencia puede indicar que el condensador de CA es defectuoso. La interfaz de usuario 3 del inversor 1 puede incluir una pantalla LCD, una interfaz de realidad aumentada AR o una unidad de interfaz de realidad virtual VR. La unidad de interfaz de usuario 3 puede incluir un diodo emisor de luz LED para emitir un mensaje de advertencia. Además, la pantalla de la interfaz de usuario 3 puede mostrar un mensaje de texto que indique el mensaje de advertencia y/o el valor de capacitancia C del condensador de CA defectuoso. En otras realizaciones, el mensaje de advertencia también puede emitirse a través de un altavoz como un mensaje de audio. Una vez emitido el mensaje de advertencia en el paso S11, el inversor 1 puede apagarse en el paso S12. Por el contrario, si el valor calculado de la capacitancia C del condensador de CA se encuentra dentro de un intervalo admisible predefinido en el paso S9, el cambio observado de la capacitancia C del condensador de CA se compensa en el paso S10, tal como se ilustra en el diagrama de flujo de la Fig. 4. El controlador 2 del inversor 1 realiza las correcciones necesarias para optimizar las inyecciones de potencia reactiva en la red de suministro eléctrico pública o autónoma o en un sistema de reserva por parte del inversor 1. En consecuencia, en el paso S10, el cambio observado de la capacitancia C del condensador de CA a lo largo del tiempo puede compensarse en el paso S10 ajustando la corriente de CA generada por el inversor 1 para la fase de alimentación eléctrica respectiva con el fin de optimizar una inyección de corriente reactiva. La optimización de la inyección de corriente reactiva puede realizarse ajustando la inyección de corriente reactiva, es decir, la inyección de potencia reactiva en la red de suministro eléctrico 9 basándose en el nuevo valor de capacitancia. Una vez efectuado el paso S10, el proceso vuelve al paso S5, tal como se ilustra en el diagrama de flujo de la Fig. 4.

Los dos pasos principales del proceso ilustrado en la Fig. 4 comprenden el cálculo de la capacitancia C del condensador de CA en el paso S1 y la compensación automática del cambio observado de la capacitancia C en el paso S10.

La fig. 5 muestra una posible implementación del cálculo de la capacitancia C del condensador de CA como en el paso S1 de la fig. 4. El cálculo de la capacitancia en el paso S1, como se ilustra en la Fig. 4, puede realizarse durante la fase de arranque (como se muestra en la Fig. 4 - pasos S0 - S5) del inversor 1. Durante la fase de arranque, los cálculos pueden realizarse y actualizarse en tiempo real y simultáneamente con la operación de muestreo y medición.

En otras palabras, cuando se completa el periodo de medición, el valor de la capacitancia C del condensador de CA se calcula instantáneamente, eliminando así cualquier tiempo adicional necesario para el cálculo de la capacitancia.

En el paso S1-0, se inicia una comprobación de potencia. Durante la comprobación de potencia, el microprocesador 2 espera en el paso S1-1 hasta que se complete una fase de respuesta transitoria del puente de CA. En otras palabras, el microprocesador 2 espera en el paso S1-1 hasta que se alcanza un estado estacionario. La respuesta transitoria comprende la corriente eléctrica como respuesta a una señal de tensión emitida por el inversor 1.

A continuación, en el paso S1-2 se comprueba si el inversor 1 ha alcanzado el estado estacionario. Si no es así, en el paso S1-3 puede mostrarse un código de estado relevante en una interfaz de usuario 3 del inversor 1. En otras palabras, indica que el inversor tiene un problema y no alcanza el estado estacionario. Se muestra el código de estado asociado al problema.

Cuando el inversor 1 alcanza el estado estacionario, se inicia el cálculo del valor de capacidad C del condensador de CA. El procesador 2 del inversor 1 calcula la capacidad C del condensador de CA para cada fuente de alimentación eléctrica del inversor 1 basándose en un número predefinido de muestras de señales de tensión y de señales de corriente. Las señales de tensión y de corriente pueden almacenarse durante el cálculo en una memoria

interna o externa, en particular en una memoria en la nube. Después de haber medido la señal de tensión y la señal de corriente en el paso S1-4, se calcula una señal de corriente en cuadratura utilizando una integral de la señal de corriente medida en el paso S1-5. Basándose en la señal de corriente en cuadratura calculada, se calcula un valor medio de corriente en cuadratura en el paso S1-6, como se muestra en la Fig. 5. En otro paso S1-7, se calcula un valor cuadrático medio de corriente en cuadratura para la señal de corriente en cuadratura calculada.

En un paso adicional S1-8, se calcula un valor medio de tensión utilizando la integral de la señal de tensión medida. A continuación, en el paso S1-9 se calcula un valor cuadrático medio de la tensión a partir de la señal de tensión medida, como se muestra en el diagrama de flujo de la Fig. 5. En el paso S1-10 puede comprobarse si se han proporcionado suficientes muestras. En una posible implementación, se utilizan al menos tres o cuatro periodos de la señal de tensión y corriente medidas para calcular el valor cuadrático medio de la corriente en cuadratura y el valor cuadrático medio de la tensión. Si se han proporcionado suficientes muestras en el paso S1-10, entonces el microprocesador 2 vuelve al paso S1-4.

En un paso adicional S1-11, el cálculo de la capacitancia C del condensador de CA ilustrado en la Fig. 5 comprende el cálculo de un valor cuadrático medio de un valor de corriente en cuadratura libre de corriente continua para la corriente eléctrica como raíz cuadrada de la diferencia entre el valor al cuadrado del valor cuadrático medio calculado de la corriente en cuadratura y el valor al cuadrado del valor medio de la corriente en cuadratura. Además, en el paso S1-12 se calcula un valor cuadrático medio de tensión libre de CC para la tensión como raíz cuadrada de la diferencia entre el valor al cuadrado del valor cuadrático medio de tensión calculado y el valor al cuadrado del valor medio de tensión calculado. Por último, la capacitancia C del condensador de CA se calcula en el paso S1-13 como una relación entre el valor cuadrático medio de la corriente en cuadratura libre de CC y el valor cuadrático medio de la tensión libre de CC, y se almacena en un almacenamiento local del inversor 1 o en un almacenamiento remoto externo de una nube de datos para futuros análisis en caso de que se produzca algún fallo en el inversor 1. La capacitancia C estimada calculada del condensador de CA puede visualizarse a través de una interfaz de usuario 3 del inversor 1 o a través de una interfaz de un servidor remoto 5 en el paso S1-14. La siguiente compensación automática puede realizarse sobre la base del valor de capacidad C estimado calculado del condensador de CA. En una posible realización, la capacitancia C calculada del condensador de CA se almacena en el paso S2 como se ilustra en la Fig. 4 junto con una temperatura ambiente medida T y otros posibles parámetros en la memoria interna local o en la memoria externa remota para su posterior procesamiento. En los pasos siguientes, como se ilustra en el diagrama de flujo de la Fig. 4, se puede realizar una compensación automática de un cambio observado de la capacitancia C del condensador de CA a lo largo del tiempo ajustando la corriente de CA generada por el inversor 1 para la fase de alimentación eléctrica respectiva. En una posible realización, el valor actual de la capacitancia C del condensador de CA se estima basándose en una temperatura medida en tiempo real T dentro del inversor 1 y/o la humedad H en el paso S8, en particular mediante la realización de un mapeo. En una posible realización, el valor de capacitancia C del condensador de CA puede calcularse o estimarse cada par de minutos u horas al día en diferentes condiciones de carga y temperatura y/o condiciones de humedad. Si el valor de capacitancia C del condensador de CA se encuentra dentro de un rango predefinido, el controlador o procesador 2 del inversor 1 puede realizar las acciones necesarias para optimizar en el paso S10 la inyección de potencia reactiva de la energía eléctrica en la red respectiva. Si el valor de capacitancia mapeada del condensador de CA está fuera de rango, el inversor 1 puede detenerse automáticamente y puede enviarse un mensaje y un código de estado correspondientes en el paso S11 a un servidor remoto. Este mensaje puede proporcionar una advertencia y requerir la reparación del inversor 1 afectado. En una posible realización, si la capacitancia C calculada del condensador de CA no se encuentra dentro del intervalo de tolerancia predefinido, el procesador 2 del inversor 1 puede activar automáticamente una conmutación automática a un condensador de CA redundante. Esto puede reducir los esfuerzos necesarios para las actividades de reparación o mantenimiento en el lado del inversor 1 situado en el campo.

En una posible realización, la capacitancia calculada C del condensador de CA y la temperatura ambiente medida T asociada almacenada en la memoria local o en la base de datos del servidor en la nube 5 pueden ser interpoladas por un módulo de inteligencia artificial. La interpolación puede realizarse para predecir el comportamiento operativo del condensador de CA para diversas temperaturas ambiente T y/o para la vida útil restante del condensador de CA y/o clases de fallo del condensador de CA. En una posible realización, el servidor en la nube 5 puede activar automáticamente una operación de mantenimiento predictivo en respuesta a un comportamiento operativo previsto y/o una vida útil prevista del condensador de CA y/o clases de fallo previstas del condensador de CA respectivo. De este modo, puede conseguirse un funcionamiento continuo sin fallos del inversor 1.

En una posible realización, se pueden proporcionar una capacitancia C y una curva de temperatura (curva CT) basadas en los datos de capacitancia y temperatura medidos, y se pueden utilizar para fines de clasificación y aprendizaje automático ML. También pueden añadirse otros parámetros como la humedad H y la edad (tiempo de funcionamiento) para una estimación más precisa en ML o métodos de regresión matemática.

La Fig. 6 ilustra los valores medidos de una capacitancia C del condensador de CA para diferentes temperaturas ambiente T y una curva ajustada basada en los valores. La curva puede ajustarse mediante aprendizaje automático ML o regresión, etc. El comportamiento del condensador de CA con distintas temperaturas T puede predecirse

basándose en los datos medidos. Por ejemplo, una función como $C(T)$ puede estimarse mediante aprendizaje automático ML después de que se hayan transmitido suficientes datos de medición al servidor remoto en la nube 5. La interpolación (ajuste de curva) puede realizarse también con otros métodos disponibles, como la regresión, y puede realizarse localmente en el microprocesador 2 o externamente en el servidor en la nube 5.

Aunque no se disponga de los datos del fabricante del inversor 1 ni de los datos del fabricante del condensador de CA (como el tipo, las curvas, etc.), se puede conseguir una buena estimación de la capacidad C mediante aprendizaje automático ML a lo largo del tiempo. La estimación es aún más precisa y la función puede calcularse en función de más parámetros, como la edad del condensador: $C(T, \text{edad})$.

Además, es posible clasificar los condensadores defectuosos mediante aprendizaje automático ML, en particular cuando el valor de la capacitancia C del condensador de CA tiene una gran desviación con respecto al valor esperado. En este caso, normalmente los valores se agrupan en función del tipo de defecto, causado por varios factores como, por ejemplo, envejecimiento, mal aislamiento, congelación, conexión floja, etc.

La Fig. 7 muestra un diagrama para ilustrar una posible clasificación basada en los datos de capacitancia medidos y una capacitancia esperada C . De esta forma, es posible indicar un fallo del condensador de CA con fines de mantenimiento predictivo utilizando la clasificación ilustrada en la Fig. 7.

La Fig. 8 ilustra un modelo Simulink que puede utilizarse para realizar simulaciones de la etapa de CA (representada por 6 y 7 en la Fig. 3) de un inversor 1. El modelo Simulink ilustrado de la Fig. 8 consta de dos fuentes de tensión seleccionables ($V1$ y $V2$) que pueden utilizarse para evaluar la robustez del método implementado por ordenador propuesto según la presente invención. El modelo Simulink modela además un puente inversor 6 y un filtro de CA 7 del inversor 1. Además, se ilustran osciloscopios ($OSC1$ y $OSC2$) para demostrar la configuración de prueba proporcionada por el modelo Simulink de la Fig. 8. Se puede proporcionar un interruptor manual SW para seleccionar entre las dos fuentes de tensión, $V1$ y $V2$, para proporcionar dos casos de prueba diferentes. La fuente puede seleccionarse mediante el interruptor manual SW ilustrado en la Fig. 8. Como referencia, se pueden seleccionar dos señales de tensión diferentes. El método implementado por ordenador según la presente invención puede utilizarse para mejorar un comportamiento operativo del inversor 1 independientemente de cualquier forma de señal. En el ejemplo ilustrado, en un primer caso de prueba, un puente inversor recibe una frecuencia fundamental (Fuente 1), por ejemplo, una frecuencia $f=50\text{Hz}$ y una tensión de, por ejemplo, 308V de pico más un armónico (Fuente 2), por ejemplo, un quinto armónico a una frecuencia $f=150\text{Hz}$ y una tensión $= 200\text{V}_p$ más una inyección de CC procedente de una fuente de tensión constante (Fuente 3, por ejemplo 100V). Cuando el interruptor manual SW se conmuta al otro caso de prueba, el puente inversor del inversor 1 recibe una tensión continua constante de la fuente de tensión constante (Fuente 3, por ejemplo 100V) y una señal de ruido blanco (Fuente 4, tensión $= 300\text{V}_p$). Una corriente fluye a través de la bobina L y de un sensor de corriente hacia un condensador de CA C cuya tensión es medida por el sensor de tensión. La corriente medida por el medidor de corriente y el voltaje medido por el sensor de voltaje pueden visualizarse en una pantalla de un osciloscopio OSC correspondiente, como se ilustra en la configuración de la Fig. 8.

Las Figs. 10A, 10B ilustran las señales de tensión y corriente para el modelo Simulink ilustrado en la Fig. 8. Asimismo, las Figs. 10C, 10D ilustran de forma ejemplar las señales de tensión y corriente para una simulación HiL Hardware-in-the-Loop.

Las Figs. 11A y 11B muestran otras señales o formas de onda de tensión y corriente que pueden utilizarse para calcular la capacitancia C de un condensador de CA utilizando el modelo Simulink de la Fig. 8. Por ejemplo, para un valor de capacitancia real de $22\mu\text{F}$ (como en la Fig. 11A) para el condensador de CA, la capacitancia estimada calculada C se calcula mediante el proceso de cálculo ilustrado en la Fig. 5 y es de $22,0019\mu\text{F}$. Para una capacitancia real C del condensador de CA de $5\mu\text{F}$ (como en la Fig 11B), el procedimiento de cálculo de la Fig. 5 da un valor de capacitancia calculado de $5,0050\mu\text{F}$ según el modelo Simulink. El primer caso de prueba ($22\mu\text{F}$) se simula utilizando una combinación de una señal de tensión aleatoria más una inyección de señal de CC. El segundo caso de prueba ($5\mu\text{F}$) se simula con una combinación de una señal de tensión fundamental más señales armónicas más una inyección de señal de CC. Por lo tanto, a través de estos dos casos de prueba, se demuestra la robustez del algoritmo propuesto, ya que funciona tanto para un amplio rango de capacitancias como también para un amplio rango de tipos de señales de entrada. En consecuencia, el cálculo de la capacitancia C estimada del condensador de CA es muy preciso. En lugar del modelo Simulink ilustrado en la Fig. 8, también pueden utilizarse otros modelos de simulación, por ejemplo un modelo HiL. Las Figs. 11C, 11D muestran otras señales o formas de onda de tensión y corriente que pueden utilizarse para calcular la capacitancia C de un condensador de CA utilizando la simulación HiL. Por ejemplo, para un valor de capacitancia real de $19,4\mu\text{F}$ para el condensador de CA (como en la Fig. 11C), la capacitancia estimada calculada C se calcula mediante el proceso de cálculo ilustrado en la Fig. 5 y es de $19,5076\mu\text{F}$. Para una capacitancia real C del condensador de CA de $13,4\mu\text{F}$ (como en la Fig 11D), el procedimiento de cálculo de la Fig. 5 da un valor de capacitancia calculado de $13,5024\mu\text{F}$ según la simulación HiL.

La Fig. 9 muestra otro diagrama para ilustrar el comportamiento operativo del inversor 1 según la presente invención. Para calcular la corriente eléctrica que el inversor 1 puede inyectar en la red de alimentación 9, se puede calcular para la etapa de potencia del inversor 1 como sigue:

- 5 Corriente inyectada a la red = corriente total generada por el inversor 1 - corriente tomada por el condensador de CA.

10 Dado que, tal como se ilustra en la Fig. 9, sólo hay un sensor de corriente, la corriente que fluye hacia el condensador de CA puede calcularse utilizando el sensor de tensión conectado en paralelo al condensador de CA, tal como se ilustra en la Fig. 9.

15 Por consiguiente, $I_{\text{cap}}(\text{inicial}) = V_{\text{red}} / (jC_0\omega)$, donde la corriente del condensador de CA forma un tipo de corriente reactiva. Inicial significa aquí que el condensador de CA aún no se ha modificado, en contraste con "nuevo", que indica que ya se ha producido un cambio en el valor de la capacidad C. Por consiguiente, conociendo la tensión V y la capacitancia C del condensador de CA, la corriente eléctrica puede calcularse (y no medirse) como sigue:

$$I_{\text{red}}(\text{inicial}) = I_{\text{inversor}}(\text{inicial}) - V_{\text{red}} / (jC\omega).$$

20 Si se conocen todos los parámetros de la ecuación en condiciones normales sin desviación del condensador, el inversor 1 puede ajustar la fase y la amplitud de la corriente del inversor I_{inversor} de tal manera que el desplazamiento de fase añadido por la corriente del condensador I_{cap} pueda cancelarse y no se inyecte corriente reactiva no deseada en la red de alimentación 9.

25 Sin embargo, si la capacitancia C del condensador de CA cambia con el tiempo, por ejemplo, con una desviación de ΔC , esto conduce en consecuencia a una desviación de la corriente eléctrica del condensador de CA:

$$I_{\text{cap}}(\text{nuevo}) = V_{\text{red}} / (j(C_0 + \Delta C)\omega) = I_{\text{cap}}(\text{inicial}) + \Delta I_{\text{cap}}$$

30 Si el controlador o procesador 2 del inversor 1 no se percata de este cambio en la capacitancia C del condensador de CA y genera la misma corriente eléctrica que antes, se produce una inyección de corriente reactiva no deseada en la red de alimentación 9, como se indica a continuación:

$$I_{\text{red}}(\text{nuevo}) = I_{\text{inversor}}(\text{inicial}) - I_{\text{cap}}(\text{inicial}) - \Delta I_{\text{cap}} = I_{\text{red}}(\text{inicial}) + \Delta I_{\text{red}}$$

35 Con el método según la presente invención, es posible que el controlador 2 del inversor 1 vuelva a calcular el nuevo valor de la capacitancia C, y entonces se puede calcular ΔC y posteriormente ΔI_{cap} . Siguiendo la desviación de la corriente eléctrica, el controlador 2 del inversor 1 puede tener esto en cuenta y puede generar una nueva corriente eléctrica con una desviación opuesta:

$$40 \quad I_{\text{inversor}}(\text{corregido}) = I_{\text{inversor}} + \Delta I_{\text{cap}}$$

lo que da como resultado:

$$45 \quad \begin{aligned} I_{\text{red}}(\text{nuevo}) &= I_{\text{inversor}}(\text{corregido}) - I_{\text{cap}}(\text{nuevo}) = \\ &= I_{\text{inversor}}(\text{inicial}) + \Delta I_{\text{cap}} - I_{\text{cap}}(\text{inicial}) - \Delta I_{\text{cap}} = \\ &= I_{\text{inversor}}(\text{inicial}) - I_{\text{cap}}(\text{inicial}) = \\ &= I_{\text{red}}(\text{inicial}) \end{aligned}$$

50 En consecuencia, la corriente de la red sigue siendo la misma y la corriente eléctrica no deseada se elimina mediante la contramedida realizada, es decir, la compensación automática en la que se genera una corriente de deriva opuesta.

55 Es posible utilizar el cálculo periódico del condensador a lo largo del día basándose, por ejemplo, en los límites del código nacional. La utilización de la funcionalidad de autocalibración del condensador de CA proporcionada por el método según la presente invención en cualquier momento del día es posible y normalmente no presenta ningún efecto negativo para la estabilización de la red pública en aquellos casos en los que el inversor 1 está conectado a la red y los tiempos de reconexión normales son del orden de 5 a 10 minutos. En el caso de uso particular de un huerto solar o una planta de energía solar que comprende un inversor fotovoltaico, puede realizarse una sincronización de los inversores proporcionados para evitar una desconexión completa durante el tiempo de reconexión. La sincronización de los inversores 1 de la planta fotovoltaica puede realizarse programando los inversores 1 de tal manera que cada uno de los inversores 1 o una combinación de inversores 1 en pequeños grupos realicen su respectiva autocalibración en diferentes intervalos de tiempo. En un momento dado, sólo una

fracción del número total de inversores 1 de la central fotovoltaica está desconectada de la red de suministro eléctrico 9 (por ejemplo, sólo entre el 5 y el 10% de los inversores suministrados).

La funcionalidad de autocalibración del condensador de CA proporcionada por el método según la presente invención puede reforzar el cumplimiento de las normas nacionales que limitan y/o regulan la inyección de potencia reactiva en la red de suministro eléctrico 9 para garantizar un nivel mínimo de calidad de la energía suministrada a los usuarios de la red. Un ejemplo de una norma tan importante que regula valores fijos de $\cos\Phi/Q_{AC}$ así como el nivel de $\cos\Phi/Q_{AC}$ en función del valor de potencia está comprendido en la norma alemana VDE-ARN 4105 que exige cumplir un requisito de una precisión de $Q_{AC} = \pm 4\%$ P_e , $\max(e=errogación)$ y/o la norma australiana/neozelandesa DR AS/NZS 477.2:2020 que limita el $\cos\Phi$ a valores comprendidos entre 0 y 0,8.

Una monitorización periódica de la etapa de filtro de CA 7 mediante la autocalibración del condensador de CA realizada por el método según la presente invención asegura además que una inyección de potencia reactiva a la red de suministro de energía pública 9 por parte del inversor 1 permanezca durante la vida productiva del inversor 1 dentro de una tolerancia estándar predefinida.

El inversor 1 según la presente invención también ofrece la posibilidad de trabajar con una fuente de CC o una batería en lugar de un conjunto fotovoltaico. El origen de la potencia de CC aplicada al lado de CC del inversor 1 no presenta restricciones, ya que la interfaz entre la fuente de CC y el puente de CA forma un enlace de CC. Por lo tanto, una pequeña cantidad de la energía necesaria durante el arranque del inversor 1 puede tomarse del enlace de CC y no directamente de la fuente de energía de CC respectiva. Como consecuencia, todos los inversores que tienen al menos una entrada de CC adaptada para utilizar una batería pueden activar un procedimiento de autocalibrado del condensador de CA sin ninguna modificación o reconfiguración.

A través de la interfaz de usuario 3 del inversor 1 o a través de una interfaz de comunicación, un servidor del operador de la red de suministro eléctrico 9 puede conectarse a cada inversor 1 en línea y puede enviar órdenes a través de una red de datos para ejecutar una autocalibración automática del condensador de CA del inversor 1 respectivo. El controlador del inversor 1 puede abrir los relés de red de CA 8 y reiniciar el procedimiento de inyección del inversor para iniciar la función de autocalibrado del condensador de CA requerida. Mediante la interfaz de usuario 3 del inversor 1 o mediante una interfaz de comunicación, es posible activar en cualquier momento una función de autocalibrado del inversor 1 correspondiente. Esto implica una mejora de la calidad de la red pública y proporciona un procedimiento para el control remoto de la calidad.

En un escenario en el que la desviación de la capacitancia C del condensador de CA con respecto a su valor inicial es superior a las tolerancias admisibles, la realización de medidas correctivas o de compensación por parte del inversor 1 puede no ser suficiente, ya que el funcionamiento del inversor 1 puede dejar de ser fiable. En consecuencia, en una posible realización, puede realizarse una conmutación automática a otro condensador de CA redundante. En muchas situaciones, es difícil acceder al inversor 1 instalado, que puede estar instalado en el campo, por ejemplo, en un pueblo remoto. En este caso, puede instalarse un condensador redundante de repuesto en la carcasa del inversor 1. Mediante la conmutación de un relé, puede realizarse una conmutación automática del condensador de CA original degradado al condensador de CA redundante preinstalado en caso de que los datos medidos indiquen una degradación del condensador de CA original con el paso del tiempo. En una posible implementación, para evitar la degradación del condensador redundante con el paso del tiempo, el controlador o procesador 2 del inversor 1 también puede cambiar entre ambos con frecuencia, por ejemplo, cada dos días. En estas condiciones, ambos condensadores de CA tendrán casi la misma curva de envejecimiento. El cálculo de la capacitancia C del condensador de CA tal como se ilustra en el diagrama de flujo de la Fig. 5 tiene la ventaja de que también suprime con éxito los efectos no deseados de los cálculos de armónicos mediante la introducción de señales en cuadratura, es decir, señales ortogonales. La implementación de la señal se realiza mediante una integral de la señal de corriente. Además, el teorema de Parseval permite vincular el cálculo de la energía o RMS de la señal en los dominios de frecuencia y tiempo. Es posible demostrar que los cálculos propuestos en el dominio temporal compensan los efectos de los armónicos en el dominio de frecuencia. Por consiguiente, el cálculo final de una capacidad C es una relación entre el valor cuadrático medio de la corriente en cuadratura libre de CC y el valor cuadrático medio de la tensión libre de CC y no presenta grandes desviaciones del valor real debido a los efectos de los armónicos.

El método según la presente invención puede utilizar la infraestructura y los componentes existentes del inversor 1. El método funciona sobre la base del análisis de las señales de tensión y corriente en una fase de arranque del inversor 1 que puede realizarse antes de que se haya cerrado el relé de red 8. De este modo, la etapa de filtro de CA 7 está aislada de la red de alimentación 9 y no hay influencia de la impedancia de red.

El método según la presente invención tiene la ventaja de que puede funcionar con una amplia gama de entradas. El método no impone casi ninguna condición sobre la forma de las señales de corriente y tensión medidas. En contraste con los algoritmos convencionales que asumen que las señales medidas son puras o muy cercanas al seno puro, el método según la presente invención puede operar con señales medidas de corriente y tensión de cualquier forma. En un estado de comprobación de potencia, las señales generadas son normalmente señales no

sinusoidales de alta frecuencia. La premisa principal del método comprende la duración de la señal que ha alcanzado un estado estacionario, de modo que la señal capturada contenga suficiente información para su análisis. Normalmente, el tiempo necesario es del orden de decenas de milisegundos y puede lograrse con facilidad.

El método según la presente invención es además robusto. El método se basa en una sólida base matemática en el dominio de frecuencia y, por lo tanto, es muy estable. En pruebas preliminares realizadas utilizando el modelo de simulación, la capacitancia C pudo detectarse utilizando ruido blanco como tensión de salida hipotética del puente.

El método implementado por ordenador según la presente invención tiene la ventaja adicional de que es fácil de implementar. Aunque la prueba del método se puede dar como dominio de frecuencia, su puesta en práctica está en una realización preferida en el dominio temporal. Además, el método implementado por ordenador según la presente invención puede realizarse en tiempo real. En una realización preferida, el método implementado por ordenador según la presente invención no utiliza cálculos en el dominio de frecuencia como FFT. Como consecuencia, el método no requiere tamaños de memoria enormes de la memoria de datos para capturar suficientes datos y no requiere realizar cálculos de matriz complejos para el análisis de los datos. El método requiere pocas variables para realizar los cálculos necesarios. El método implementado por ordenador puede realizarse mediante procedimientos y programas como se ilustra en los diagramas de flujo. Estos procedimientos también pueden ser muy ligeros y requerir pocas líneas de programa (aproximadamente menos de 100 líneas de programa). En consecuencia, la memoria ocupada por el procedimiento o programa que implementa el método implementado por ordenador según la presente invención puede ser pequeña.

El método implementado por ordenador según la presente invención proporciona un beneficio de soporte del ciclo de vida. A largo plazo, los cambios en la capacitancia C junto con el sello de temperatura pueden supervisarse, por ejemplo, a través de un servidor remoto 5 basado en la web. Esto puede realizarse para todos los inversores 1 instalados en regiones climáticas divergentes de todo el mundo. De este modo, al cabo de un tiempo considerable, por ejemplo varios años, se dispone de una rica base de datos que puede utilizarse para analizar el rendimiento y el comportamiento de envejecimiento de los componentes y elementos de los distintos inversores en condiciones ambientales reales. En consecuencia, se pueden tomar mejores decisiones para analizar y predecir futuros fallos, así como evaluar a los proveedores de los componentes y mejorar los diseños de los inversores para el futuro.

El método según la presente invención proporciona una corrección del funcionamiento del inversor. Los datos de capacitancia de temperatura proporcionados por las mediciones pueden utilizarse para interpolar la capacitancia C del condensador de CA dentro de la etapa de filtro de CA 7 durante el funcionamiento del inversor 1, por ejemplo, a mediodía y no sólo por la mañana. Si es necesario, el controlador 2 del inversor 1 puede realizar correcciones para compensar los cambios observados en la capacitancia C del condensador de CA dentro de la etapa de filtro de CA 7.

El método proporciona además una mejora de la CEM. Con una desviación o deriva de la capacitancia C del condensador de CA a lo largo del tiempo, el funcionamiento de la etapa de filtro de CA 7 puede desviarse del funcionamiento esperado según su diseño. Eventualmente, pueden inyectarse más armónicos en la red de suministro eléctrico 9. En consecuencia, el método según la presente invención puede realizar acciones correctivas o compensaciones en línea para suprimir la inyección de armónicos no deseados en la red de suministro de energía 9.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para mejorar el comportamiento operativo de un inversor (1), en donde dicho método comprende los pasos de:
 - calcular (S1) por un procesador (2) del inversor (1) durante una fase de arranque (S0 a S5) del inversor (1) en el dominio temporal y en tiempo real instantáneamente una capacitancia, C, de un condensador de corriente alterna de una etapa de filtro de corriente alterna (7) de dicho inversor (1) para cada fase de alimentación eléctrica del inversor (1) sobre la base de una señal de tensión medida y una señal de corriente medida para la fase de alimentación eléctrica respectiva como relación entre un valor cuadrático medio de una corriente en cuadratura libre de corriente continua y un valor cuadrático medio de una tensión libre de corriente continua sobre la base de un número mínimo predefinido de muestras de señal de tensión de la señal de tensión medida y de muestras de señal de corriente de la señal de corriente medida para compensar los efectos de los armónicos en el dominio de frecuencia,
 - 10 en donde, durante la fase de arranque (S0 a S5), la etapa de filtro de corriente alterna (7) del inversor (1) se separa mediante un relé de red (8) de una red de suministro eléctrico pública o autónoma (9) o de un sistema de reserva; y
 - compensar (S10) por el procesador (2) del inversor (1) durante una alimentación de potencia eléctrica por el inversor (1) automáticamente un cambio observado de la capacitancia calculada, C, del condensador de corriente alterna de la etapa de filtro de corriente alterna (7) de dicho inversor (1) en el tiempo ajustando la corriente alterna generada por el inversor (1) para la fase respectiva de alimentación de potencia eléctrica para optimizar una inyección de corriente reactiva,
 - 20 en donde la alimentación de energía eléctrica por el inversor (1) se inicia (S5) después de cerrar el relé de red (8) a la red pública o autónoma (9) o al sistema de reserva.
- 25 2. El método según la reivindicación 1, en donde si se detecta (S3) que la capacitancia calculada (S1), C, del condensador de corriente alterna de la etapa de filtro de corriente alterna (7) de dicho inversor (1) no se encuentra dentro de un intervalo de tolerancia de capacitancia admisible predefinido que oscila entre una capacitancia mínima ($C_{\min}$) y una capacitancia máxima ($C_{\max}$), el inversor (1) se apaga automáticamente (S12) y/o el procesador (2) del inversor (1) envía un mensaje de advertencia (S11) a un servidor remoto (5) o se emite a través de una interfaz de usuario (3) del inversor (1) y/o el procesador (2) del inversor (1) activa una conmutación automática a un condensador de corriente alterna redundante.
- 30 3. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 ó 2, en donde después de calcular (S1) la capacitancia, C, del condensador de corriente alterna de la etapa de filtro de corriente alterna (7) de dicho inversor (1), la capacitancia calculada, C, se almacena (S2) junto con una temperatura ambiente medida, T, una humedad momentánea, H, medida por el sensor de humedad y junto con una marca de tiempo, t, como una curva $C(T, H, t)$ en el almacenamiento local y/o una base de datos de un servidor en la nube (5).
- 35 4. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 3, en donde una fase y/o una amplitud de la corriente alterna generada por el inversor (1) es ajustada automáticamente por el procesador (2) del inversor (1) durante una alimentación de potencia eléctrica por el inversor (1) para compensar (S10) automáticamente el cambio observado de la capacitancia, C, del condensador de corriente alterna.
- 40 5. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 2 a 4, en donde si (S6) se ha activado una calibración en línea, se comprueba (S7) si un valor de temperatura de la temperatura ambiente, T, está dentro o fuera de un intervalo de temperatura admisible predefinido, y si se encuentra que la temperatura ambiente, T, está fuera del intervalo de temperatura admisible predefinido, se realiza un mapeo de una capacitancia en tiempo real, C, del condensador de corriente alterna (S8) basándose en la curva almacenada (S2) $C(T, H, t)$ para estimar una capacitancia en tiempo real del condensador de corriente alterna basándose en la curva almacenada $C(T, H, t)$, donde si la capacitancia mapeada (S8), C, del condensador de corriente alterna de dicho inversor (1) no está dentro del rango predefinido (S9), el inversor (1) se apaga automáticamente (S12) y/o el procesador (2) del inversor (1) envía un mensaje de advertencia (S11) a un servidor remoto (5) o se emite a través de una interfaz de usuario (3) del inversor (1) y/o el procesador (2) del inversor (1) activa una conmutación automática a un condensador de corriente alterna redundante.
- 45 50 6. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 3 a 5, en donde la capacitancia calculada, C, del condensador de corriente alterna y la temperatura ambiente medida asociada, T, la humedad, H, y la marca de tiempo asociada, t, almacenados (S2) durante la fase de arranque del inversor (1) en la base de datos del servidor en la nube (5) son interpolados por un módulo de inteligencia artificial del servidor en la nube (5) para proporcionar una curva de ajuste ($C(T, H, t)$) que representa un comportamiento esperado
- 55

de la capacitancia del condensador de corriente alterna de dicho inversor (1) que se utiliza para predecir el comportamiento operativo del condensador de corriente alterna y se utiliza para clasificar los condensadores de corriente alterna defectuosos en clases de fallo.

- 5 7. El método según la reivindicación 6, en donde las operaciones de mantenimiento predictivo son activadas automáticamente por el inversor (1) o por el servidor en la nube (5) en respuesta al comportamiento operativo previsto del condensador de corriente alterna y/o las clases de fallos en el condensador de corriente alterna.
- 10 8. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde calcular (S1) la capacitancia, C, del condensador de corriente alterna durante la fase de arranque del inversor (1) comprende los siguientes subpasos:
 - calcular (S1-5) una señal de corriente en cuadratura utilizando una integral de la señal de corriente medida,
 - calcular (S1-6) un valor medio de corriente en cuadratura para la señal de corriente en cuadratura calculada y
 - 15 -calcular (S1-7) un valor cuadrático medio de corriente en cuadratura para la señal de corriente en cuadratura calculada.
9. El método según la reivindicación 8, en donde calcular (S1) la capacitancia, C, del condensador de corriente alterna durante la fase de arranque del inversor (1) comprende además los siguientes subpasos:
 - calcular (S1-8) un valor medio de tensión utilizando la integral de la señal de tensión medida y
 - calcular (S1-9) un valor cuadrático medio de tensión para la señal de tensión medida.
- 20 10. El método según las reivindicaciones 8 y 9,
 - donde la capacitancia, C, del condensador de corriente alterna de dicho inversor (1) para cada fase de alimentación eléctrica del inversor (1) es calculada (S1) durante la fase de arranque del inversor (1) por un procesador (2) del inversor (1) sobre la base del número mínimo predefinido de muestras de señal de tensión y muestras de señal de corriente,
 - 25 donde al menos de tres a cuatro períodos de la señal de tensión medida (S1-4) y de la señal de corriente medida (S1-4) se utilizan para calcular (S1-7) el valor cuadrático medio de la corriente en cuadratura y para calcular (S1-9) el valor cuadrático medio de la tensión.
- 30 11. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 8 a 10, en donde calcular (S1) la capacitancia, C, del condensador de corriente alterna durante la fase de arranque del inversor (1) comprende además el siguiente subpaso:
 - calcular (S1-11) el valor cuadrático medio de la corriente en cuadratura libre de corriente continua para la corriente como la raíz cuadrada de la diferencia entre el valor cuadrático medio calculado de la corriente en cuadratura y el valor cuadrático medio del valor de la corriente en cuadratura calculado (S1-6).
- 35 12. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 8 a 11, en donde calcular (S1) la capacitancia, C, del condensador de corriente alterna durante la fase de arranque del inversor (1) comprende además el siguiente subpaso:
 - calcular (S1-12) el valor cuadrático medio de la tensión libre de corriente continua para la tensión como la raíz cuadrada de la diferencia entre el valor al cuadrado del valor cuadrático medio de la tensión calculado y el valor al cuadrado del valor medio de la tensión calculado (S1-8).
- 40 13. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 5 a 12, en donde la compensación automática (S10) de la capacitancia, C, del condensador de corriente alterna de dicho inversor (1) durante la alimentación de energía eléctrica por el inversor (1) se realiza si la calibración en línea de la capacitancia ha sido activada (S6) por un servidor remoto en la nube (5) o por un usuario a través de una interfaz de usuario (3) del inversor (1).
- 45 14. Un inversor (1) monofásico o multifásico para la inyección de energía eléctrica en una red pública de suministro de energía o en una red autónoma de suministro de energía o en un sistema de reserva, en donde dicho inversor (1) comprende un procesador (2) adaptado para realizar el método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 precedentes.
- 50 15. El inversor según la reivindicación 14, donde dicho inversor (1) comprende además una interfaz de comunicación con un servidor remoto en la nube (5) y/o

una unidad de interfaz de usuario (3) adaptada para visualizar la capacitancia calculada, C , del condensador de corriente alterna y/o para ajustar parámetros del inversor (1) y que está conectada al inversor (1) o integrada en dicho inversor (1).

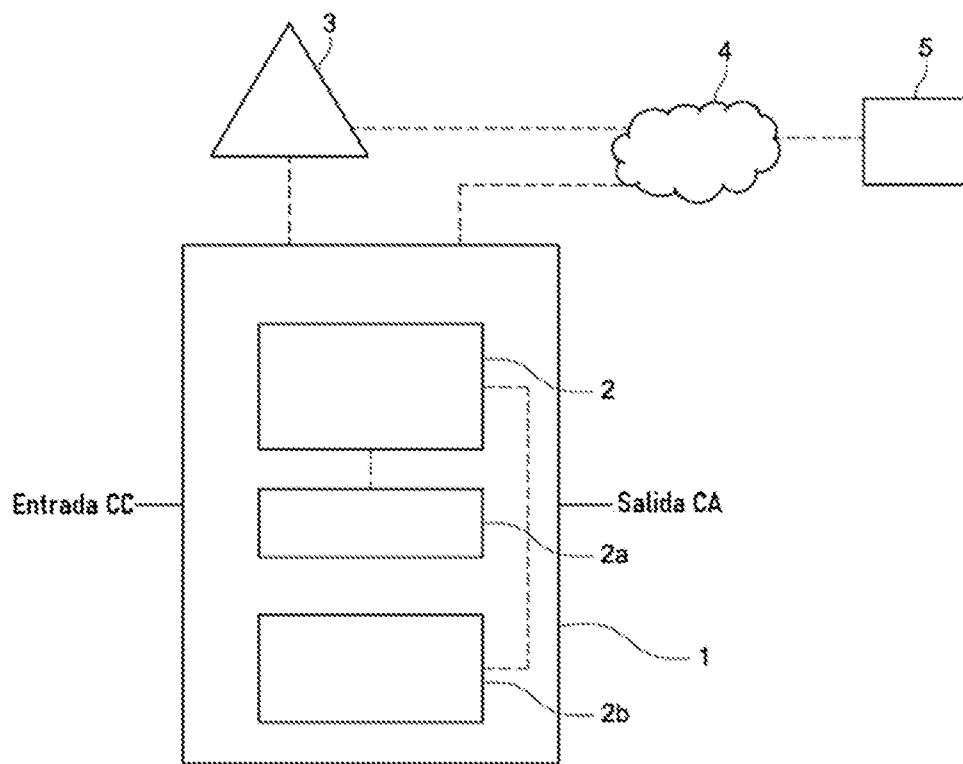


FIG. 1

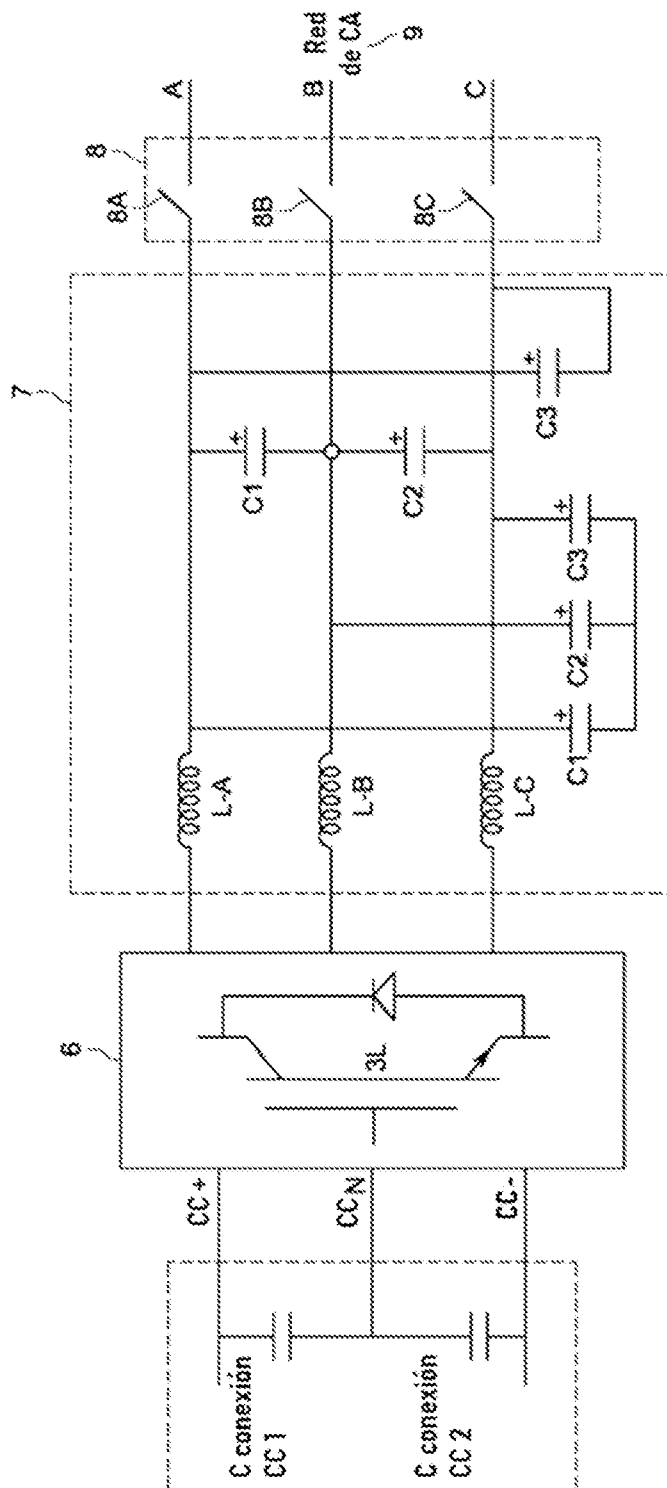


FIG. 2

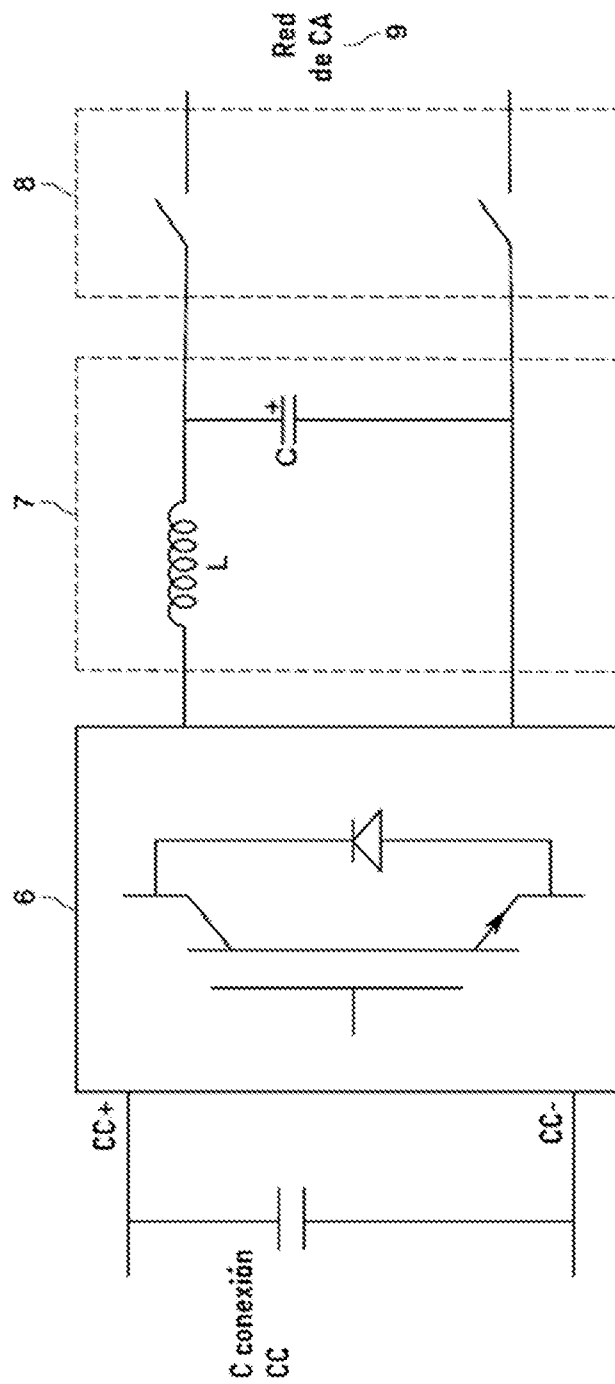


FIG. 3

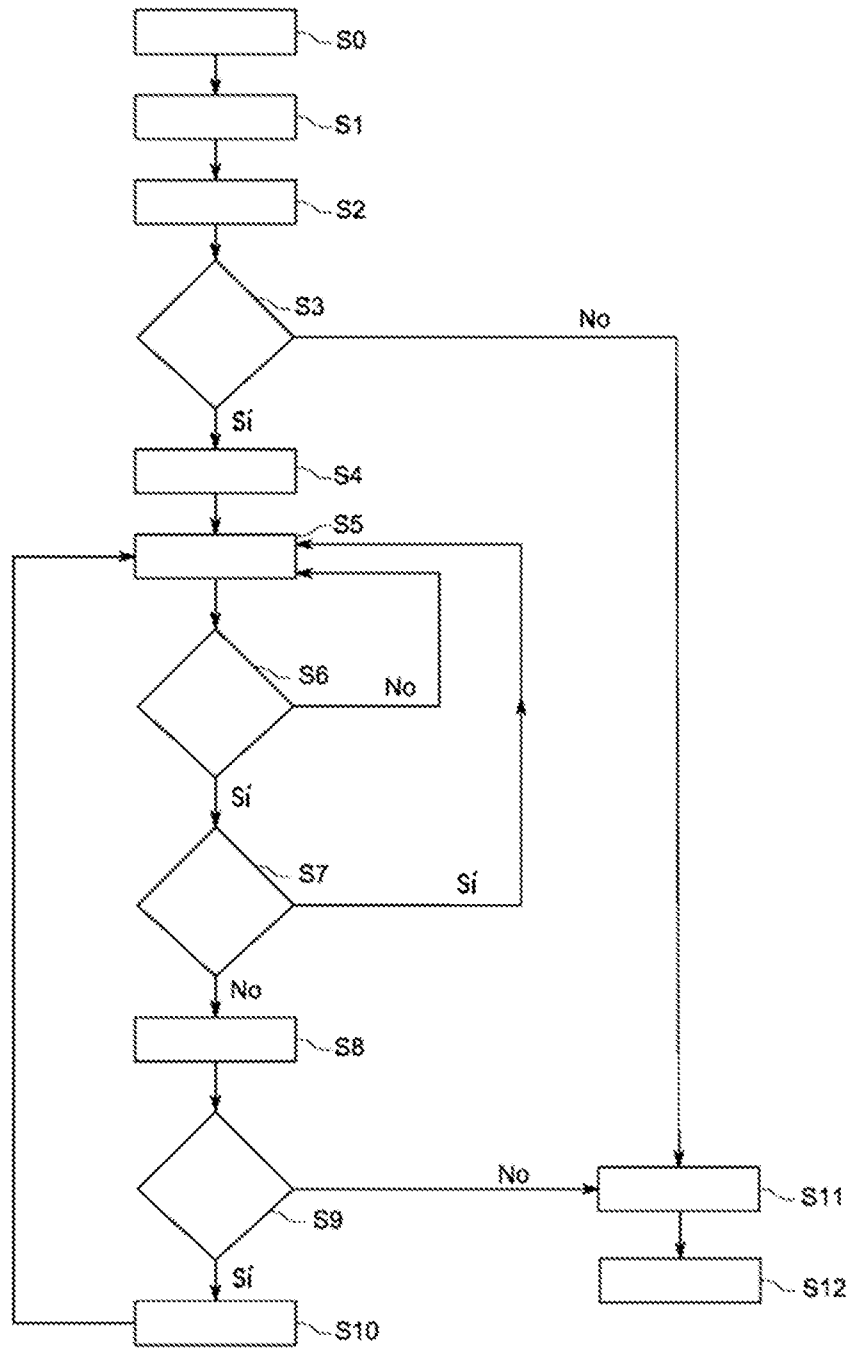


FIG. 4

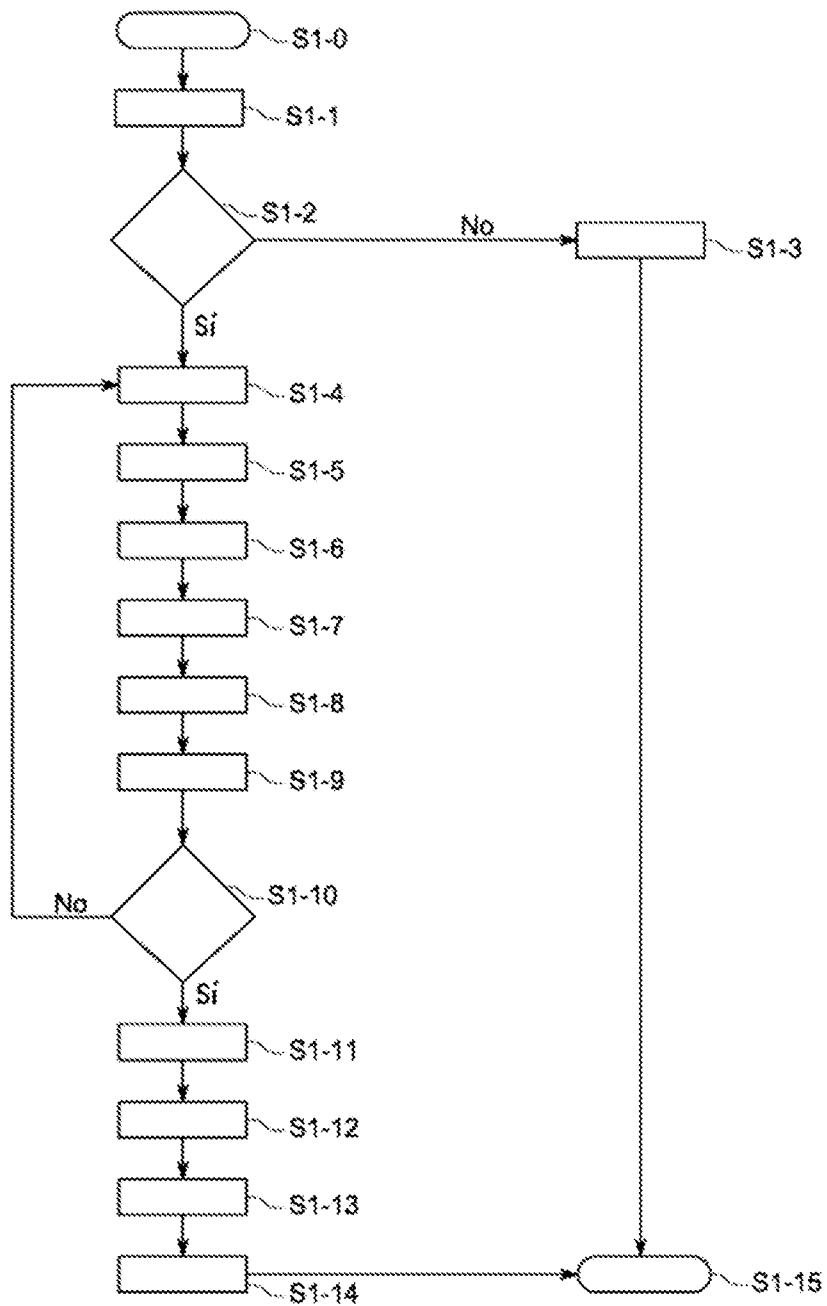


FIG. 5

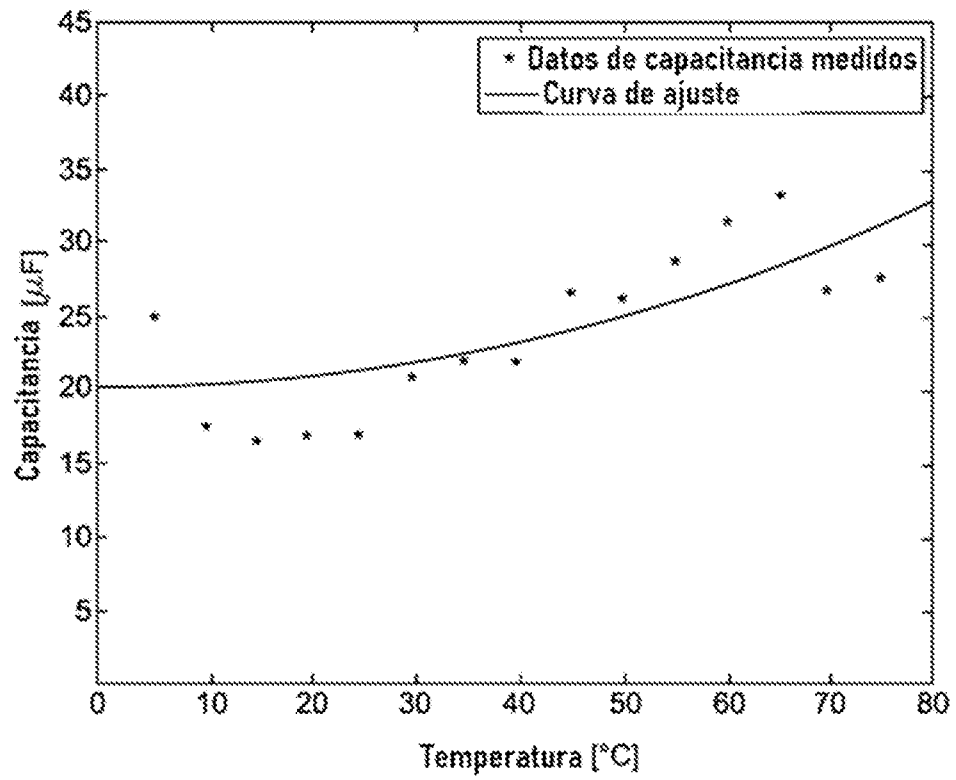


FIG. 6

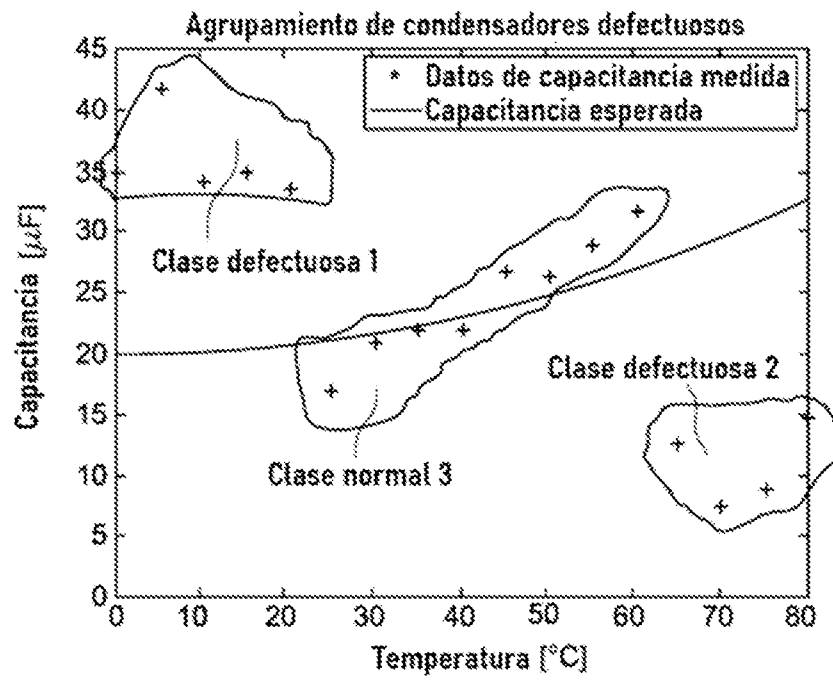


FIG. 7

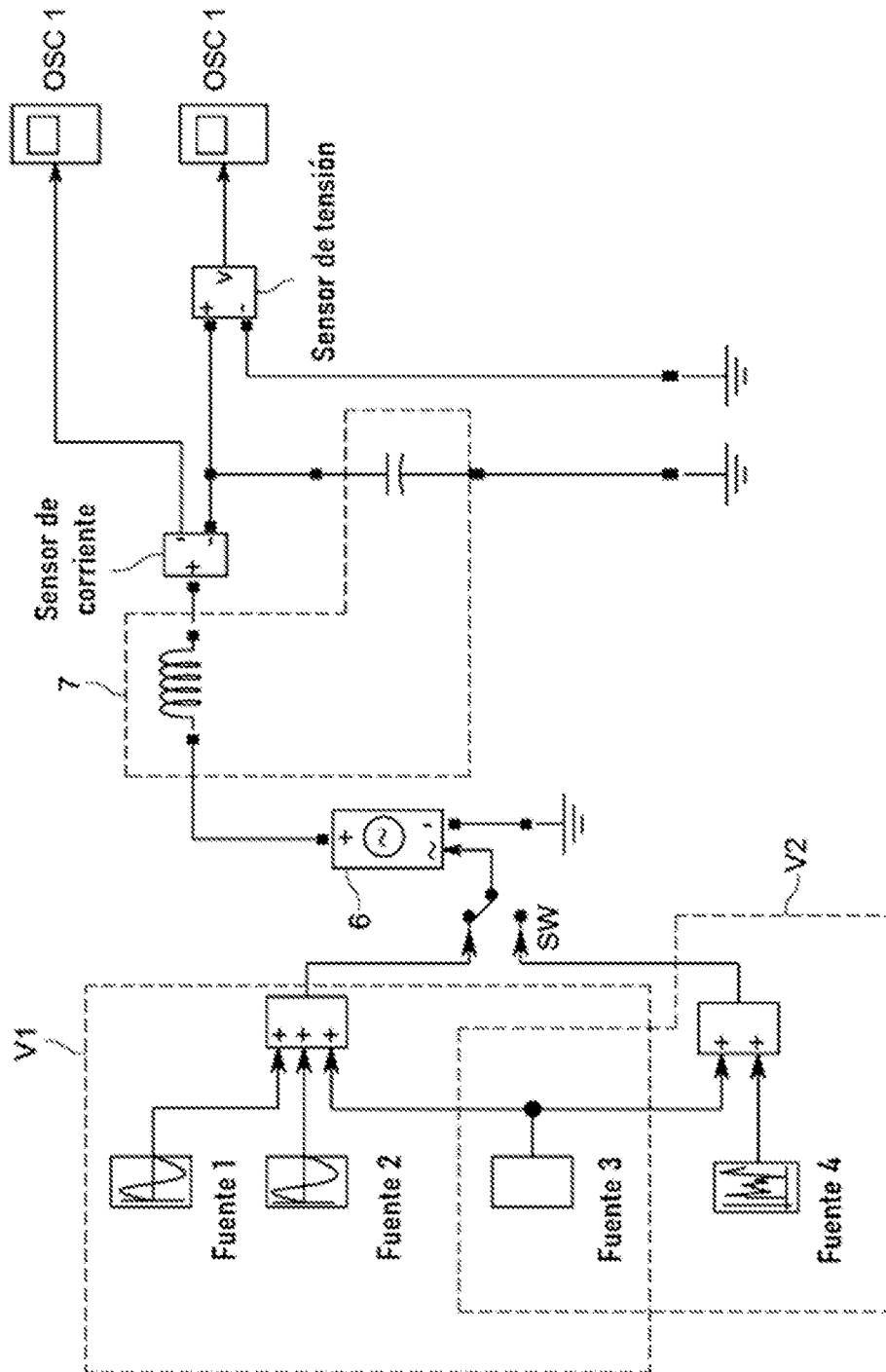


FIG. 8

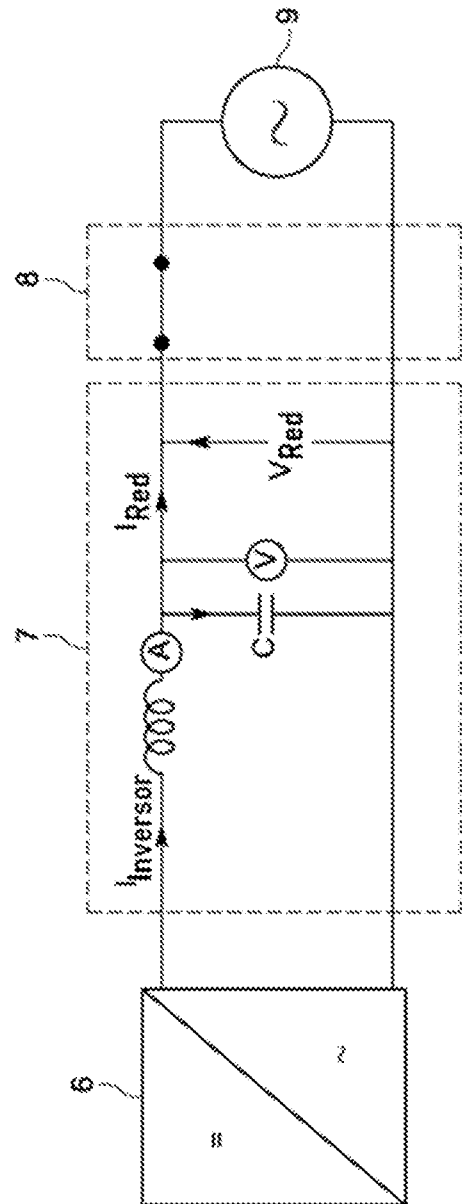


FIG. 9

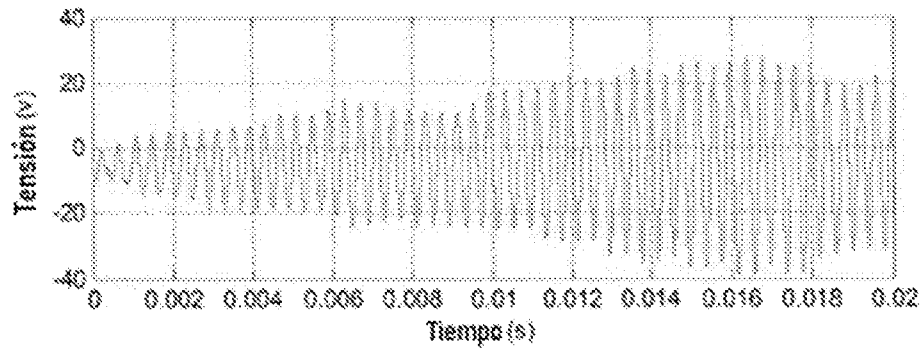


Fig. 10A

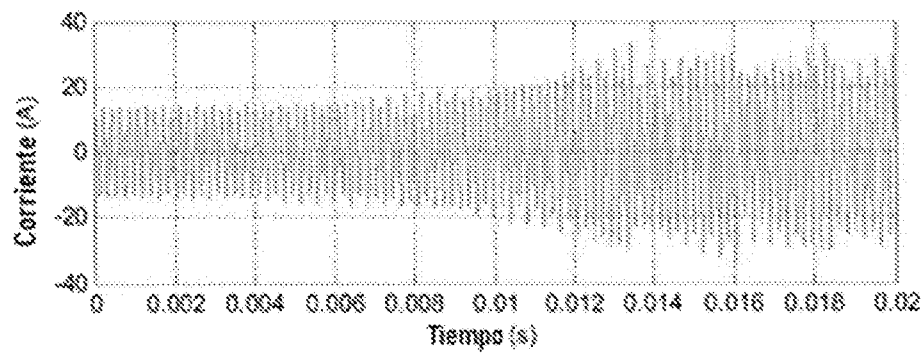


Fig. 10B

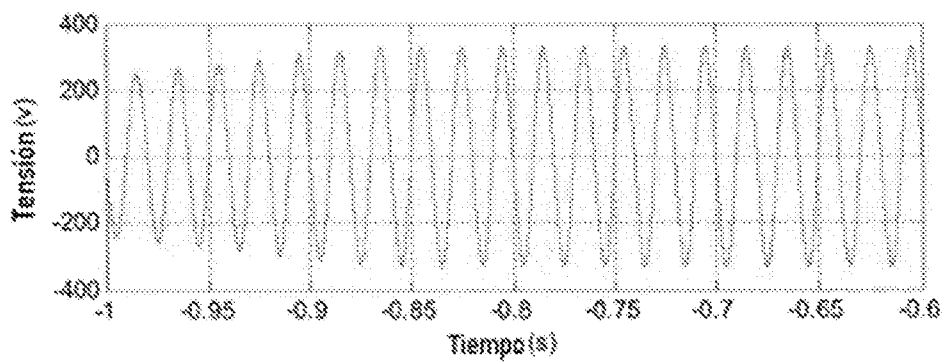


Fig. 10C

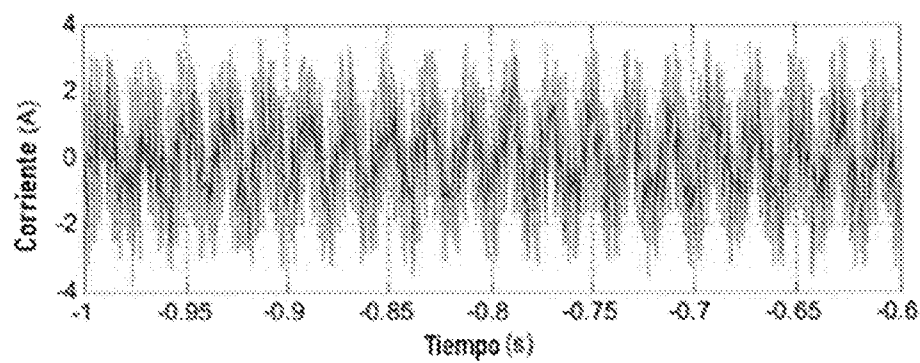


Fig. 10D

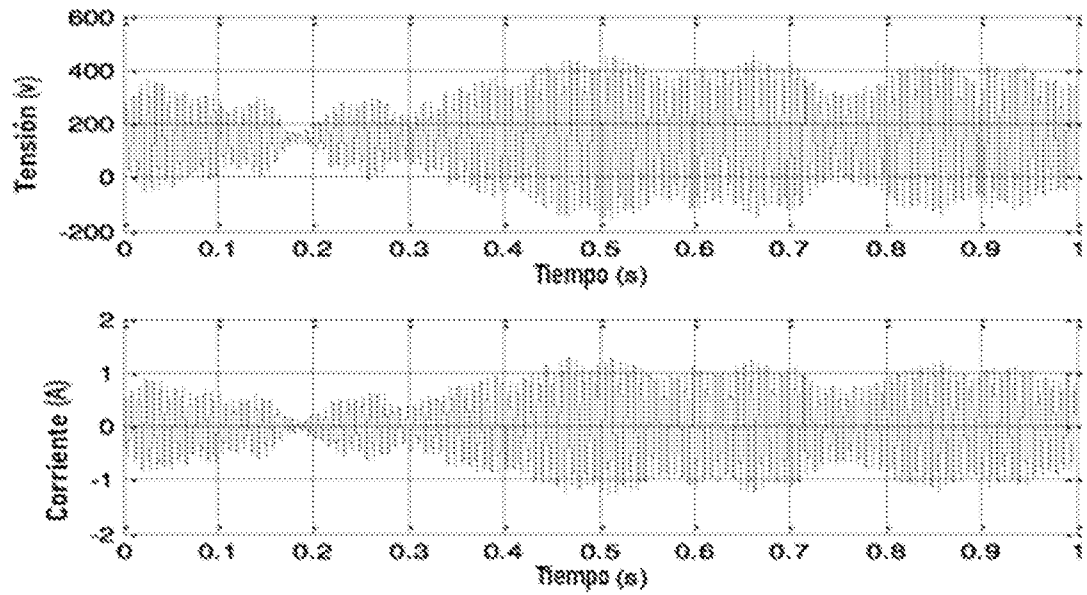


Fig. 11A

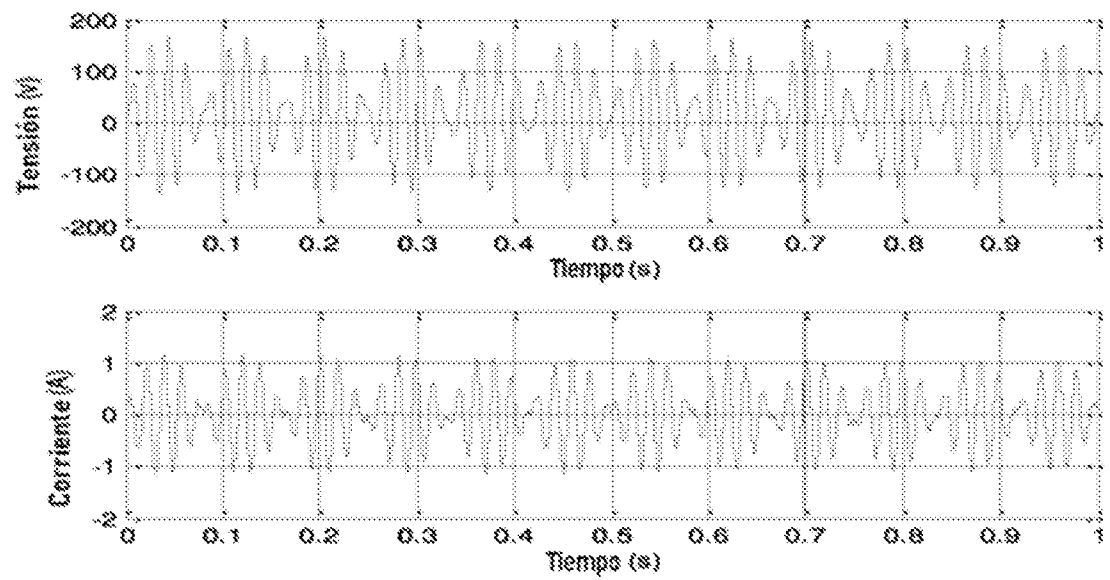


Fig. 11B

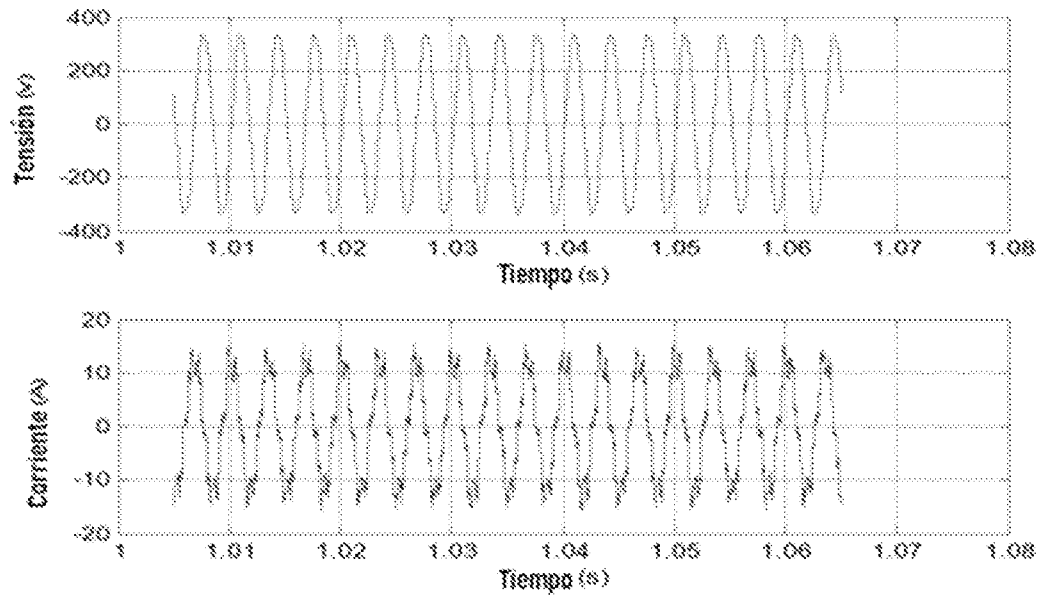


Fig. 11C

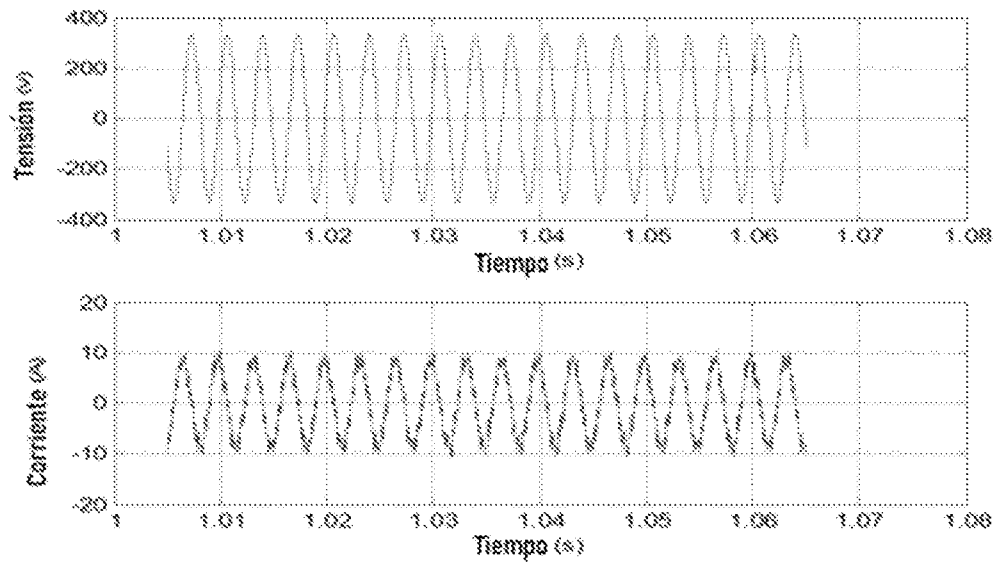


Fig. 11D