

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 372 021**

51 Int. Cl.:  
**G01R 31/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06741523 .2**  
96 Fecha de presentación: **18.05.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1883829**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.02.2008**

54 Título: **DETECCIÓN, LOCALIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE UNA DESCARGA PARCIAL.**

30 Prioridad:  
**20.05.2005 CA 2508428**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**13.01.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**13.01.2012**

73 Titular/es:  
**HYDRO-QUEBEC  
75, BOULEVARD RENÉ-LÉVESQUE OUEST  
MONTREAL QUEBEC H2Z 1A4, CA**

72 Inventor/es:  
**FOURNIER, Daniel;  
CANTIN, Bruno;  
BOURGEOIS, Jean-Marc;  
LÉONARD, François y  
ROY, Yvan**

74 Agente: **Espiell Volart, Eduardo María**

**ES 2 372 021 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

Detección, localización e interpretación de una descarga parcial

### CAMPO DE LA INVENCION

5 La invención se refiere a un dispositivo para la detección, localización e interpretación de una descarga parcial, por ejemplo en un accesorio eléctrico de una red de distribución eléctrica subterránea, o en cualquier otro tipo de equipamiento eléctrico situado en cualquier entorno.

### ANTECEDENTES

En uniones de cables en redes de conductos subterráneos pueden producirse fallos de corriente eléctrica. Algunos son debidos a descargas parciales dentro de las uniones y a la correspondiente degradación de su aislamiento eléctrico.

10 El diagnóstico de cables subterráneos y de sus accesorios o equipamiento es deseable por motivos de seguridad, y para realizar un mantenimiento predictivo y retirar accesorios o equipamiento defectuosos antes de que fallen.

15 Las patentes US nº 6.809.523 (Ahmed et al.), 5.530.364 (Mashikian et al.), 5.767.684 (Steenis), 6.420.879 (Cooke), 6.507.181 (Pakonen et al.), 6.418.385 (Hücker et al.), 6.255.808 (Hücker), 6.297.645 (Eriksson et al.), 6.392.401 (Cooke), 5.642.038 (Kim et al.), y las patentes CA (de Canadá) nº 2.455.206 (Wendel et al.), US 2004 263 179, WO 2004 005 947 y EP 1 477 820 exponen ciertos métodos y diversos dispositivos para detectar descargas parciales que sin embargo son poco fiables, son imprecisos, sensibles al ruido, rudimentarios, complicados, limitados a algún equipamiento específico a comprobar, requieren que el equipamiento a comprobar esté fuera de servicio, o si no son difíciles de implementar en la práctica debido a manipulaciones que requieren una destreza poco común.

20 Las descargas parciales pueden producirse también en una variedad de aparatos o equipamiento eléctricos, y son frecuentemente precursores de futuros daños más serios si no se hace nada para reparar o reemplazar el equipamiento posiblemente defectuoso.

### RESUMEN

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo para la detección, localización e interpretación de una descarga parcial que supera a los dispositivos conocidos en la técnica.

25 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo para detectar, localizar e interpretar una descarga parcial que ocurre en un lugar de descarga parcial en un equipamiento eléctrico, que comprende:

dos sondas de medición y una sonda de sincronización instalables en el equipamiento eléctrico de modo que los impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico son detectables por las sondas de medición y un ángulo de fase en el equipamiento eléctrico es detectable por la sonda de sincronización;

30 una unidad de control que se conecta a las sondas de medición para recibir las señales representativas de los impulsos detectados, y que se conecta a la sonda de sincronización para adquirir una señal representativa del ángulo de fase detectado, en que la unidad de control tiene un circuito para la preparación selectiva de las señales recibidas; y

35 una unidad de procesamiento digital que se conecta a la unidad de control para adquirir las señales tras una preparación selectiva en función del ángulo de fase detectado y que dirige la unidad de control, en que la unidad de procesamiento digital posee un módulo de medición de correlación para medir la correlación de las señales adquiridas, un módulo para realizar una distribución tiempo-frecuencia de al menos una de las señales adquiridas, un módulo de estimación del factor de forma para estimar un factor de forma que corresponde a una relación de una anchura de banda espectral a una duración temporal de un impulso de descarga derivada de la distribución tiempo-frecuencia, y un módulo de diagnóstico que responde a los resultados generados por los módulos de medición de correlación y de estimación de factor de forma para generar un diagnóstico indicativo de una detección de una descarga parcial y de su localización en el equipamiento eléctrico.

45 Preferiblemente, la unidad de procesamiento comprende además un módulo de eliminación de candidatos para eliminar candidatos de soluciones de diagnóstico correspondientes a rastros en las señales adquiridas derivadas de los impulsos detectados que tienen retrasos de propagación fuera de rango entre las sondas de medición.

Puede ser establecido por el usuario un umbral para retrasos considerados fuera de rango por el módulo de eliminación de candidatos. La unidad de control puede comprender además un circuito para generar una señal de prueba transmitida a la sonda de sincronización que la inyecta en el equipamiento eléctrico. De este modo, la unidad de procesamiento digital puede determinar el retraso de propagación entre las sondas de medición a partir de las señales

- adquiridas correspondientes a los impulsos detectados por las sondas de medición causados por la señal de prueba inyectada en el equipamiento eléctrico. El umbral para considerar fuera de rango los retrasos puede establecerse entonces en función del retraso de propagación así determinado. La unidad de procesamiento digital puede verificar alternativa o concurrentemente una configuración de las sondas de medición en función de las señales adquiridas correspondientes a la señal de prueba inyectada en el equipamiento eléctrico, por ejemplo sobre la base de la polaridad de las señales adquiridas.
- 5
- Preferiblemente, la unidad de procesamiento comprende además un módulo para estimar una probabilidad de error en función de una relación entre un pico de un máximo de correlación y otros picos de correlación, en que se produce una señal de aviso indicativa de un segundo candidato probable de explicación diagnóstica cuando la probabilidad de error excede un umbral preestablecido.
- 10
- Preferiblemente, la unidad de procesamiento detecta además rastros típicos de radiación en las señales adquiridas. Cuando se establece que las señales adquiridas corresponden a radiación, se para su procesamiento y se retiene un diagnóstico de "radiación".
- 15
- Preferiblemente, el módulo de medición de correlación proporciona al módulo de diagnóstico una señal indicativa de las polaridades de los impulsos en las señales adquiridas, un factor de correlación de las señales correlacionadas, una parte de rastro temporal de una descarga de mayor amplitud, y una distancia temporal entre una misma descarga captada por las sondas de medición.
- 20
- Preferiblemente, la unidad de procesamiento comprende además un módulo para estimar una anchura de banda equivalente y un tiempo de aumento de la descarga de mayor amplitud, ambos proporcionados al módulo de diagnóstico.
- De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un método para detectar, localizar e interpretar una descarga parcial que ocurre en un lugar de descarga parcial en un equipamiento eléctrico, que comprende:
- detectar impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico utilizando dos sondas de medición separadas entre sí en el equipamiento eléctrico;
  - 25 detectar un ángulo de fase en el equipamiento eléctrico utilizando una sonda de sincronización situada en el equipamiento eléctrico;
  - realizar una preparación selectiva de señales representativas de los impulsos detectados;
  - adquirir las señales después de la preparación selectiva en función del ángulo de fase detectado;
  - poner las señales adquiridas en correlación;
  - 30 presentar al menos una de las señales adquiridas en una distribución tiempo-frecuencia;
  - estimar un factor de forma que corresponde a una relación de una anchura de banda espectral a una duración temporal de un impulso de descarga derivada de la distribución tiempo-frecuencia; y
  - establecer un diagnóstico indicativo de una detección de una descarga parcial y de su localización en el equipamiento eléctrico en función de los resultados de la correlación y del factor de forma.
  - 35 Preferiblemente, el método puede comprender además: eliminar candidatos de soluciones de diagnóstico correspondientes a rastros en las señales adquiridas derivadas de impulsos detectados que presentan retrasos de propagación fuera de rango entre las sondas de medición.
- El método puede comprender además:
- 40 generar una señal de prueba transmitida a la sonda de sincronización que la inyecta en el equipamiento eléctrico; y
  - determinar el retraso de propagación entre las sondas de medición a partir de las señales adquiridas correspondientes a los impulsos detectados por las sondas de medición causados por la señal de prueba inyectada en el equipamiento eléctrico, en que el umbral para retrasos considerados fuera de rango es establecido entonces en función del retraso de propagación así determinado.
  - 45 La señal de prueba puede usarse también para verificar una configuración de las sondas de medición, por ejemplo en función de las polaridades de las señales adquiridas correspondientes a la señal de prueba inyectada en el equipamiento eléctrico.

Entre otros posibles pasos del método están:

estimar una probabilidad de error en función de una relación entre un pico de un máximo de correlación y otros picos de correlación, en que se produce una señal de aviso indicativa de un segundo candidato probable de explicación diagnóstica cuando la probabilidad de error excede un umbral preestablecido;

5 detectar rastros típicos de radiación en las señales adquiridas, en que se para su procesamiento y se retiene un diagnóstico de "radiación" cuando se establece que las señales adquiridas corresponden a una radiación;

10 establecer el diagnóstico también sobre la base de una señal indicativa de las polaridades de los impulsos en las señales adquiridas, un factor de correlación de las señales correlacionadas, una parte de rastro temporal de una descarga de mayor amplitud, una distancia temporal entre una misma descarga captada por las sondas de medición, una anchura de banda equivalente y un tiempo de aumento de la descarga de mayor amplitud;

interpolan las señales adquiridas antes de la correlación;

agrupar las señales adquiridas antes de la correlación para agrupar las señales adquiridas que son similares.

15 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona una sonda magnética de banda ancha utilizada como sonda de medición en el dispositivo, para detectar impulsos que viajan en un equipamiento eléctrico causados por una descarga parcial, que comprende:

una abrazadera retirable que posee un anillo conductor que forma un circuito de captación magnética apto para rodear una sección del equipamiento eléctrico con el fin de captar una señal que representa un componente magnético de los impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico;

20 una pantalla conductora que cubre y aísla electrostáticamente el anillo conductor, estando la pantalla conductora está en circuito abierto en los extremos opuestos de la abrazadera de modo que aparece un hueco entre los extremos de la abrazadera;

un conector que cierra el circuito del anillo conductor en los extremos de la abrazadera donde está situado el hueco cuando la abrazadera está instalada en torno al equipamiento eléctrico; y

25 un conector para establecer una conexión eléctrica externa con el circuito del anillo conductor.

Preferiblemente, la sonda magnética de banda ancha comprende además un circuito amplificador, posiblemente con una ganancia controlada, integrado en la pantalla conductora e insertado en el anillo conductor con el fin de filtrar y amplificar la señal.

30 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo para detectar descargas parciales en un equipamiento eléctrico, que comprende:

una sonda de medición y una sonda de sincronización instalables en el equipamiento eléctrico de modo que los impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico son detectables por la sonda de medición y una señal indicativa de un ángulo de fase en el equipamiento eléctrico es detectable por la sonda de sincronización;

35 una unidad de control que se conecta a la sonda de medición para recibir señales representativas de los impulsos detectados, y que se conecta a la sonda de sincronización para adquirir la señal indicativa del ángulo de fase, en que la unidad de control posee un circuito para la preparación selectiva de las señales recibidas; y

40 una unidad de procesamiento digital que se conecta a la unidad de control para adquirir las señales después de la preparación selectiva en función de una evaluación del ángulo de fase y que dirige la unidad de control, en que la unidad de procesamiento digital presenta un módulo de agrupación para agrupar las señales adquiridas en grupos respectivos y produce rúbricas que caracterizan las señales en los grupos, un módulo para realizar una distribución tiempo-frecuencia de las rúbricas, un módulo de estimación de factor de forma para estimar un factor de forma correspondiente a una relación de una anchura de banda espectral a una duración temporal de un impulso de descarga derivada de la distribución tiempo-frecuencia, un módulo para determinar tiempos de aumento de las rúbricas, y un módulo de diagnóstico que responde a los resultados generados por el módulo de estimación de factor de forma y el módulo para determinar tiempos de aumento para generar un diagnóstico indicativo de una detección de descargas parciales y producir una señal de aviso en función del diagnóstico.

45

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un método para detectar descargas parciales en un equipamiento eléctrico, que comprende:

- detectar los impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico usando una sonda de medición situada en el equipamiento eléctrico;
- detectar una señal indicativa de un ángulo de fase en el equipamiento eléctrico usando una sonda de sincronización situada en el equipamiento eléctrico;
- 5 realizar una preparación selectiva de una señal representativa de los impulsos detectados;
- adquirir las señales después de la preparación selectiva en función de una evaluación del ángulo de fase;
- agrupar las señales adquiridas en grupos y producir rúbricas que caracterizan las señales en los grupos;
- presentar las rúbricas en una distribución tiempo-frecuencia;
- 10 estimar un factor de forma correspondiente a una relación de una anchura de banda espectral a una duración temporal de un impulso de descarga derivada de la distribución tiempo-frecuencia;
- determinar tiempos de aumento de las rúbricas;
- establecer un diagnóstico indicativo de una detección de descargas parciales en función de los resultados del factor de forma y los tiempos de aumento; y
- producir una señal de aviso en función del diagnóstico.
- 15 Lo que sigue proporciona un esbozo de otras características posiblemente preferibles y no restrictivas de la invención, que serán descritas más adelante con mayor amplitud.
- El dispositivo es preferiblemente portátil, autónomo y apto para realizar la detección cuando la línea eléctrica o el equipamiento a comprobar está en servicio. Con el dispositivo puede obtenerse un diagnóstico fiable relativo a la naturaleza del lugar de descarga y al estado del equipamiento. El dispositivo puede hacerse funcionar desde una posición alejada del lugar de medición y posee unas sondas cuya instalación se consigue en un mínimo de tiempo para incrementar el nivel de seguridad de los trabajadores. Se proponen sondas fuertes y mejoradas para detectar una descarga parcial, en particular en la forma de sondas magnéticas de banda ancha que comprenden un amplificador de ganancia controlada. Un procedimiento de prueba permite verificar la condición operativa de las sondas, determinar los parámetros usados para establecer el diagnóstico, y calibrar todo el dispositivo. El dispositivo utiliza procedimientos de correlación, sincronización y estimación de factor de forma en las señales medidas con el fin de establecer un diagnóstico sin igual.
- 25 El dispositivo y el método son altamente versátiles. Pueden usarse siempre que haya una necesidad de verificar si un accesorio o el equipamiento eléctrico está plagado de descargas parciales. Por ejemplo, puede usarse para verificar transformadores, equipos de conmutación, baterías, condensadores, componentes que contienen dieléctricos, sistemas de entretenimiento o comunicación, equipamiento médico, etc., sin importar si algunas de sus partes operativas son sólidas, líquidas o gaseosas. Pueden usarse para comprobar un equipamiento eléctrico situado en cualquier lugar, de forma subterránea, aérea, en un avión, un tren, un vehículo, un barco, en una planta, etc.
- 30

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 35 Se realizará aquí a continuación una descripción detallada de realizaciones preferidas con referencia a los dibujos siguientes, en los cuales números iguales se refieren a elementos iguales.
- La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una descarga parcial en un accesorio situado entre dos sondas de banda ancha.
- 40 La figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra una descarga parcial o señal que procede de más allá de las dos sondas de banda ancha, y una posible conexión de la sonda de sincronización.
- La figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra una descarga parcial en un accesorio situado más allá de las dos sondas de banda ancha.
- La figura 4 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un diseño del dispositivo para detectar, localizar e interpretar una descarga parcial.
- 45 La figura 5 es un diagrama esquemático que ilustra una sección transversal típica de un cable de línea eléctrica.

- La figura 6A y la figura 6B son diagramas esquemáticos en perspectiva de un cable de línea eléctrica y del flujo magnético que circula en él.
- La figura 7 es un diagrama esquemático que ilustra las líneas de campo en torno a la sonda magnética.
- 5 La figura 8 y la figura 9 son diagramas esquemáticos que ilustran una sonda magnética de banda ancha sin y con un circuito amplificador y un conector externo.
- La figura 10 es un esquemático diagrama de bloques que ilustra un circuito amplificador integrado en una sonda magnética de banda ancha.
- La figura 11 es un esquemático diagrama de bloques que ilustra una unidad de control (CU, del inglés "Control Unit") que procesa las señales procedentes de las sondas.
- 10 La figura 12 es un esquemático diagrama de bloques que ilustra los principales elementos implicados en el procesamiento de señales.
- La figura 13 es un esquemático diagrama de bloques que ilustra el uso de la correlación como una herramienta de procesamiento digital.
- La figura 14 es un diagrama esquemático que ilustra un espectrograma de una descarga parcial típica.
- 15 La figura 15 es una imagen que ilustra un espectrograma de una descarga parcial típica después de la aplicación de un filtro tiempo-frecuencia.
- La figura 16 es una imagen que ilustra un dispositivo para detectar, localizar e interpretar una descarga parcial.
- La figura 17 es una imagen que ilustra una sonda de banda ancha desmontada.
- La figura 18 es un diagrama esquemático que ilustra una unidad de control del dispositivo.
- 20 La figura 19 y la figura 20 son diagramas esquemáticos en vista en alzado y en planta que ilustran una construcción de una sonda de banda ancha.
- La figura 21 es un diagrama esquemático que ilustra el circuito de microcontrolador de una unidad de control.
- La figura 22 y la figura 23 son diagramas esquemáticos que ilustran los circuitos de alimentación eléctrica de las sondas de banda ancha.
- 25 La figura 24 y la figura 25 son diagramas esquemáticos que ilustran los circuitos de amplificación de señales y de banda ancha (RF, de radiofrecuencia) de preparación de las sondas de banda ancha.
- La figura 26 es un diagrama esquemático que ilustra un circuito de preparación de señales de una sonda de sincronización.
- 30 La figura 27 es un diagrama esquemático que ilustra circuitos de alimentación eléctrica de los otros circuitos de la unidad de control.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

- Tal como se usa en conexión con esta descripción, el término "señal" representa una unidad física analógica y temporal, normalmente del tipo de intensidad de corriente o tensión, que aparece en una forma continua en el dominio de tiempo.
- 35 Tal como se usa en conexión con esta descripción, el término "medición" representa una serie de muestras discretas digitales derivadas de una señal muestreada durante un periodo finito.
- Tal como se usa en conexión con esta descripción, el término "prueba" representa un conjunto de mediciones simultáneas y de especificaciones disponibles relativas a un suceso físico registrado por el dispositivo.
- Tal como se usa en conexión con esta descripción, la expresión "preparación de señales" representa una acción llevada a cabo mediante un sistema electrónico analógico antes de la digitalización de señales.
- 40 Tal como se usa en conexión con esta descripción, la expresión "procesamiento de señales" representa un procedimiento que comprende manipulaciones matemáticas requeridas para confirmar la presencia de una descarga parcial, localizar el lugar de descarga y extraer las correspondientes características físicas.

Tal como se usa en conexión con esta descripción, el término “ordenador” representa un ordenador compatible u otro ordenador de tipo PC (del inglés “Personal Computer”, ordenador personal) u otro sistema electrónico que posee o está dotado de una tarjeta de adquisición de alta velocidad.

5 Tal como se usa en conexión con esta descripción, la expresión “unidad de control” (CU) representa una interfaz inteligente que conecta el ordenador a las sondas.

Tal como se usa en conexión con esta descripción, la expresión “descarga parcial” representa un desplazamiento local espontáneo, simultáneo y de corta duración de una carga eléctrica sobre una distancia corta en un dieléctrico sometido a un campo eléctrico.

10 Tal como se usa en conexión con esta descripción, la expresión “lugar de descarga” representa un defecto localizado en un pequeño volumen de un dieléctrico donde una o más descargas parciales se producen en la mayoría de los casos durante la aplicación de un campo eléctrico aunque también es posible bajo otras circunstancias.

Tal como se usa en conexión con esta descripción, la expresión “onda eléctrica” representa una onda sinusoidal que porta la corriente de red u otra corriente de alimentación a 60 Hz o 50 Hz u otra frecuencia de acuerdo con la aplicación, por ejemplo 400 Hz en el caso de aviones, etc.

15 Tal como se usa en conexión con esta descripción, el término “fasor” (vector de corriente) representa un ángulo de fase de la onda eléctrica que gira 360° por ciclo a la frecuencia de la red.

20 Tal como se usa en conexión con esta descripción, el término “radiación” representa cualquier ruido de naturaleza eléctrica o magnética, que posee una fuente externa a la de una descarga parcial, con mucha frecuencia caracterizado por un mayor número de oscilaciones, un mayor retraso de propagación, un menor grado de correlación y una polaridad inapropiada.

Tal como se usa en conexión con esta descripción, el término “un” debe entenderse de forma no restrictiva salvo que se especifiquen calificadores tales como “único”, “solo”, “singular”.

Tal como se usa en conexión con esta descripción, el término “factor de forma” corresponde a la relación de la anchura de banda espectral a la duración temporal del impulso de descarga.

25 Con referencia a la figura 16, el dispositivo para detectar, localizar e interpretar una descarga parcial puede estar fabricado de modo que sea portátil y autónomo. El dispositivo puede tomar la forma de un ordenador 1 y estar dotado de una pantalla 3, un teclado 5 y un ratón 7, y equipamiento 9, todo ello integrado en una caja 11. El dispositivo permite especialmente detectar y localizar uno o más lugares de descarga parcial presentes en un accesorio de línea de alta tensión de una red eléctrica subterránea desde un pozo que da acceso a la red. El dispositivo también permite detectar e indicar una dirección de una fuente de descarga parcial que tiene lugar en otro pozo ligado al primer pozo por la línea de alta tensión. La información obtenida permite un diagnóstico fiable de la naturaleza del lugar de descarga y del estado del accesorio, por ejemplo un transformador, un equipo de conmutación u otro equipamiento posible. El dispositivo permite discriminar las señales de descarga parcial en presencia de varias señales de diferentes orígenes.

30 Habitualmente, por consideraciones de limpieza para el ordenador 1, de comodidad y de seguridad para el usuario, el ordenador 1 es manejado a una distancia de unos pocos metros del lugar de medición. Dependiendo del uso pretendido, las sondas 4, 6 pueden estar fabricadas de material resistente, por ejemplo para manipulaciones bruscas en un lugar de medición sucio y húmedo. Preferiblemente, la instalación de las sondas tales como las sondas de medición 4, 6 debe ser realizable en un tiempo mínimo para minimizar la exposición del trabajador a riesgos inherentes al lugar de medición. La figura 17 ilustra una posible construcción de las sondas de medición 4, 6.

40 Se producen descargas parciales principalmente durante los aumentos de tensión asociados a la onda eléctrica, por lo tanto para ángulos particulares del fasor de red. Además, la distribución angular de la dispersión de estas descargas contiene información de diagnóstico importante dado que es una función del tipo de lugar de descarga. Por lo tanto, el dispositivo adscribe una posición angular con referencia al fasor de red para cada descarga parcial (descarga parcial de fase resuelta). El dispositivo puede también controlar mediciones sobre partes angulares predeterminadas para concentrarse en ciertos lugares de descarga u obtener una imagen estadística no sesgada.

45 Las descargas parciales tienen duraciones variables, en función del tipo del lugar de descarga, de la geometría de los accesorios y de la distancia de cada sonda de medición 4, 6. Las más cortas tienen un tiempo de aumento del orden de unos pocos nanosegundos y a veces menos (picosegundos) dependiendo de los medios de medición y de la naturaleza de la descarga. La señal está preferiblemente digitalizada a una gigamuestra o más por segundo. Con esta frecuencia de muestreo, el tiempo muerto entre dos descargas representa un volumen muy importante de datos a digitalizar y registrar. La digitalización es realizada preferiblemente por segmentos, en que cada uno contiene un suceso de disparo. Este suceso puede ser una descarga parcial o ruido que excede el umbral de disparo. Un filtro de paso alto 61 (figura 11) combinado con filtros RF conmutables 63 permite reducir el nivel de ruido a un punto en el que es posible controlar

- el inicio del muestreo en función del comienzo de una descarga parcial de baja amplitud y esto a pesar de la presencia de ruido electromagnético. Con referencia a la figura 1, una descarga parcial que ocurre en un accesorio 8 o un cable 10 genera un impulso electromagnético que se propaga en ambas direcciones del cable. Dos sondas 4, 6 situadas a ambos lados de un lugar de descarga 13 proporcionan impulsos 15, 17 que, una vez procesados y correlacionados, son
- 5 indicativos de la situación del lugar de descarga 13. Ciertamente, en un caso así, la polaridad es opuesta y el retraso entre canales es menor que el retraso de propagación de una onda entre las dos sondas 4, 6.
- Con referencia a la figura 2, un impulso procedente de un lado o del otro lado del lugar de medición 19 aparecerá con la misma polaridad para ambas sondas 4, 6 y con un retraso correspondiente aproximadamente al retraso de propagación de una onda entre ambas sondas 4, 6.
- 10 Con referencia a la figura 3, además, dos sondas 4, 6 situadas en un mismo lado de un lugar de descarga 13 proporcionan unos impulsos que, una vez procesados y correlacionados, son indicativos de la dirección del lugar de descarga.
- Debe observarse que la polaridad de la onda captada es una función de la orientación de cada sonda 4, 6. En un contexto de medición de la red, los impulsos captados por las sonda 4, 6 difieren entre sí debido a la presencia de reflexiones en los accesorios circundantes (no ilustrados) y debido al ruido captado. Además, una señal de descarga parcial puede contener más de una oscilación de modo que pueden existir varios picos de correlación cuando se comparan los impulsos, y por lo tanto varios diagnósticos posibles. El dispositivo evalúa por lo tanto cuál de los diagnósticos es el más probable asociándole un valor de probabilidad e indicando, si fuera relevante, la presencia de otro diagnóstico casi tan probable.
- 15
- 20 La probabilidad del diagnóstico está basada en parte en la configuración de las sondas 4, 6 (posición relativa con respecto al accesorio 8 u otro equipamiento bajo prueba, posición y dirección de instalación) y el conocimiento a priori de los retrasos de propagación reales. A este respecto, un primer procedimiento de prueba en un banco de pruebas portátil permite estimar con precisión la respuesta de cada sonda 4, 6, incluyendo el retraso real. Un segundo procedimiento de prueba en el lugar de medición permite medir el retraso de propagación de sonda a sonda así como
- 25 validar la configuración de la prueba.
- Una vez conseguida la prueba, seguida de la validación de la configuración de montaje, la prueba puede empezar. Como la velocidad de digitalización es muy alta con respecto a la memoria disponible, y como, de cualquier modo, las descargas son sucesos de muy corta duración y bastantes separados entre sí, es innecesario almacenar toda la señal. Sólo pueden ser almacenadas en memoria las partes útiles de la señal. Cada parte corresponde a una superación de un nivel umbral preestablecido, en que la superación se denomina "suceso" en lo que sigue. Muchos diagnósticos puede corresponder a un suceso dado. Durante una prueba, este nivel umbral es rebajado progresivamente hasta que se observa una probabilidad aceptable de sucesos para la medición. Cuando se sospecha la presencia oculta de descargas con amplitudes menores que el umbral de disparo, este nivel umbral debe ser rebajado adicionalmente con el resultado de que una tasa elevada de sucesos no corresponde a descargas. Para cada prueba y cada umbral, el dispositivo registra varias ráfagas de sucesos que pueden cubrir uno o más ciclos a la frecuencia de red. Para cada suceso, el dispositivo muestra y almacena en memoria un diagnóstico automático obtenido de correlaciones, a saber si hay presencia de una señal saturada, presencia de radiación u otro ruido inapropiado, una descarga entre ambas sondas 4, 6, una descarga procedente de un lado o del otro lado de la disposición de sondas 4, 6, y la presencia de una segunda explicación diagnóstica probable.
- 30
- 35
- 40 A cada diagnóstico se le atribuye preferiblemente un factor de probabilidad basado en una distribución de posibles diagnósticos, un factor de correlación entre las descargas procedentes de ambas sondas 4, 6, un factor de forma correspondiente a una relación de la anchura de banda espectral a la duración temporal del impulso de descarga, el valor del fasor de red en el instante del suceso, y un conjunto de parámetros de procesamiento analógicos (fijos) y digitales (variables por el usuario).
- 45 El usuario puede seleccionar el procesamiento digital a aplicar, la(s) ráfaga(s) y la(s) prueba(s) para compilar y mostrar en la pantalla 3. Los resultados pueden ser ilustrados entonces en una forma no procesada (lista de formato de texto) o a través de diversas herramientas de presentación estadística comunes, tales como histogramas 2D o 3D. Estos resultados pueden ser exportados para análisis por aplicaciones de software, tales como Microsoft™ Excel™. Como un complemento al diagnóstico, el usuario puede tener acceso a diversas herramientas de procesamiento digital y de visualización comunes, por ejemplo una presentación gráfica de los rastros temporales filtrados o no, espectrogramas y distribuciones de Wigner-Ville y distribuciones de ondículas (*wavelet*) en tiempo-frecuencia. El usuario también puede aplicar diferentes filtros digitales y procesamientos a los rastros temporales digitales y volver a la visualización estadística de estos últimos (concepto de bucle iterativo en el diagnóstico).
- 50
- 55 Con referencia a la figura 4, el dispositivo comprende tres sondas 4, 6, 14 conectadas a la unidad de control (CU) 16 que está conectada al ordenador 1. La longitud de los cables de conexión de sondas 19, 21, 23 es tal que permite colocar la unidad CU 16 y el ordenador 1 en un camión u otra posición alejada mientras que las sondas 4, 6, 14 están

montadas en los cables eléctricos 10 y los accesorios 8 (figuras 1-3). La unidad CU 16 puede estar alojada dentro del ordenador 1 para ahorrar espacio y facilitar conexiones. Sin embargo, la unidad CU 16 puede estar situada igualmente fuera del ordenador 1 y estar conectada a éste por medio de un cable 25 apropiado.

5 El propósito de dos de las tres sondas, a saber las sondas 4, 6, es captar el impulso electromagnético generado por una descarga parcial, que se propaga en los accesorios 8 y los cables 10 (figuras 1-3). El propósito de la tercera sonda 14 es captar la onda eléctrica y, cuando se desea, inyectar una señal de prueba.

10 El propósito de la unidad CU 16 es principalmente permitir la sincronización de una ventana de adquisición con la onda eléctrica, definiendo el inicio y el fin en el tiempo de la digitalización en grados de fasor de red. Las otras funciones son el procesamiento analógico de las señales de descarga parciales (incluyendo protección frente a picos de tensión) y su transmisión al ordenador 1 en forma analógica (o forma digital si se desea), suministrar corriente a las sondas 4, 6 y controlar su ganancia, transmitir una señal de prueba a la sonda de sincronización 14, validar que el accesorio 8 tiene aplicada tensión y diagnosticar una sonda defectuosa 4, 6, 14.

15 El propósito del ordenador 1 es configurar la unidad CU 16, digitalizar las señales, aplicar un procesamiento digital a las señales, llevar a cabo el diagnóstico, visualizar las mediciones y el diagnóstico así como almacenar las pruebas en una base de datos e intercambiar los datos con otros sistemas.

20 El método para la medición utiliza tres sondas, a saber dos sondas de banda ancha de acoplamiento magnético 4, 6 que captan las descargas parciales y una sonda de sincronización 14 que capta la onda de 60 Hz para extraer de ella el valor del ángulo de fase. Ambas sondas magnéticas 4, 6 pueden estar situadas a ambos lados del accesorio o en uno de sus extremos. La sonda de sincronización 14 puede ser de tipo capacitivo, magnético, de medición de la tensión o de la intensidad de la corriente. La sonda de sincronización 14 puede ser conectada al accesorio en comprobación 8 tal como se ilustra en la figura 2, o a otro accesorio (es decir otra fase), en cuyo caso el valor del ángulo de fase es corregido en  $\pm 120^\circ$  para tomar en cuenta el desplazamiento de interfase si es necesario. La sonda de sincronización 14 puede ser combinada con cualquiera o con cada una de las otras sondas 4, 6. Puede aparecer entonces como un elemento distintivo en el alojamiento de la sonda combinada o estar integrada con la parte de banda ancha. En el último caso, un circuito de separación de señales permite extraer la señal de baja frecuencia (cercana a la frecuencia de red) de la señal de banda ancha.

30 Se llevan a cabo preferiblemente tres procedimientos de calibración. En uno de estos procedimientos, la unidad CU 16 inyecta una señal conocida en el módulo de digitalización del ordenador 1, que permite la calibración de la respuesta de la(s) tarjeta(s) de adquisición ligadas a los filtros. En otro de estos procedimientos, la unidad CU 16 inyecta una señal conocida en la sonda de sincronización 14 instalada en el accesorio 8 a comprobar con el fin de confirmar la configuración de las sondas 4, 6 y calibrar el retraso de propagación de sonda a sonda en el cable 10. En otro procedimiento, la unidad CU 16 inyecta una señal conocida en la sonda de sincronización 14 instalada en un banco de prueba portátil (no representado) con el fin de calibrar todo el dispositivo.

35 Dada la baja amplitud de la señal de descarga y la longitud (varios metros) de los cables de conexión 19, 21, 23 de las sondas 4, 6, 14, las sondas magnéticas 4, 6 de banda ancha (muchos cientos de megahercios) ventajosamente (pero no necesariamente) alojan un amplificador de ganancia controlada 42 (figura 9). Las sondas 4, 6 ilustradas están especialmente diseñadas para operar con cables eléctricos 10 que tienen una cubierta de neutro 28 (figuras 5 y 6A) formado por torones. Las sondas 4, 6 miden el campo magnético longitudinal generado por la hélice así formada. El método de medición sigue siendo válido para otros tipos de cables (por ejemplo con una cubierta suave continua en aluminio o plomo) pero posiblemente requiere la sustitución de las sondas magnéticas 4, 6 por otro tipo de sonda de banda ancha (por ejemplo, una sonda capacitiva).

45 La sonda de sincronización 14 es bidireccional dado que se usa tanto para captar la fase de la onda de 60 Hz como para inyectar una señal de prueba o una señal de calibración en el cable 10. La sonda 14 ilustrada en la figura 2 mide la corriente de derivación entre dos electrodos situados por ejemplo usando abrazaderas de montaje 25, 27, una sobre la cubierta semiconductor 26 y la otra sobre el neutro 28 (véase la figura 5). Sin embargo, puede usarse perfectamente otro tipo de captación tal como acoplamiento magnético, acoplamiento capacitivo o medición de tensión.

50 La unidad CU 16 controlada por el ordenador 1 es capaz de conseguir a) la preparación analógica y la protección frente picos de tensión y de intensidad de corriente; b) la conmutación de filtros analógicos 63; c) la sincronización de una adquisición sobre una parte seleccionada del ciclo (0-360 grados) de la onda de 60 Hz mediante una señal de disparo transmitida a la tarjeta de adquisición del ordenador 1; d) el control de las ganancias de las sondas de banda ancha 4, 6 y su alimentación eléctrica; e) la transmisión de una señal de prueba a la sonda de sincronización 14 para inyectar esta señal en el accesorio 8; f) la transmisión de una señal de prueba al ordenador 1; g) el diagnóstico relativo a la buena condición operativa de las sondas de banda ancha 4, 6 y la transmisión de este diagnóstico al ordenador 1; y h) la verificación de la presencia de tensión en el accesorio 8 y la transmisión de este estado al ordenador 1.

La digitalización se realiza a una velocidad muy alta, a saber entre 1 gigamuestra y 10 gigamuestras por segundo para las señales de ambas sondas de banda ancha 4, 6.

5 En el análisis digital se examinan muchas posibilidades de diagnóstico de forma que en ciertas ocasiones, el dispositivo avisa al usuario de una segunda explicación diagnóstica probable adicionalmente a la presentada como la más probable.

Una interpolación de señales se realiza preferiblemente antes de la correlación.

Un cálculo del factor de forma tiempo-frecuencia, sobre la base de la relación de anchura de banda a duración temporal, facilita el reconocimiento de las descargas parciales reales.

10 La agrupación (o agrupamiento) puede conseguirse en las señales adquiridas de modo que se agrupan señales que exhiben características o rasgos similares (ruido, descarga, etc.) formando grupos respectivos y se producen rúbricas que caracterizan las señales en los grupos. Las rúbricas pueden obtenerse calculando las medias de los datos de señal en los respectivos grupos o por otras posibles elaboraciones u operaciones con los datos. La correlación y otros procesamientos pueden llevarse a cabo entonces en las rúbricas con el fin de incrementar la relación señal/ruido al tiempo que se reduce el tiempo de computación dado que con ello son procesados menos datos en comparación con los datos brutos de las señales adquiridas.

15

La tabla 1 siguiente proporciona una lista de los principales elementos de información y señales de entrada del dispositivo y su fuente.

Tabla 1

---

Controles de usuario:

- Ajuste del reloj y del calendario
- Selección de lenguaje
- Parámetros y control de prueba
- En modo de prueba:
  - Descripción de la prueba (posición, accesorios ...)
  - Configuración de las sondas con respecto a los accesorios
  - Parámetros de la medición
  - Inicio/fin de la medición
  - Rechazo/aceptación de la medida
- En modo de análisis:
  - Parámetros del procesamiento de señales
  - Parámetros de la visualización

---

Enlaces de ordenador:

- Recepción de mediciones y diagnósticos procedentes de otros lugares

---

Sondas magnéticas de banda ancha, a través de la unidad CU:

- Señal de propagación que tiene un componente magnético longitudinal y es captada en el cable

Sonda de sincronización:

- Onda eléctrica de 60 Hz
-

La tabla 2 proporciona una lista de los principales elementos de información de salida del dispositivo y su destino.

Tabla 2

---

Usuario:

- Parámetros de la prueba completada
- Representación gráfica de la señal temporal
- Representación gráfica de la señal temporal filtrada
- Diagnóstico
  - Retrasos calculados

Ordenador portátil:

- Escritura de las pruebas completadas en una base de datos en una memoria de gran capacidad (disco u otro)
- 

Enlaces de ordenador:

- Transmisión de medidas, pruebas, diagnósticos y elementos de base de datos.

Sonda de sincronización:

- Inyección de una señal de prueba en un cable
- 

- 5 Con referencia a las figuras 5, 6A y 6B, el cable apantallado 10 en el cual es instalada cada sonda magnética de banda ancha 4, 6 está compuesto por un conductor central 20 rodeado por una cubierta semiconductora 26, un dieléctrico aislante 24, una segunda cubierta semiconductora 26 y un neutro concéntrico torsionado 28. El resultante de los torones del conductor 20 y del neutro 28, y el hecho de que el neutro 28 no proporciona un apantallamiento perfecto, son tales que una onda de propagación electromagnética neutro-conductor tiene un componente magnético axial 30 no despreciable, como se ilustra en la figura 6B.
- 10 Con referencia a la figura 7, cada sonda magnética 4, 6, que posee un anillo conductor único 32, capta el componente magnético axial 30 de la onda.
- 15 Con referencia a la figura 8, cada sonda magnética de banda ancha 4, 6 tiene el aspecto de una abrazadera retirable constituida por un anillo conductor de captación magnética 32 cubierto con una pantalla conductora 34 también usada como alojamiento para la sonda 4, 6. Un fin de esta pantalla es aislar electrostáticamente el anillo de captación magnética 32. Para evitar la conducción de corriente en la pantalla que opondría un campo magnético al flujo magnético axial, la pantalla está en circuito abierto en los extremos de la abrazadera de forma que aparece un hueco 26. Se utiliza un conector 38 para cerrar el circuito del anillo magnético 32 en los extremos de la abrazadera, donde está situado el hueco 36. El anillo conductor 32 capta el flujo magnético axial 30 al tiempo que no es muy sensible al campo tangencial 40 (figura 6) que rodea el cable 10 ni a campos eléctricos ambientales.
- 20 Con referencia a la figura 9, el anillo de captación magnética 32 está conectado a un circuito amplificador 42 integrado en el alojamiento apantallado de la abrazadera 34.
- 25 Con referencia a la figura 10, el circuito amplificador 42 comprende un filtro de paso bajo 44, un preamplificador 46, un amplificador de potencia 48 que también actúa como un adaptador de impedancia, un desacoplador 50, una unidad de control de ganancia (GCU, del inglés "Gain Control Unit") 52, un circuito de protección 54 y un regulador de alimentación eléctrica 56. El desacoplador 50 permite que la señal captada sea transmitida a través del conector 58, para

proporcionar la corriente de alimentación al regulador 56, y para transmitir el valor de control de ganancia recibido a través del conector 58 a la unidad GCU 52. La ganancia de la unidad GCU 52 es ajustable en función de la sensibilidad requerida. El control de ganancia procede de la unidad CU 16 y es transmitido a través del cable 19, 21 conectado a la sonda 4, 6 por el conector 58, en que este mismo cable 19, 21 transmite la señal captada y amplificada por la sonda 4, 6 a la unidad CU 16 (véase la figura 4).

La figura 18 ilustra un posible diagrama del circuito amplificador 42 de una sonda 4, 6.

Con referencia a las figuras 19 y 20, el anillo de captación magnética 32 puede estar constituido por un circuito impreso flexible sobre el que también están situados el circuito amplificador 42 y el conector 58 conectable a los cables 19, 21.

El cable que conecta cada sonda de banda ancha 4, 6 a la unidad CU 16 puede ser de diversa naturaleza. Pueden usarse cables coaxiales de 50 ohmios y los cables coaxiales de 50 ohmios con doble apantallamiento. Este último tipo de cable es más caro pero ofrece una mejor protección frente al ruido. De hecho, es posible usar cualquier tipo de cable que proporcione una buena inmunidad frente al ruido electromagnético y corrientes de bucle de tierra.

Con referencia a la figura 11, sólo se ilustra el circuito que procesa la señal de la segunda sonda 4 recibida en el conector 67. El circuito de la primera sonda 4, sustituido por líneas discontinuas 18, es idéntico al de la segunda sonda 6. La unidad CU 16 controlada por el ordenador 1 comprende la preparación analógica de la señal de las sondas de banda ancha 4, 6, la protección frente a los picos de tensión en las sondas 4, 6 y a los picos de intensidad de corriente en la alimentación eléctrica de las sondas 4, 6. Los conectores 69, 71 permiten conectar la unidad UC 16 a la sonda de medición 4 y a la sonda de sincronización 14. Un módulo de desacoplamiento 65 permite la separación entre la señal procedente de la sonda 4 y la corriente de alimentación. Un circuito de protección frente a los picos de intensidad de corriente 73 está situado corriente abajo de la alimentación eléctrica 75, estando este circuito 75 conectado a un microcontrolador 77 de modo que el microcontrolador 77 puede detectar la presencia de la alimentación eléctrica de la sonda 4. La protección frente a los picos de intensidad de corriente limita la intensidad de la corriente suministrada a cada sonda 4, 6, de manera que la sonda 4, 6 y la alimentación eléctrica 75 están protegidas a la vez. La señal analógica pasa primeramente a través del módulo de protección frente a los picos de tensión 79. El propósito de la protección frente a los picos de tensión es mantener la señal dentro de unos límites de tensión aceptables para proteger la sonda 4 y el circuito de preparación analógica 81. El circuito de preparación analógica 81 consiste en la aplicación de un filtro de paso alto 61 junto con una amplificación de la señal 83. El microcontrolador 77 puede inyectar una señal de prueba, la señal de sincronización u otra señal requerida por medio del módulo de amplificación 83. La frecuencia de corte del filtro de paso alto 61 puede estar entre 30 kHz y 1,7 MHz (preferiblemente 100 kHz). El propósito de este filtro 61 es eliminar el ruido procedente de la red eléctrica y de las emisiones de radio, principalmente en la banda de AM (amplitud modulada). El circuito de preparación 81 comprende preferiblemente un espacio reservado para la instalación de una segunda etapa de filtro 85 opcional (paso alto, paso de banda o paso bajo) que podría venir a continuación del filtro de paso alto 61.

La unidad CU 16 comprende una etapa de filtros conmutables 63. En el circuito ilustrado, un multiplexor 87 selecciona la señal transmitida al ordenador 1. Esta señal puede ser de tipo ausente (no conectado) 89, la señal bruta sin paso a través de un filtro 91, la señal filtrada por un filtro de paso bajo 93 (preferiblemente ajustado a alrededor de 39 MHz) o una selección entre otros dos filtros opcionales 95, 97.

La unidad CU 16 permite la sincronización de una adquisición sobre una parte seleccionada del ciclo (0-360 grados) del fasor de onda eléctrica (60 Hz o 50 Hz dependiendo de la red). Las señales de sincronización son combinadas con la señal procedente de la sonda 4 en el amplificador de preparación 83. La señal resultante es transmitida a la tarjeta de adquisición en el ordenador 1. La tarjeta de adquisición empieza entonces la detección de las descargas un poco antes de o al aparecer la primera señal de sincronización (la adquisición siempre tiene lugar y los datos son registrados continuamente en una memoria intermedia circular) y para la captura de las descargas parciales tras el paso del final de la señal de sincronización. Un circuito de sincronización electrónico formado por un desacoplador 99, un circuito de protección frente a los picos de tensión 101, un filtro de paso bajo 103, un amplificador 105 y un filtro de paso de banda 107 es controlado por el microcontrolador 77 y es enganchado a la fase de la onda eléctrica con el fin de determinar instantes de tiempo correspondientes al inicio y al fin del rango de detección de las descargas parciales. El desacoplador 99 permite la transmisión de una señal de prueba a la sonda de sincronización 14 sin que esta señal sea transmitida al resto del circuito 101, 103, 105, 107. La señal procedente de la sonda de sincronización 14 pasa por el módulo de protección frente a los picos de tensión 101 para ser dirigida entonces hacia un filtro de paso bajo 103, preferiblemente ajustado a 1 kHz, para reducir el ruido presente en la señal. Este filtro 103 es seguido por un amplificador 105 que alimenta un filtro de paso de banda estrecha 107. La fase en la salida de este filtro 107 es comparada con la de la entrada con el fin de controlar la frecuencia del filtro 107 con el propósito de preservar un desplazamiento de fase de 180 grados a pesar de las variaciones de frecuencia de la red eléctrica.

Un contador (integrado en el microcontrolador 77) controlado por los pasos por cero de la señal a la salida del filtro de paso de banda 107 proporciona una estimación del valor de fasor excepto por un factor de escala. La comparación de este último valor con comandos de "iniciar operación" y "parar operación" proporciona el tiempo de generación de las

señales de sincronización. Además, en una opción preferida, la señal de descarga parcial es comunicada al ordenador 1 sólo durante el periodo de tiempo correspondiente a esta parte usando el multiplexor 87.

A través de un mismo cable 19, 21 (figura 4), la unidad CU 16 transmite la señal de control de ganancia y la corriente de alimentación requeridas por las sondas 4, 6. El módulo de alimentación eléctrica 75 controlado por el microcontrolador 16 ajusta el nivel de tensión correspondiente a la ganancia requerida. El módulo de picos de intensidad de corriente 73 vigila el módulo de alimentación eléctrica 75 y transmite el estado de alimentación al microcontrolador 77. Finalmente, el módulo de desacoplamiento 65 aísla la corriente de alimentación respecto a los otros circuitos de preparación de señales de la sonda 4, 6.

El microcontrolador 77 permite la transmisión de una señal de prueba a la sonda de sincronización 14 para la inyección de esta señal en el accesorio 8. El microcontrolador 77 posee un circuito que puede generar un impulso de calibración de muy poca duración, similar a la duración normal de una descarga parcial, o un tren de impulsos que tiene un patrón de retraso que optimiza la correlación 60'. Tras el paso del impulso en un amplificador 109, el desacoplador 99 lo dirige al cable 23 (figura 4) conectado a la sonda de sincronización 14. El filtro de paso bajo 103 situado a la entrada del circuito de sincronización lo aísla con el fin de bloquear el impulso de alta amplitud.

La unidad CU 16 también permite la transmisión de una señal de prueba al ordenador 1. Una opción consiste en sustituir uno de los filtros opcionales 93, 95 por una fuente de tensión. Entonces, el multiplexor 63 simplemente tiene que ser controlado con el fin de seleccionar esta señal para transmitirla al ordenador 1.

La unidad CU 16 permite un diagnóstico relativo a la buena condición operativa de las sondas de banda ancha 4, 6 y la transmisión de este diagnóstico al ordenador 1. Cuando el sistema de protección 73 de una de las sondas 4, 6 es requerido, el microcontrolador 77 es informado de ello y avisa luego al ordenador 1 de la presencia de un fallo a través de un enlace de comunicación digital 111.

La unidad CU 16 permite la verificación de la presencia de tensión en el accesorio 8 y la transmisión de esta condición al ordenador 1. En ausencia de una tensión apropiada, o cuando la sonda de sincronización 14 no está conectada, el circuito de sincronización 99, 101, 103, 105, 107 no puede operar normalmente. El microcontrolador 77 avisa entonces al ordenador 1 de ello a través de la comunicación digital 111.

Con referencia a la figura 12, se ilustra ahí una posible secuencia de procesamiento de señales realizada por el dispositivo para establecer un diagnóstico. Pueden usarse las correlaciones temporales 64 para determinar la polaridad de las descargas, la distancia temporal  $\Delta t$  entre una misma descarga captada por ambas sondas 4, 6, el coeficiente de correlación "gamma", la probabilidad de error de diagnóstico, y la presencia de otra posibilidad de diagnóstico plausible.

Un algoritmo digital dedicado 66 evalúa la posibilidad de la presencia prevalente de radiación calculando el número de oscilaciones en la parte de la onda captada que excede el nivel de ruido local. La presencia de un elevado número de oscilaciones, a saber más de 8 a 15 ciclos, es un síntoma típico de radiación. El cálculo del número de ciclos de oscilación puede realizarse en uno o ambos canales 113, 115. El procesamiento se para cuando se detecta una radiación (f). Otro algoritmo 68 calcula el factor de forma (g) por el canal que exhibe la amplitud de descarga más alta. Este factor de forma (g) corresponde a la relación de la anchura de banda espectral a la duración temporal del impulso de descarga. Estos dos últimos valores son estimados respectivamente a partir de la línea espectral prevaleciente y a partir del marginal temporal de la descarga parcial representado en una distribución tiempo-frecuencia 70. Esta distribución tiempo-frecuencia 70 puede corresponder a un espectrograma 72, a una transformada Wigner-Ville 74 o a una transformada de ondícula 76 de la señal. La distribución tiempo-frecuencia 70 puede ser sometida primero a un filtrado tiempo-frecuencia 80 antes del cálculo del factor de forma (g) para eliminar el ruido de fondo que exhibe una potencia espectral sustancialmente constante en el dominio de tiempo. La parte temporal de la señal de la descarga de mayor amplitud es transmitida a un módulo 110 que estima la anchura de banda equivalente (h) y el tiempo de aumento (i) de la descarga. Los resultados (a) hasta (i) de los diversos procesamientos aplicados forman un número igual de síntomas potenciales que son enviados al usuario para dejarle a él/ella deducir un diagnóstico, o enviados a un algoritmo de diagnóstico 82.

El algoritmo del módulo de diagnóstico 82 puede, por ejemplo, usar lógica cableada ("Y", "O", superación de umbral), redes neuronales, un sistema experto, lógica difusa, un algoritmo genético o una combinación de ellos para procesar las señales temporales brutas y/o los resultados de los procesamientos anteriormente descritos.

Las sondas 4, 6 están acopladas en corriente alterna, lo que significa que no se mide la tensión de corriente continua. Sin embargo, los convertidores digitales pueden exhibir perfectamente un desplazamiento nulo. Además, la señal RF de periodo más largo que la duración de la digitalización introduce un desplazamiento del tipo de corriente continua al cual son sumadas una pendiente y una parábola. Estas variaciones lentas de la señal deben preferiblemente ser suprimidas antes del procesamiento por correlación 64, e incluso antes del cálculo de una interpolación. Dos tipos de filtros de paso alto conmutables 117, 119 dispuestos en paralelo realizan esta función. El primer filtro 117 realiza, con la señal, la convolución de una ventana espectral para luego restar este resultado de la señal. El otro filtro 119 es similar a un filtro

de muesca de 0 Hz. Este filtro 119 convolucionaria una distribución obtenida de la transformada de Fourier inversa de un impulso unitario sobre la banda espectral completa a la que se ha restado una ventana espectral establecida en 0 Hz. En este filtro 119 puede ajustarse la anchura de la ventana de corte así como el nivel de rechazo de señales en la banda rechazada. Estos filtros 117, 119 eliminan la señal de radio de banda de AM.

5 Un filtro de FM-TV (frecuencia modulada-televisión) 121 puede ser conectado en serie tras los filtros de paso alto 117, 119. Este filtro 121 es también de tipo de convolución con una función de filtro que consiste en una transformada de Fourier inversa de un patrón de banda rechazada ajustado, de acuerdo con la solicitud, a las diversas bandas de FM y TV. Es también posible escoger el rechazo de la banda de FM, de las bandas de FM y TV para los canales de 2 a 4, o bien de las bandas de FM y TV para los canales 2 a 4 adicionalmente a los canales 5 a 13. Los otros parámetros de  
10 filtro son el orden de filtro, el nivel de rechazo de la banda rechazada y el suavizado de frecuencia del patrón de filtro.

La correlación consiste en realizar (4) la suma de los productos cruzados de dos funciones de este modo:

$$Corr(\tau) = \sum_n x(t_n) \cdot y(t_n - \tau), \quad \text{con } \tau = nT \quad \text{y } n \in Z \quad (1)$$

en que T es el periodo de muestreo. La suma se aplica donde existen muestras de x(t) e y(t-τ). Para un valor dado de t, cuando x(t) e y(t-τ), o bien x(t) y -y(t-τ), muestran una similitud, el valor de correlación alcanza un máximo. Recordemos  
15 que la señal está digitalizada y cualificada: una misma forma de onda digitalizada con un pequeño retraso exhibe un aspecto diferente. Esta observación tiene una relación directa con el hecho de que: la posición del pico de correlación está definida de forma temporalmente cercana a medio periodo de muestreo; la amplitud del pico de correlación real puede ser sustancialmente diferente del pico examinado. Las desventajas de la cualificación son pequeñas cuando la señal está fuertemente sobremuestreada. A la inversa, para un tipo de señal de banda ancha, es preferible la  
20 interpolación de la señal antes de la correlación para minimizar estos efectos. Aquí, la interpolación incrementa el número de muestras de 2 a 5 veces. La función de interpolación usada es el producto de la función sinc() por una ventana espectral (por ejemplo Blackman-Harris), pero puede usarse perfectamente otro interpolador.

La agrupación representada por el módulo 62 puede realizarse con las señales adquiridas de forma que se agrupan  
25 señales que tienen características o rasgos similares en grupos respectivos y se producen rúbricas que caracterizan las señales en los grupos tal como se ha indicado anteriormente. Los procesamientos subsiguientes pueden entonces llevarse a cabo sobre las rúbricas, lo que resulta en una relación de señal a ruido mayor y en un procesamiento más rápido al reducirse el número de datos a procesar.

Con referencia a la figura 13, se muestra un diagrama de bloques esquemático que proporciona detalles del módulo de correlación 64 ilustrado en la figura 12. Una interpolación 84 tiene lugar antes de una correlación 64'. Antes de la  
30 correlación 64', en uno de los canales, la anchura temporal de correlación es reducida al mínimo requerido 86 con el fin de incrementar la relación señal/ruido. Este mínimo requerido corresponde a la parte de la señal donde ésta parece emerger del ruido de una descarga parcial. Es el canal que exhibe la señal de descarga de mayor amplitud el que es seleccionado para este desacoplamiento 88. Esto asegura que el inicio y el fin de la descarga estarán definidos de forma más acusada.

35 El resultado de la correlación 64' es un conjunto de picos positivos y negativos. Una clasificación simple en valor absoluto de la amplitud permite conservar los principales picos 90. En el módulo de cálculo de retraso 92, para cada pico de correlación, el valor de la variable correspondiente τ es multiplicado por la constante requerida para obtener el retardo Δt entre ambas observaciones de la descarga. Este retraso es usado por un módulo 94 que elimina descargas falsas, a saber aquéllas que exhiben un retraso que excede el tiempo de propagación entre ambas sondas 4, 6. El  
40 tiempo de propagación puede ser estimado durante la calibración al comienzo de la prueba. Otro módulo 96 estima la probabilidad de error de diagnóstico sobre la base de cuánto sobresale el pico de correlación máxima respecto a los otros picos. Cuando la probabilidad de error excede un umbral preestablecido 98, se transmite un aviso de la existencia de un segundo candidato probable de explicación diagnóstica.

45 Finalmente, los datos relativos al pico de correlación máxima son conservados 100 y transmitidos al módulo de estimación de polaridad 102 así como al módulo de cálculo del coeficiente de correlación y 104. Este último coeficiente:

$$\gamma = \frac{\sum_n x(t_n) \cdot y(t_n - \tau)}{\sqrt{\sum_n x(t_n)^2 \cdot \sum_n y(t_n - \tau)^2}} \quad (2)$$

proporciona una evaluación de la similitud entre las dos señales de descarga comparadas.

El módulo de correlación 64 también proporciona el valor del retraso de canal a canal  $\Delta t$  106 de la descarga parcial así como la parte de rastro temporal de la descarga de mayor amplitud 108.

La calibración del retraso de propagación entre las sondas de banda ancha 4, 6 se lleva a cabo habitualmente al comienzo de una prueba de diagnóstico. A continuación de la inyección de la señal de prueba en la sonda de sincronización 14, la respuesta captada por cada sonda de banda ancha 4, 6 es analizada para estimar el retraso de la propagación entre estas dos sondas 4, 6. A este efecto, un filtro de corrección de fase y amplitud (no mostrado como tal, pero incorporado en el ordenador 1) cambia de forma la señal detectada por la sonda situada en el lado más alejado de la sonda de sincronización 14 (por ejemplo en la figura 2 será la señal procedente de la primera sonda 4). El cambio de forma está destinado a corregir la distorsión que la onda de propagación ha soportado en su paso a través del accesorio 8. El cambio de forma de la señal procedente de la otra sonda es opcional. Tras ello, los retrasos de propagación son estimados por correlación con la señal inyectada por la sonda de sincronización 14. Esta última correlación utiliza los elementos 84, 86, 88, 123, 90, 100 y 102 ilustrados en la figura 13. La polaridad de la señal confirma la configuración de la prueba. Por ejemplo, para el diagrama de la figura 2, la polaridad debe aparecer invertida, en otro caso uno de los sensores 4, 6 está invertido respecto al otro sensor. La suma de ambas estimaciones de retraso proporciona una estimación del retraso de propagación entre ambas sondas de banda ancha 4, 6 para los diagramas en las figuras 1 y 2. Para la configuración ilustrada en la figura 3 se usa la diferencia entre ambas estimaciones de retraso. La respuesta captada por las sondas de banda ancha 4, 6 derivada de la señal de prueba puede ser usada por lo tanto para verificar la configuración de las sondas 4, 6 en función de la polaridad de las señales adquiridas.

Las descargas parciales están caracterizadas por un impulso de banda ancha de corta duración. El factor de forma 68 es informativo en cuanto a la medida en que el suceso digitalizado se ajusta a esa última característica. El factor de forma 28 es derivado a partir del espectrograma  $X_{i,m}$  72 filtrado en tiempo-frecuencia de la señal  $x_n$ . Este factor está definido como el momento de inercia en el dominio espectral dividido por el momento de inercia en el dominio de tiempo como sigue

$$F = \frac{\sum_i X_{i,m_s} \cdot (i - c)^2}{\sum_m \hat{x}_m \cdot (m - m_s)^2} \quad (3)$$

25 donde

$X_{i,m_s}$  es la transformada de Fourier correspondiente al intervalo de tiempo  $m_s$  coincidente con la máxima amplitud de la descarga,

$\hat{x}_m$  es el marginal de tiempo con  $m$  como índice de intervalo de tiempo del espectrograma según ,

$$\hat{x}_m = \sum_i X_{i,m}$$

$c$  es o bien igual a cero o bien igual al centro de gravedad de  $X_i$  según

$$c = \frac{\sum_i X_i \cdot i}{\sum_i X_i}$$

30 La figura 14 ilustra un espectrograma  $X_{i,m}$  tal que  $i$  es el índice de frecuencia y  $m$  es el índice de tiempo, en que la figura 15 proporciona el resultado filtrado. En la figura 14, el tiempo está en el eje x mientras que la frecuencia está en el eje y (los valores mostrados no están a escala). Las 3 líneas onduladas horizontales corresponden a modulaciones de radio indeseadas. En la figura 15, las 3 señales de modulación de radio que aparecen en la figura 14 han sido eliminadas.

35 La función de filtro se escribe como:

$$Y_{i,m} = \begin{cases} \exp(\log(X_{i,m}) - (S_i + \chi)) & \text{cuando } \log(X_{i,m}) \geq (S_i + \chi) \\ 1 & \text{cuando } \log(X_{i,m}) < (S_i + \chi) \end{cases} \quad (4)$$

con

$$S_i = \frac{\sum_k \log(X_{i,k})}{\sum_k 1} \quad (5)$$

donde  $k \in \left\{ n \mid \sum_i \log(X_{i,m}) \leq \text{Umbral marginal en el dominio de tiempo} \right\}$ .

En función de la duración de la digitalización y de la duración de una descarga normal, el umbral marginal en el dominio de tiempo es ajustado para obtener la fracción de los intervalos de tiempo en los que se observa principalmente ruido. Es preferible de este modo tener datos digitalizados antes de la ocurrencia de la descarga con el fin de tener una medición del ruido. En el algoritmo, el ajuste del umbral marginal se consigue mediante prueba y error reduciendo el rango de búsqueda por un factor de dos en cada intento. Para cada valor umbral probado, se obtiene una relación entre intervalos de tiempo por debajo de este umbral. El ajuste iterativo termina cuando la relación obtenida es cercana a la requerida.

De este modo,  $S_i$  proporciona una estimación plausible de la densidad espectral media del ruido (en dB) durante la descarga. La constante  $\chi$  está expresada en decibelios y permite conservar sólo la señal que emerge de  $\chi$  decibelios respecto al ruido. El resultado es una nivelación del ruido adaptada para cada línea espectral.

El mismo algoritmo puede aplicarse a la amplitud o potencia espectral en vez de al logaritmo de  $X_{i,m}$  (es decir  $\log(*)$  es sustituido por  $*$  y  $\exp(*)$  por  $*$ ). Sin embargo, la versión que usa el logaritmo es mucho más eficiente.

Las señales de descargas parciales cercanas están caracterizadas por un lóbulo de mayor amplitud seguido por un pequeño número de oscilaciones altamente amortiguadas. A veces aparece medio ciclo de oscilación antes del lóbulo de mayor amplitud: esta oscilación pre-pico tiene una pequeña amplitud y no se considera. El tiempo de aumento se define de este modo como el paso de 5% a 95% del aumento del lóbulo de mayor amplitud. A partir de la parte de la señal que contiene la descarga de mayor amplitud, el módulo 98 (figura 12) aplica una transformada de Fourier y estima la frecuencia normal (o frecuencia característica) de la descarga. Una particularidad del procesamiento digital es que hay interpolación espectral por adición de ceros a ambos lados de la señal en el dominio de tiempo antes de la aplicación de la transformada de Fourier. El inverso de la frecuencia normal, multiplicado por un coeficiente de calibración, proporciona una estimación de este aumento de tiempo. La ventaja de este cálculo es que está basada en todos los puntos de la señal de descarga en el dominio de tiempo: el resultado es así más resistente al ruido.

Con referencia a las figuras 21 a 27, se muestran posibles diagramas esquemáticos del sistema electrónico de la unidad CU 16. La figura 21 se refiere más específicamente al circuito del microcontrolador 77. Los canales para las sondas de banda ancha reciben respectivamente la denominación de "canal amarillo" y "canal azul". Se observa en la figura que hay dos medidas de alimentación eléctrica para estos dos canales (clavijas 19 a 22 de U1): una medición de tensión corriente arriba del fusible y una medición corriente abajo del fusible. Estas medidas permiten detectar un mal funcionamiento de una de las sondas 4, 6. El circuito también comprende un conector CN1 para propósitos de programación y otro conector COM1 para comunicaciones RS-232. Una de las salidas analógicas (clavija 3) del microcontrolador (U1) es utilizada para inyectar una señal de prueba en las sondas de banda ancha 4, 6 mientras que la otra (clavija 2) es usada para inyectar una señal de prueba en la sonda de sincronización 14.

Las figuras 22 y 23 ilustran alimentaciones eléctricas para las sondas de banda ancha 4, 6. La salida de una alimentación eléctrica contiene simultáneamente la corriente requerida para la operación del sistema electrónico de la sonda 4, 6 y la señal que indica la ganancia controlada al sistema electrónico de la sonda 4, 6. Esta señal que contiene el control de ganancia es una tensión superpuesta a la tensión de alimentación, tensión que es controlada por el microcontrolador U1. El circuito de una alimentación eléctrica está formado de este modo por una fuente de tensión de referencia (U14/U13), un convertidor digital/analógico (U8/U9), un sumador de tensión (U5) y un regulador de tensión (U10/U11).

Las figuras 24 y 25 ilustran diagramas esquemáticos de los circuitos de amplificación y preparación de banda ancha (es decir RF) de las señales procedentes de las sondas de banda ancha 4, 6. Por el lado situado a la izquierda, se ve la presencia de la inyección de la señal de alimentación eléctrica de la sonda 4, 6 a través de un inductor (L2/L3) y la presencia de un condensador de acoplamiento RF (C27/C31). El propósito de estos dos componentes es desacoplar el circuito de alimentación eléctrica respecto al circuito de amplificación. Este filtro de derivación de alimentación y de señales es seguido por una protección y por un filtro de paso alto (PBLP\_39), seguido él mismo por una etapa de adaptación de impedancia (U16, U17/U20, U19), y por filtros (PBLP\_39) dispuestos en paralelo y conmutables. La conmutación es controlada por el microcontrolador (U1) a través de 4 bits. En el lado situado arriba a la izquierda, se muestra una entrada para la inyección de la señal de prueba para el "cero". Una última etapa de amplificación (U18/U22) transmite la señal procesada en una línea de 50 ohmios.

La figura 26 ilustra la preparación de la señal de la sonda de sincronización 14. El circuito comienza en el lado situado a la derecha con un filtro de derivación (C15) entre la señal de prueba (RF) transmitida a la sonda y la señal procedente de la sonda (60 Hz). Esta última señal, tras el paso en un inductor (L1), es limitada cerca de los pasos por cero. La señal así limitada es dirigida a un filtro de paso bajo y a un filtro seguidor de paso de banda estrecha. Este último filtro está conectado a un filtro de paso bajo idéntico al primer filtro de paso bajo con el fin de preservar el mismo retraso. Estas

señales filtradas por los filtros de paso bajo son transmitidas al microcontrolador (U1) que controla la respuesta del filtro de paso de banda de modo que se observa un desplazamiento de fase de 360 grados entre las salidas de los dos filtros de paso bajo. Un último circuito de amplificación mostrado en la parte baja de la figura proporciona al microcontrolador (U1) la señal sinusoidal filtrada y en fase con la de la sonda de sincronización 14. Esta señal es usada por el microcontrolador (U1) para estimar la fase de 60 Hz en función del tiempo.

La figura 27 muestra los diversos circuitos de alimentación eléctrica de los circuitos de la unidad de control 16.

Con referencia a las figuras 4 y 12, una versión rebajada del dispositivo puede ser usada para verificar rápidamente si un equipamiento eléctrico está plagado de descargas parciales, y requiere por lo tanto una comprobación adicional con la versión más sofisticada del dispositivo o se debe acercarse uno a él con precaución. La versión rebajada del dispositivo puede tener sólo una sonda de medición 4 (o 6) en vez de dos, y la unidad de procesamiento digital 1 puede ser reducida al módulo de agrupación 62, el módulo 70 para realizar una distribución tiempo-frecuencia (de las señales agrupadas), el módulo de estimación de factor de forma 68, el módulo 110 para determinar tiempos de aumento (de las señales agrupadas), y el módulo de diagnóstico 82 que en ese caso responde a los resultados generados por el módulo de estimación de factor de forma 68 y el módulo 110 para determinar tiempos de aumento, y produce una señal de aviso en función del diagnóstico para informar de la detección de descargas parciales si es necesario. Puede omitirse con ello todo el sistema electrónico de la unidad de procesamiento digital 1 y de la unidad de control 16 relacionada con el segundo canal de medición (cuando se usan dos sondas de medición). Preferiblemente, en la versión rebajada, la sonda de calibración 14 será tal que no requiera ningún contacto con el equipamiento a comprobar para proporcionar una indicación del ángulo de fase en el equipamiento. Dependiendo del tipo de sonda 14 utilizada a este respecto, puede ser necesario evaluar el ángulo de fase sobre la base de una señal indicativa del ángulo de fase detectada por la sonda 14 (por ejemplo, una medición de la intensidad de la corriente). Como el ángulo de fase es usado principalmente para propósitos de temporización y seguimiento en la versión rebajada del dispositivo, no será importante si el ángulo de fase evaluado no coincide con el ángulo de fase real en el equipamiento suponiendo que el error de fase se mantenga aproximadamente constante. Preferiblemente, la información de fase resuelta se utiliza para encajar grupos de descargas de polaridad opuesta. Para propósitos de diagnósticos, la probabilidad de presencia de descarga aumenta con la existencia de dos grupos de polaridades opuestas.

Aunque han sido ilustradas en los dibujos adjuntos y descritas anteriormente realizaciones de la invención, será evidente para aquellas personas con experiencia en la técnica que pueden hacerse cambios y modificaciones en esas realizaciones sin apartarse de esta invención tal como está definida en las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo para detectar, localizar e interpretar una descarga parcial que ocurre en un lugar de descarga parcial (13) en un equipamiento eléctrico (8, 10), que comprende:

5 dos sondas de medición (4, 6) y una sonda de sincronización (14) instalables en el equipamiento eléctrico (8, 10) de modo que los impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico (8, 10) son detectables por las sondas de medición (4, 6) y un ángulo de fase en el equipamiento eléctrico (8, 10) es detectable por la sonda de sincronización;

10 una unidad de control (16) que se conecta a las sondas de medición (4, 6) para recibir las señales representativas de los impulsos detectados, y que se conecta a la sonda de sincronización (14) para adquirir una señal representativa del ángulo de fase detectado, en que la unidad de control (16) tiene un circuito (81, 63, 91, 87) para la preparación selectiva de las señales recibidas; y

15 una unidad de procesamiento digital (1) que se conecta a la unidad de control (16) para adquirir las señales tras una preparación selectiva en función del ángulo de fase detectado y que dirige la unidad de control (16), en que la unidad de procesamiento digital (1) posee un módulo de medición de correlación (64) para medir la correlación de las señales adquiridas, un módulo (70) para realizar una distribución tiempo-frecuencia de al menos una de las señales adquiridas, un módulo de estimación de factor de forma (68) para estimar un factor de forma que corresponde a una relación de una anchura de banda espectral a una duración temporal de un impulso de descarga derivada de la distribución tiempo-frecuencia, y un módulo de diagnóstico (82) que responde a los resultados generados por los módulos de medición de correlación y de estimación de factor de forma (64, 68) para generar un diagnóstico indicativo de una detección de una descarga parcial y de su localización en el equipamiento eléctrico (8, 10).

25 2. El dispositivo según la reivindicación 1, en que la unidad de procesamiento (1) comprende además un módulo de eliminación de candidatos (94) para eliminar candidatos de soluciones de diagnóstico correspondientes a rastros en las señales adquiridas derivadas de impulsos detectados que presentan retrasos de propagación fuera de rango entre las sondas de medición.

3. El dispositivo según la reivindicación 2, en que es establecible por un usuario un umbral para retrasos considerados fuera de rango por el módulo de eliminación de candidatos (94).

30 4. El dispositivo según la reivindicación 2, en que la unidad de control (16) comprende un circuito (77) para generar una señal de prueba transmitida a la sonda de sincronización (14) que la inyecta en el equipamiento eléctrico (8, 10), en que la unidad de procesamiento digital (1) es apta para, a partir de las señales adquiridas correspondientes a los impulsos detectados por las sondas de medición (4, 6) causados por la señal de prueba inyectada en el equipamiento eléctrico (8, 10), determinar el retraso de propagación entre las sondas de medida (4, 6), en que el umbral para considerar fuera de rango los retrasos es establecido en función del retraso de propagación así determinado.

35 5. El dispositivo según la reivindicación 1, en que la unidad de procesamiento (1) comprende además un módulo (96) para estimar una probabilidad de error en función de una relación entre un pico de un máximo de correlación y otros picos de correlación, en que una señal de aviso indicativa de un segundo candidato probable de explicación diagnóstica es transmitida al módulo de diagnóstico (82) cuando la probabilidad de error excede un umbral preestablecido.

40 6. El dispositivo según la reivindicación 1, en que la unidad de procesamiento (1) comprende además un módulo (66) para detectar rastros típicos de radiación en las señales adquiridas, parando su procesamiento y reteniendo un diagnóstico de "radiación" cuando se establece que las señales adquiridas corresponden a radiación.

45 7. El dispositivo según la reivindicación 1, en que el módulo de medición de correlación (64) proporciona al módulo de diagnóstico (82) una señal indicativa de las polaridades de los impulsos en las señales adquiridas, un factor de correlación de las señales correlacionadas, una parte de rastro temporal de una descarga de mayor amplitud, y una distancia temporal entre una misma descarga captada por las sondas de medición (4, 6).

8. El dispositivo según la reivindicación 7, en que la unidad de procesamiento (1) comprende además un módulo (110) para estimar una anchura de banda equivalente y un tiempo de aumento de la descarga de mayor amplitud, ambos proporcionados al módulo de diagnóstico (82).

50 9. El dispositivo según la reivindicación 1, en que la unidad de procesamiento (1) comprende además un módulo de agrupación (62) corriente arriba del módulo de medición de correlación (64) y del módulo (70) que realiza la distribución tiempo-frecuencia, para agrupar las señales adquiridas en los grupos respectivos y producir las rúbricas que

caracterizan las señales en los grupos, en que la correlación y la distribución tiempo-frecuencia son obtenidas con las rúbricas.

10. Un método para detectar, localizar e interpretar una descarga parcial que ocurre en un lugar de descarga parcial en un equipamiento eléctrico, que comprende:

5            detectar impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico (8, 10) utilizando dos sondas de medición (4, 6) separadas entre sí en el equipamiento eléctrico;

detectar un ángulo de fase en el equipamiento eléctrico (8, 10) utilizando una sonda de sincronización (14) situada en el equipamiento eléctrico (8, 10);

realizar una preparación selectiva de señales representativas de los impulsos detectados;

10           adquirir las señales después de la preparación selectiva en función del ángulo de fase detectado;

poner las señales adquiridas en correlación;

                 presentar al menos una de las señales adquiridas en una distribución tiempo-frecuencia;

estimar un factor de forma que corresponde a una relación de una anchura de banda espectral a una duración temporal de un impulso de descarga derivada de la distribución tiempo-frecuencia; y

15           establecer un diagnóstico indicativo de una detección de una descarga parcial y de su localización en el equipamiento eléctrico (8, 10) en función de los resultados de la correlación y del factor de forma.

11. El método según la reivindicación 10, que comprende además:

20           eliminar candidatos de soluciones de diagnóstico correspondientes a rastros en las señales adquiridas derivadas de impulsos detectados que presentan retrasos de propagación fuera de rango entre las sondas de medición.

12. El método según la reivindicación 11, que comprende además:

generar una señal de prueba transmitida a la sonda de sincronización (14) que la inyecta en el equipamiento eléctrico (8, 10); y

25           determinar el retraso de propagación entre las sondas de medición a partir de las señales adquiridas correspondientes a los impulsos detectados por las sondas de medición (4, 6) causados por la señal de prueba inyectada en el equipamiento eléctrico (8, 10), en que el umbral para retrasos considerados fuera de rango es establecido entonces en función del retraso de propagación así determinado.

13. El método según la reivindicación 10, que comprende además:

30           generar una señal de prueba transmitida a la sonda de sincronización (14) que la inyecta en el equipamiento eléctrico (8, 10); y

verificar una configuración de las sondas de medición (4, 6) en función de las señales adquiridas correspondientes a la señal de prueba inyectada en el equipamiento eléctrico (8, 10).

14. El método según la reivindicación 10, que comprende además:

35           estimar una probabilidad de error en función de una relación entre un pico de un máximo de correlación y otros picos de correlación, en que se produce una señal de aviso indicativa de un segundo candidato probable de explicación diagnóstica cuando la probabilidad de error excede un umbral preestablecido;

15. El método según la reivindicación 10, que comprende además:

detectar rastros típicos de radiación en las señales adquiridas, en que se para su procesamiento y se retiene un diagnóstico de "radiación" cuando se establece que las señales adquiridas corresponden a una radiación.

40           16. El método según la reivindicación 10, en que también se establece el diagnóstico sobre la base de una señal indicativa de las polaridades de los impulsos en las señales adquiridas, un factor de correlación de las señales correlacionadas, una parte de rastro temporal de una descarga de mayor amplitud, una distancia temporal entre una misma descarga captada por las sondas de medición (4, 6), una anchura de banda equivalente y un tiempo de aumento de la descarga de mayor amplitud.

17. El método según la reivindicación 10, en que el factor de forma corresponde a una relación de una anchura de banda espectral a una duración temporal de un impulso de descarga en una de las señales adquiridas, en que la anchura de banda espectral y la duración temporal son estimadas a partir de una línea espectral prevaleciente y un marginal temporal de la descarga parcial proporcionados en una distribución tiempo-frecuencia.
- 5 18. El método según la reivindicación 17, en que la distribución tiempo-frecuencia corresponde a un espectrograma, una transformada Wigner-Ville, o a una transformada de ondícula de dicha al menos una señal adquirida.
19. El método según la reivindicación 17, en que la distribución tiempo-frecuencia es primeramente sometida a un filtrado en tiempo-frecuencia antes de la estimación del factor de forma con el fin de eliminar el ruido de fondo que exhibe una potencia espectral sustancialmente constante en el dominio de tiempo.
- 10 20. El método según la reivindicación 10, que comprende además interpolar las señales adquiridas antes de la correlación.
21. El método según la reivindicación 10, que comprende además agrupar las señales adquiridas en grupos respectivos y producir rúbricas que caracterizan las señales en los grupos, en que la correlación y la distribución tiempo-frecuencia se obtienen con las rúbricas.
- 15 22. Un dispositivo para detectar descargas parciales en un equipamiento eléctrico, que comprende:
- una sonda de medición y una sonda de sincronización instalables en el equipamiento eléctrico de modo que los impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico son detectables por la sonda de medición y una señal indicativa de un ángulo de fase en el equipamiento eléctrico es detectable por la sonda de sincronización;
- 20 una unidad de control que se conecta a la sonda de medición para recibir las señales representativas de los impulsos detectados, y que se conecta a la sonda de sincronización para adquirir la señal indicativa del ángulo de fase, en que la unidad de control posee un circuito para la preparación selectiva de las señales recibidas; y
- una unidad de procesamiento digital que se conecta a la unidad de control para adquirir las señales después de la preparación selectiva en función de una evaluación del ángulo de fase y que dirige la unidad de control, en que la unidad de procesamiento digital presenta un módulo de agrupación para agrupar las señales adquiridas en grupos respectivos y produce rúbricas que caracterizan las señales en los grupos, un módulo para realizar una distribución tiempo-frecuencia de las rúbricas, un módulo de estimación de factor de forma para estimar un factor de forma correspondiente a una relación de una anchura de banda espectral a una duración temporal de un impulso de descarga derivada de la distribución tiempo-frecuencia, un módulo para determinar tiempos de aumento de las rúbricas, y un módulo de diagnóstico que responde a los resultados generados por el módulo de estimación de factor de forma y el módulo para determinar tiempos de aumento para generar un diagnóstico indicativo de una detección de descargas parciales y producir una señal de aviso en función del diagnóstico.
- 25 30
23. Un método para detectar descargas parciales en un equipamiento eléctrico, que comprende:
- detectar los impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico usando una sonda de medición situada en el equipamiento eléctrico;
- 35 detectar una señal indicativa de un ángulo de fase en el equipamiento eléctrico usando una sonda de sincronización situada en el equipamiento eléctrico;
- realizar una preparación selectiva de una señal representativa de los impulsos detectados;
- adquirir las señales después de la preparación selectiva en función de una evaluación del ángulo de fase;
- agrupar las señales adquiridas en grupos y producir rúbricas que caracterizan las señales en los grupos;
- 40 presentar las rúbricas en una distribución tiempo-frecuencia;
- estimar un factor de forma correspondiente a una relación de una anchura de banda espectral a una duración temporal de un impulso de descarga derivada de la distribución tiempo-frecuencia;
- determinar tiempos de aumento de las rúbricas;
- 45 establecer un diagnóstico indicativo de una detección de descargas parciales en función de los resultados del factor de forma y los tiempos de aumento; y
- producir una señal de aviso en función del diagnóstico.

24. El dispositivo según la reivindicación 1 ó 22, en que dicha sonda de medición (4, 6) es una sonda magnética de banda ancha para detectar impulsos que viajan en un equipamiento eléctrico causados por una descarga parcial, en que dicha sonda comprende:

5 una abrazadera retirable que posee un anillo conductor que forma un circuito de captación magnética apto para rodear una sección del equipamiento eléctrico con el fin de captar una señal que representa un componente magnético de los impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico;

una pantalla conductora que cubre y aísla electrostáticamente el anillo conductor, estando la pantalla conductora en circuito abierto en los extremos opuestos de la abrazadera de modo que aparece un hueco entre los extremos de la abrazadera;

10 un conector que cierra el circuito del anillo conductor en los extremos de la abrazadera donde está situado el hueco cuando la abrazadera está instalada en torno al equipamiento eléctrico; y

un conector para establecer una conexión eléctrica externa con el circuito del anillo conductor.

15 25. El dispositivo según la reivindicación 24, en que dicha sonda magnética de banda ancha comprende además un circuito amplificador (42) integrado en la pantalla conductora (34) e insertado en el anillo conductor (32) con el fin de filtrar y amplificar la señal.

26. El dispositivo según la reivindicación 25, en que dicha sonda magnética de banda ancha incluye un circuito amplificador con ganancia controlada.

20 27. El método según la reivindicación 10 ó 23, en que dicha sonda de medición (4, 6) es una sonda magnética de banda ancha para detectar los impulsos que viajan en un equipamiento eléctrico causados por una descarga parcial, en que dicha sonda comprende:

una abrazadera retirable que posee un anillo conductor que forma un circuito de captación magnética apto para rodear una sección del equipamiento eléctrico con el fin de captar una señal que representa un componente magnético de los impulsos que viajan en el equipamiento eléctrico;

25 una pantalla conductora que cubre y aísla electrostáticamente el anillo conductor, estando la pantalla conductora en circuito abierto en los extremos opuestos de la abrazadera de modo que aparece un hueco entre los extremos de la abrazadera;

un conector que cierra el circuito del anillo conductor en los extremos de la abrazadera donde está situado el hueco cuando la abrazadera está instalada en torno al equipamiento eléctrico; y

un conector para establecer una conexión eléctrica externa con el circuito del anillo conductor.

30

**DOCUMENTOS INDICADOS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 En la lista de documentos indicados por el solicitante se ha recogido exclusivamente para información del lector, y no es parte constituyente del documento de patente europeo. Ha sido recopilada con el mayor cuidado; sin embargo, la EPA no asume ninguna responsabilidad por posibles errores u omisiones.

**Documentos de patente indicados en la descripción**

- US 6809523 B, Ahmed [0004]
- US 6297645 B, Erikson [0004]
- US 5530364 B, Mashikian [0004]
- US 6392401 B, Cooke [0004]
- 10 • US 5767684 B, Steennis [0004]
- US 5642038 B, Kim [0004]
- US 6420879 B, Cooke [0004]
- CA 2455206, Wendel [0004]
- US 6507181 B, Pakonen [0004]
- US 2004263179 A [0004]
- US 6418385 B, Hücker [0004]
- WO 2004005947 A [0004]
- US 6255808 B, Hücker [0004]
- EP 1477820 A [0004]