

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 826**

51 Int. Cl.:

G01R 31/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.12.2010 PCT/EP2010/007982**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.07.2012 WO12089229**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.12.2010 E 10805217 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018 EP 2659278**

54 Título: **Localización de faltas generadoras de descargas parciales**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.05.2019

73 Titular/es:
PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)
Via Chiese, 6
20126 Milano, IT

72 Inventor/es:
SALES CASALS, LLUIS-RAMON;
FRANCHI BONONI, STEFANO;
CANDELA, ROBERTO y
LÓPEZ GONZÁLEZ, MANUEL

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 711 826 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

Localización de faltas generadoras de descargas parciales

La presente invención se refiere a la localización de faltas incipientes que generan descargas parciales.

5 Más en particular, la presente invención se refiere a un procedimiento para la localización de faltas que generan descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica, en particular un sistema de transmisión de energía eléctrica de media/alta tensión, así como un aparato para llevar a cabo el procedimiento.

En la presente descripción y reivindicaciones los términos:

- “Media tensión” o MT se usa para indicar tensiones en el intervalo desde 1 a 35 kV;
- “Alta tensión” o AT se usa para indicar tensiones por encima de 35 kV;
- 10 - “falta incipiente” se usa para indicar un defecto dentro del sistema de transmisión de energía eléctrica, en particular dentro de un cable, que no provoque el fallo inmediato pero que pueda conducir a un posible fallo;
- “localización” se usa para indicar la identificación de una cierta zona del sistema de transmisión de energía que contiene la falta incipiente, representando la longitud de la zona la precisión de la localización;
- 15 - “descarga parcial”, a veces abreviada como DP en lo que sigue del presente documento, se usa para indicar una descarga eléctrica localizada que puentea parcialmente un aislamiento entre conductores, y que puede o no ocurrir adyacentemente a un conductor.

20 Las descargas parciales son en general una consecuencia de las concentraciones de tensiones eléctricas en el aislante o sobre la superficie del aislante. En general, dichas descargas aparecen como pulsos que tienen una duración mucho menor de 1 μ s. Como aislamiento se quiere indicar, por ejemplo, la capa aislante que rodea a un conductor.

25 Para la finalidad de la presente descripción y de la reivindicaciones adjuntas, excepto en donde se indique lo contrario, todos los números que expresan sumas, cantidades, porcentajes y otros similares, han de entenderse como modificados en todos los casos por el término “aproximadamente”. También, todos los intervalos incluyen cualquier combinación de los puntos máximo y mínimo divulgados e incluyen cualesquiera intervalos intermedios en ellos, lo que puede o no ser específicamente indicado en el presente documento.

En la presente descripción y reivindicaciones, los términos “conductor”, “aislado”, “conectado” y otros términos que podrían tener también un significado térmico o mecánico se usan en el sentido eléctrico, a menos que se especifique lo contrario.

30 La energía eléctrica desde un punto de generación de energía se transmite típicamente a un usuario, tal como una ciudad, una fábrica u otra entidad, por medio de sistemas de transmisión de energía eléctrica de media/alta tensión que pueden ser aéreos (elevados), terrestres o submarinos.

35 Un sistema de transmisión de energía eléctrica, o red, puede comprender conductores eléctricos (que pueden ser conductores aéreos (elevados), conductores terrestres aislados o conductores submarinos aislados), uniones, terminaciones, aislantes para los sistemas de potencia aéreos, líneas con aislamiento de gas (GIL) y/o interruptores con aislamiento de gas (GIS). En lo que se refiere a los conductores aéreos, la invención se refiere a cables aéreos aislados.

40 Una descarga parcial comienza normalmente con huecos, grietas, inclusiones u otros defectos dentro de un dieléctrico sólido, en las interfaces conductor-dieléctrico dentro de dieléctricos sólidos o líquidos, o en burbujas dentro de dieléctricos líquidos. Las descargas parciales pueden ocurrir también a lo largo de los límites entre diferentes materiales aislantes.

Como se ha mencionado, las descargas parciales normalmente no provocan el fallo inmediato del sistema eléctrico, sino su deterioro progresivo, conduciendo finalmente a la avería eléctrica.

45 En los sistemas de transmisión de energía eléctrica, particularmente en líneas de transmisión de media y alta tensión, los daños o defectos relativamente pequeños de los componentes, especialmente en partes del cable, por ejemplo conductores, aislantes o apantallado, pueden conducir a apreciables pérdidas de corriente. Más aún, dichos daños tienden a incrementarse o propagarse y pueden convertirse en la causa de cortocircuitos que conducen a una desconexión de la parte de la red afectada y, bajo ciertas circunstancias, pueden incluso tener la consecuencia de un daño aún mayor a la red, provocando el gasto correspondientemente mayor en la reparación, interrupción del servicio, etc.

50 Es por lo tanto importante detectar y supervisar las descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica para asegurar la operación fiable, a largo plazo del sistema, para predecir posibles fallos que pudieran

conducir a la interrupción del servicio de suministro de energía, y para planificar comprobaciones y/o cambios adecuados in situ del componente que está generando la actividad de descarga parcial, antes de su fallo.

5 Debido a la amplia extensión de una red eléctrica y/o a la frecuentemente difícil accesibilidad de la misma, especialmente cuando es subterránea o superior, es importante localizar tan precisamente como sea posible el lugar de la falta incipiente que genera la descarga parcial.

Las técnicas para detectar y localizar descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica son conocidas en la técnica.

10 Algunas técnicas usan Reflectometría en el Dominio Temporal (TDR), una técnica de medición usada para determinar las características de las líneas eléctricas mediante la observación de formas de onda reflejadas. La TDR se basa en la inyección y propagación de un escalón o impulso de energía en un sistema, y la observación posterior de la energía reflejada por el sistema. La precisión de esta técnica en la localización de una falta incipiente que genere descargas parciales dependen en general de diversos factores, que incluyen la longitud del enlace, la precisión en el valor de la velocidad de propagación que se elige para el cálculo, y la distorsión de los pulsos en el punto de medición debido a dispersión.

15 La precisión puede así no ser totalmente satisfactoria, especialmente en redes de energía largas y/o complejas. Realmente, las descargas parciales necesitan que se detecten cortos impulsos de energía, pero partes de cable largas necesitan largos impulsos de energía para que circulen a través de él.

20 La TDR proporciona la distancia del defecto desde el punto de medición, que es normalmente un extremo del cable. No es sin embargo nada fácil en absoluto conocer donde estará realmente dicho punto debido a la disposición frecuentemente irregular, tridimensional del cable.

25 De entre las técnicas que usan TDR, por ejemplo, el documento US 6853196 se refiere a un procedimiento para determinar la localización de un lugar de defecto en un cable que comprende la inyección dentro del extremo de conducción del cable de un pulso incidente de corta duración que tiene tensión suficiente para provocar una ruptura eléctrica en el sitio de defecto. La ruptura eléctrica genera, a su vez, pulsos que se propagan fuera del sitio de defecto en ambas direcciones a lo largo del cable. Al menos un sensor de diagnóstico puede detectar el pulso incidente y el pulso reflejado inducido en la ruptura en el extremo de conducción del cable. La localización del lugar del defecto se estima a partir del tiempo de retardo entre los tiempos de llegada de los pulsos y la velocidad de propagación de los pulsos en el cable.

30 Otros procedimientos prevén la localización de sensores detectores conectados operativamente a diversos puntos a lo largo de toda la red eléctrica. Teniendo en cuenta la extensión de una red eléctrica, dichos procedimientos resultan ser bastante caros.

35 Por ejemplo, el documento WO 2009/013639 se refiere a un procedimiento para detectar, identificar y localizar descargas parciales que tienen lugar en un sitio de descarga a lo largo de un aparato eléctrico. El procedimiento comprende una etapa preliminar de identificar una pluralidad de estaciones de detección a lo largo de todo el aparato a ser evaluado, en donde el sensor puede acoplarse para la detección de las señales eléctricas. Las descargas parciales se localizan en la estación en la que las señales eléctricas tienen valores máximos de un parámetro de amplitud y de un parámetro de forma correlacionado con el contenido en frecuencia de las señales.

40 El documento WO 2009/150627 divulga un dispositivo portátil de detección de descargas parciales para detectar y medir descargas parciales en componentes y aparatos eléctricos, que proporciona señales que tiene una forma que se asemeja mucho a la de un pulso radiado, y que también puede detectar y entregar una señal de sincronismo que se obtiene mediante la captura de la tensión de alimentación del objeto de origen que genera la descarga. El dispositivo comprende una antena de banda ancha adecuada para actuar como un sensor de campo eléctrico y que comprende un primer conductor plano que coopera con un segundo conductor cuyo perfil converge hacia el primer conductor plano en un punto o a lo largo de una línea, en el que dicho segundo conductor es más pequeño en
45 aproximadamente dos órdenes de magnitud que la longitud de onda del campo a ser detectado, de modo que la antena de banda ancha no sea resonante en una banda de aproximadamente 0,1 MHz a aproximadamente 100 MHz.

50 El documento US 4967158 se refiere a un dispositivo detector portátil para detección de descargas eléctricas parciales en cables de y/o equipos de distribución de tensión en activo. El dispositivo comprende una sonda sujeta a un asa portátil aislada para desplazamiento manual de la sonda. Se conecta un dispositivo detector a la sonda para detectar una señal en el intervalo de 5 a 10 MHz emitidos por la descarga parcial. El detector tiene un circuito atenuador de entrada que se conecta a la sonda para disminuir el nivel de la señal detectada hasta un nivel deseado. Se proporciona además un circuito de transformación para cambiar la señal detectada a una señal de frecuencia predeterminada sustancialmente libre de ruido y representativa de la magnitud de la señal de descarga
55 parcial detectada. Un circuito amplificador amplifica la señal a la frecuencia predeterminada y un circuito de salida genera las señales indicativas de la presencia y magnitud de la descarga parcial. Para determinar la localización de una descarga parcial junto a un cable o unión, la sonda se pasa suave y lentamente sobre el aislador y se observa cuidadosamente el medidor detector para ver dónde alcanzan un máximo las lecturas.

El documento EP 800652 se refiere a procedimientos y aparatos para localizar faltas incipientes en cables de distribución de energía eléctrica que incluye la aplicación de una tensión de excitación a una línea de potencia para producir un pulso de señal de descarga parcial en una falta a lo largo de la línea de potencia. La superficie de la línea de potencia se escanea con dos sensores separados a lo largo de la línea de potencia y dispuestos adyacentes a la superficie de la línea de potencia, para detectar el pulso de la señal de descarga parcial para producir pulsos detectados discretos. Estos pulsos detectados se combinan para producir una señal combinada que tiene un nivel de amplitud que alcanza un valor extremo cuando la falta se localiza de modo equidistante entre los sensores. Los sensores se mueven a lo largo de la línea de potencia hasta que se localiza la falta sustancialmente de modo equidistante entre los sensores tal como se indica por el nivel de amplitud extremo de la señal combinada.

El presente solicitante observó que estos últimos dos procedimientos requieren una evaluación cuantitativa y comparativa para asegurar cuándo es máximo el nivel de la amplitud de una señal. Más aún, el sensor de los últimos dos documentos rodea el cable que por lo tanto no puede ser ensayado cuando está enterrado.

El documento US 2009/0177420 divulga que, para detectar, localizar e interpretar una descarga parcial que tiene lugar en un lugar de descarga parcial a lo largo de un equipo eléctrico, se instalan dos sondas de medición y una sonda de sincronización a lo largo del equipo eléctrico. Las sondas de medición detectan pulsos que viajan en el equipo eléctrico mientras la sonda de sincronización detecta un ángulo de fase en el equipo eléctrico y es utilizable con finalidades de calibración. Una unidad de control recibe las señales detectadas por las sondas y las acondiciona. El procesamiento digital aplicado sobre las señales acondicionadas, lo que implica su correlación, distribución tiempo-frecuencia y una estimación del factor de forma, permite establecer una diagnosis que indica una detección de una descarga parcial y su localización a lo largo del equipo eléctrico. El procedimiento desvelado se refiere a la polaridad de las señales desde las dos sondas.

El documento US 2004/0204873 divulga un procedimiento para el análisis y/o supervisión del comportamiento ante descargas parciales de un medio de operación eléctrico, en particular en términos de su desarrollo a lo largo del tiempo. En este caso, los datos de descarga parcial apropiados se registran en matrices de estado del proceso, en las que, en cada caso, en un elemento de matriz de la matriz de estado del proceso, se representan la amplitud de una descarga parcial, su ángulo de fase y su frecuencia de aparición. Se realiza un análisis simplificado posible por el hecho de que, en un primer instante, se registra un estado en el proceso de descarga parcial en una primera matriz de estado del proceso y, en un momento posterior, se registra el estado del proceso de descarga parcial adicional en una matriz de estado del proceso adicional. A continuación, con la finalidad de análisis y/o supervisión, se comparan la primera y la segunda matrices de estado del proceso con ayuda de procedimientos de comparación y escalado.

El documento US 6809523 divulga un procedimiento y aparato para detección en línea de eventos de descarga parcial en un sistema de energía de c.a., en el que los pulsos electromagnéticos de alta frecuencia generados por los eventos de descarga parcial se detectan y analizan en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo para determinar el tipo y localización del evento de descarga parcial. Se examinan también la relación de fase entre los eventos de descarga parcial y la señal de potencia en línea para ayudar a indicar la gravedad de la anomalía de aislamiento que da lugar a los eventos de descarga parcial.

El presente Solicitante se enfrentó al problema técnico de proporcionar un procedimiento para localizar faltas incipientes que generan descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica, que sea preciso y simple.

El presente Solicitante halló que el problema anterior puede resolverse mediante la observación de la fase de una "punta" de un patrón de DP con respecto a la tensión de alimentación de CA, en que dicha fase tiende a cero cuando se aproxima la posición de la falta incipiente y tiende a 180° cuando se sobrepasa la posición de la falta incipiente.

En la presente invención y en las reivindicaciones adjuntas, la expresión "patrón de DP" indica un diagrama de pulsos eléctricos en un plano que representa la amplitud respecto a la fase con relación a la tensión de alimentación de CA del sistema de distribución de energía.

Realmente el presente Solicitante, durante una actividad de recogida de datos de DP, observó que el patrón de DP tiene al menos una "punta", es decir una concentración de pulsos eléctricos que tiene sustancialmente un mismo retardo de tiempo con respecto a la curva de tensión de la alimentación en CA transportada por el sistema. Mediante una investigación adicional, el presente Solicitante percibió que, sorprendentemente, la fase de esta punta cambia mientras cambia la distancia desde la falta incipiente que genera la DP, y es esencialmente nula en la localización de la falta incipiente. En particular, mientras se mueve hacia la falta incipiente, la fase de la punta se aproxima a cero, y mientras se mueve separándose de la falta incipiente, la fase se aproxima a 180°.

En consecuencia, en un aspecto la presente invención se refiere a un procedimiento de localización de faltas incipientes que generan descargas parciales en un sistema distribución de energía en CA, que comprende las etapas de:

- detectar una punta en un patrón de DP generado por dicho sistema;

- obtener la onda de tensión de la alimentación en CA en el sistema;
- detectar una fase de dicha punta con respecto a la tensión de la alimentación en CA;
- localizar una falta incipiente en donde dicha fase esté por debajo del umbral predeterminado.

5 Se observa que, en principio, la falta incipiente está en la posición en donde la fase de la punta con respecto a la tensión es nula. El umbral predeterminado se selecciona por lo tanto de modo que se obtenga una precisión de localización deseada, es decir una longitud razonable de la zona del sistema de distribución de energía para que sea físicamente inspeccionada y reparada o sustituida.

En la presente descripción y reivindicaciones, el término “fase” se usa para indicar la desviación en el tiempo del pico de una punta con respecto a la señal de tensión (el origen de la onda) de la alimentación en CA.

10 Preferentemente el procedimiento comprende la etapa de proporcionar una señal de referencia que es una señal sincrónica con, por ejemplo que tenga la misma frecuencia y que esté en fase con, la alimentación en CA.

El umbral predeterminado es preferentemente menor que o igual a 10° , más preferentemente menor que o igual a 5° .

15 La longitud de la zona en donde se localiza la falta incipiente (de aquí en adelante denominada también como “zona de localización”) es preferentemente menor de aproximadamente 2,5 m de largo, más preferentemente menor de 1 m. Por ejemplo, la zona de localización puede ser menor de aproximadamente 10 cm.

20 Ventajosamente, el procedimiento comprende la etapa de seleccionar una posición de detección de comienzo y la selección de al menos una posición de detección posterior en una primera dirección a lo largo del sistema de distribución de energía, es decir moviéndose a lo largo del sistema de distribución de energía en una primera dirección, siempre que la fase disminuya; y seleccionar al menos una segunda posición de detección posterior en una segunda dirección opuesta a la primera dirección (es decir invirtiendo la dirección de movimiento), si la fase se incrementa.

En particular, el procedimiento comprende las etapas iniciales de:

- seleccionar una primera posición;
- 25 - notar al menos una punta de la distribución de descargas parciales en dicha primera posición, teniendo dicha punta una primera fase;
- seleccionar una segunda posición como una posición que sigue a dicha primera posición en una primera dirección a lo largo del sistema de distribución de energía;
- notar al menos una punta en dicha segunda posición, que tiene una segunda fase;
- 30 - si la segunda fase es más pequeña que la primera fase, seleccionar una posición adicional que sigue a dicha segunda posición en la primera dirección a lo largo del sistema de distribución de energía; si la segunda fase es mayor que la primera fase seleccionar una posición adicional que precede a dicha segunda posición en la primera dirección a lo largo del sistema de distribución de energía.

35 Las puntas en la primera y segunda posiciones son debidas al mismo fenómeno físico vinculado a las DP en el sistema de distribución de energía.

En una realización el procedimiento comprende la etapa de disminuir la distancia entre posiciones consecutivas cuando disminuye la fase.

En otra realización el procedimiento comprende la etapa de disminuir la distancia entre posiciones consecutivas cuando se invierte la dirección a lo largo de la que se suceden posiciones sucesivas.

40 Preferentemente, la distancia entre posiciones consecutivas se selecciona inicialmente como aproximadamente 2 metros.

Preferentemente el procedimiento comprende una etapa preliminar de localizar aproximadamente la falta incipiente en una zona del sistema de distribución de energía mediante una técnica diferente, convencional, en particular mediante TDR, y en la que las posiciones caen dentro de dicha zona.

45 Preferentemente, el procedimiento de la invención comprende la etapa de proporcionar al menos uno, y más preferentemente una pluralidad de patrones de DP, comprendiendo dicha etapa detectar pulsos eléctricos posiblemente representativos de descargas parciales en cada posición de detección.

La detección tiene lugar preferentemente durante un tiempo de ejecución seleccionado de modo que detecte un número de pulsos eléctricos suficientes para que el patrón de DP tenga al menos una punta bien reconocible.

El tiempo de detección es preferentemente de desde 10 a 60 segundos, preferentemente desde 15 a 30 segundos.

Más preferentemente el procedimiento comprende la etapa de detectar pulsos eléctricos en cada posición a través de un aparato, incluso más preferentemente a través de un aparato portátil.

5 Más preferentemente la etapa de detectar pulsos eléctricos en cada posición se lleva a cabo a través de un sensor sin contacto.

El aparato portátil está adaptado para obtener una señal de sincronismo con la alimentación del sistema distribución de energía, preferentemente a través de una sonda sin contacto.

En una realización el procedimiento de la invención se lleva a cabo en un sistema de distribución de energía en activo.

10 En otra realización el procedimiento de la invención se lleva a cabo bajo condiciones de ensayo, por ejemplo proporcionando una tensión de ensayo al cable eléctrico para, por ejemplo, realizar un control de calidad durante la puesta en servicio del cable.

El análisis de las descargas parciales y la anotación de la fase se realizan preferentemente por un operario humano.

15 Sin embargo, las etapas anteriores también pueden automatizarse, por ejemplo proporcionando un módulo de hardware, software o firmware adaptado para identificar una punta y almacenar y/o producir la salida de un valor de fase asociado con ella; y/o para evaluar una variación de la fase entre posiciones de medición; y/o para indicar en qué dirección debería moverse el operario basándose en dicha evaluación.

El módulo anterior se adapta preferentemente para contar los puntos en cada valor de fase o en cada intervalo estrecho de fases, y hallar el máximo de las cuentas.

20 Así, en otro aspecto de la invención se refiere a un aparato para localizar faltas incipientes que generan descargas parciales en un sistema de distribución de energía, que comprende al menos un sensor de pulsos eléctricos (posiblemente representativos de descargas parciales), un medio para obtener una señal de sincronismo con una alimentación del sistema distribución de energía, y módulos adaptados para llevar a cabo las etapas del procedimiento anterior.

25 Preferentemente el medio para obtener una señal de sincronismo es una sonda sin contacto.

En otro aspecto la presente invención se refiere a un procedimiento para localizar faltas incipientes que generen descargas parciales en un sistema de distribución de energía de CA, que comprende las etapas de:

- proporcionar una pluralidad de patrones de DP, cada uno en una pluralidad correspondiente de posiciones a lo largo del sistema de distribución de energía,
- 30 - detectar una fase de una punta de cada patrón de DP con respecto a la tensión de la alimentación de CA; y
- localizar una falta incipiente del sistema distribución de energía acerca de la posición en donde el valor absoluto de la fase es el mínimo.

35 Las características y ventajas de la presente invención serán evidentes mediante la descripción detallada que sigue de algunas realizaciones ejemplares de las mismas, proporcionadas meramente a modo de ejemplos no limitativos, descripción que se dirigirá haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la FIG. 1 muestra un diagrama de flujo de una realización del procedimiento de la invención;
- la FIG. 2 muestra un diagrama de flujo de una realización de una etapa del procedimiento de la FIG. 1;
- la FIG. 3 muestra en diagrama un sistema de distribución de energía y una realización del procedimiento de la invención aplicado al mismo;
- 40 - las FIGS. 4 y 5 muestran datos experimentales obtenidos con un procedimiento conocido;
- las FIGS. 6 a 15 muestran datos experimentales obtenidos con el procedimiento de la invención; y
- la FIG. 16 es un gráfico que muestra resultados experimentales.

45 Cuando se supervisa un sistema de alimentación en CA (por ejemplo un cable), para detectar posibles señales electromagnéticas correspondientes a descargas parciales, se pueden detectar pulsos eléctricos correspondientes a puntos en un diagrama de amplitud con respecto a fase tal como los que se muestran en las FIGS. 4 a 15. El patrón de dichos pulsos se indica con la referencia pC en la FIG. 6 (la misma referencia se aplica también en las FIGS. 7-15 y 4-5).

Las FIGS. 4-15 también muestran la onda de la señal de tensión (kV en la FIG. 6, pero se aplica también la misma referencia en las FIGS. 7-15 y 4-5) de la alimentación en CA transportada por el sistema en el que se detectan los pulsos.

5 Cuando se genera ciertos pulsos en el patrón de DP con un retardo de tiempo (fase φ) con respecto al origen de la onda de señal de tensión, se concentran y dan origen a la "punta" 21 detectable en el gráfico. Dicha punta puede acompañarse por una punta 22 doble separada en 180° en el patrón de DP. En general, la punta 21 es más evidente que la punta 22 doble.

10 La FIG. 1 muestra un diagrama de flujo de una realización del procedimiento 100 de la invención para localización de faltas incipientes que generan descargas parciales en un sistema 10 de distribución de energía, que se muestra en diagrama en la FIG. 3. En la FIG. 3 el sistema 10 de distribución de energía se muestra en una forma de un cable, y puede denominarse como cable en el presente documento a continuación por razones de brevedad. Debería entenderse sin embargo que el sistema 10 de distribución de energía puede ser o incluir cualquier componente o equipo eléctrico o combinación de los mismos, tales como uniones, terminaciones, aislantes etc. Más aún, debería entenderse que aunque se muestra el cable 10 como rectilíneo en la FIG. 3, puede tener y en general
15 tendrá, cualquier progresión que se aparte de una progresión rectilínea, incluso una progresión tridimensional.

En la etapa opcional 110 del procedimiento 100, se realiza una localización preliminar, grosera de la falta 20 incipiente de acuerdo con cualquier técnica convencional, tal como por ejemplo una técnica TDR. En esta etapa, se identifica una parte de la longitud L1 del sistema 10 de distribución de energía como contenedora de la falta 20 incipiente. El tamaño de la longitud L1 depende de la precisión de la técnica usada, pero es en general
20 comparativamente grande, del orden de al menos decenas de metros, con respecto a la zona de longitud L2 que se pretende que identifique el procedimiento de la invención como contenedora de la falta 20 incipiente.

Cuando se realiza la etapa 110 opcional, las etapas posteriores se llevan a cabo sobre la zona aproximadamente identificada de longitud L1 del cable 10; en otra forma las etapas 120-170 expuestas en la FIG. 1 se llevan a cabo sobre toda la longitud del sistema de transmisión de energía que se está examinando.

25 Para llevar a cabo el procedimiento de la invención, se alimenta el cable 10 con una alimentación de CA. Esta puede ser la alimentación de la red cuando el procedimiento de la invención se lleva a cabo sobre un sistema de distribución de energía "en activo". En caso de que el procedimiento se lleve a cabo en laboratorio o en fábrica, por ejemplo como un ensayo de calidad, se proporciona apropiadamente una alimentación de CA, y la pantalla exterior del cable se conecta a masa o tierra para simular las condiciones cuando el cable está en uso.

30 Para llevar a cabo el procedimiento de la invención puede usarse un aparato 30 para detectar descargas parciales. Un aparato 30 adecuado es por ejemplo el divulgado en el documento WO 2009/150627 anteriormente mencionado.

El aparato 30 comprende al menos un sensor capaz de detectar pulsos eléctricos, medios para generar una señal de referencia —denominada como señal de sincronismo en lo que sigue del presente documento—, y medios de salida.

35 Dicha señal de sincronismo es una señal sinusoidal que tienen la misma frecuencia que, y esta fase con, la alimentación de CA.

El sensor del aparato 30 es preferentemente un sensor de alta frecuencia (AF), en el intervalo de algunos megahercios o de algunas decenas de megahercios, debido a que es bien conocido que los pulsos eléctricos asociados con descargas parciales tienen una alta frecuencia.

40 Los medios de salida del aparato 30 están adaptados para producir la salida de una amplitud y una fase de cada pulso eléctrico detectado, preferentemente como una serie de puntos en un plano de amplitud respecto a fase de una pantalla. Más específicamente, la amplitud de cada pulso es la máxima amplitud del mismo, y la fase de cada pulso es la fase de la señal de sincronismo cuando el pulso tiene dicha amplitud máxima. Dicha salida de amplitud respecto a fase del pulso se denomina brevemente como un "patrón de DP" de aquí en adelante en el presente documento, incluso aunque naturalmente representará solo descargas parciales cuando realmente haya descargas
45 parciales.

Los puntos de un conjunto, es decir los puntos que forman un patrón de DP dado, pueden recogerse durante un tiempo de adquisición dado, y/o en un número dado, y/o hasta que sea reconocible la punta anteriormente descrita del patrón de DP. El aparato 30 comprende preferentemente medios de reinicio, tal como un pulsador o una versión en software del mismo, para limpiar la pantalla y comenzar una nueva recogida de puntos.

50 El aparato 30 puede prever la salida visualmente de otras cantidades y datos, y puede comprender también medios para producir la salida de una señal de audio, junto a medios para producir la salida de datos legibles por ordenador, por ejemplo para conexión a otro aparato electrónico, a un periférico tal como una memoria externa o una impresora, etc.

55 El aparato 30 puede comprender además medios de memoria para las cantidades anteriores, medios de acondicionamiento de señal y procesamiento y/o medios de entrada como es bien conocido en la técnica. Solo como

- un ejemplo, los pulsos eléctricos detectados por el sensor pueden amplificarse y/o filtrarse y/o compararse con un umbral o enviar solamente puntos significativos etc. Pueden proporcionarse medios de entrada para controlar la operación del aparato, tales como para iniciar y detener la detección de pulsos eléctricos, para reponer el patrón de DP como se ha dicho, para cambiar parámetros relevantes, tal como la ganancia del amplificador, nivel de activación etc., así como para fijar preferencias del usuario. Los medios de entrada pueden controlarse por un usuario o mediante un ordenador o medio legible por ordenador.
- El sensor de pulsos eléctricos, y cualquier sonda del medio de generación de sincronismo del aparato 30, son preferentemente de tipo sin contacto, por ejemplo de tipo inductivo o capacitivo, de modo que se minimice el tiempo de configuración del aparato 30 y se incremente la seguridad para un operario humano. Incluso más preferentemente, el aparato 30 es capaz de detectar descargas parciales a través de un medio distinto del aire, de modo que sea adecuado para realizar el procedimiento sobre cables subterráneos en activo.
- Un intervalo adecuado de distancias de operación transversalmente del sistema de distribución de energía o cable 10 se considera que es de 100 cm o inferior. Realmente, debería observarse que el incremento en la distancia de operación ocasiona una disminución en la precisión de la posición a lo largo del sistema de distribución de energía y por lo tanto una precisión disminuida en la localización de la falta incipiente. Más aún, cuando se incrementa la distancia, disminuye la fiabilidad del sensor.
- Los diversos componentes del aparato 30 pueden alojarse en una o más carcasas, y pueden conectarse entre sí por medio de conexiones por cable o inalámbricas, por ejemplo en una red Wi-Fi. Todo el aparato 30, o al menos su sensor, es preferentemente de tipo portátil.
- Volviendo a las FIGS. 1 y 3, la realización divulgada del procedimiento de la invención es un procedimiento recursivo.
- En la etapa 120, se selecciona una primera posición 11 a lo largo de la zona de longitud L1 del cable 10 de la FIG. 3. Despreciando la posición acerca del cable 10, es decir en un plano transversal al cable 10, se supone un sistema de referencia que comprende un eje x extendido a lo largo del cable 10 con el origen del eje x en un extremo —el extremo izquierdo en la FIG. 3— de la zona de longitud L1. Se entenderá que en caso de un sistema 10 de transmisión de energía no rectilíneo, el sistema de referencia será un eje curvilíneo o cualquier otro sistema de referencia adecuado.
- La primera posición 11 tiene una coordenada x_{11} en el sistema de referencia. La primera posición 11 se selecciona preferentemente en el primer extremo de la zona de longitud L1 del cable 10 que se está examinando ($x_{11} = 0$), o próxima al mismo, como se muestra en la FIG. 3.
- En la etapa 130, el sensor del aparato 30 de la FIG. 3 se acopla (a través de un acoplamiento por cable o inalámbrico como se ha dicho anteriormente) con el cable 10 en la primera posición 11, y se detecta una pluralidad adecuada de pulsos eléctricos en dicha posición 11 de modo que se obtenga un primer patrón de DP en la primera posición 11.
- En la etapa 140, se reconoce o nota una característica del primer patrón de DP, y se nota una primera fase φ_{11} relacionada con el mismo. Más específicamente, la característica considerada es una punta —es decir, una concentración de puntos que tienen casi la misma fase y un intervalo de valores de amplitud— que, como se divulga en la parte introductoria de la presente solicitud, aparece en el patrón de DP en presencia de una falta 20 incipiente a lo largo de la zona de longitud L1 del sistema 10 de distribución de energía.
- Como ya se ha dicho y como se detallará en lo que sigue, dicha punta puede acompañarse por una punta doble separada en 180° en el patrón de DP. Un ejemplo de un patrón que tiene dicha punta 21 y la punta 22 doble puede verse en las FIGS. 6-15, comentadas a continuación en la sección "Resultado experimental".
- Debería observarse que la etapa 140 se lleva a cabo preferentemente por un operario humano. En este caso, la etapa 140 implica considerar el patrón de DP con un cierto grado de cuidado, pero no requiere necesariamente un análisis cuantitativo.
- Puede proporcionarse también un módulo de hardware, software o firmware que está adaptado para identificar una punta y almacenar y/o producir la salida hacia un operario de una fase asociada con ella. La identificación de la punta puede llevarse a cabo por ejemplo mediante la cuenta de las puntas en cada fase o en cada intervalo estrecho de fases, y hallando el máximo de las cuentas.
- En la etapa 150, la fase φ_{11} se compara con un umbral φ_0 predeterminado. En el caso de que ya en esta ejecución en la primera posición la fase φ_{11} sea más pequeña que o igual al umbral φ_0 predeterminado, en otras palabras si la punta está muy cerca de 0° , en la etapa 160 la falta 20 incipiente se localiza como estando en la primera posición 11 o en estrecha proximidad a la misma, en otras palabras en una zona de longitud L2 alrededor de la primera posición 11, y el procedimiento finaliza. Este no es el caso mostrado en la FIG. 3.
- En el caso de que la etapa 150 de comparación revele que el valor de la fase φ_{11} es mayor que el umbral φ_0

predeterminado, es decir esté lejos de 0° , se lleva a cabo una etapa 170 de selección de una dirección a lo largo del sistema 10 de distribución de energía. En la primera ejecución de la etapa 160, y si la primera posición se ha seleccionado como próxima a un primer extremo de la zona de longitud L1 del cable 10 que está siendo examinado como se detalló anteriormente ($x_{11} \cong 0$), se selecciona preferentemente la dirección como la que va hacia el extremo opuesto de la zona de longitud L1, concretamente la de x creciente. Debería señalarse sin embargo que en la primera ejecución de la etapa 170, la dirección podría seleccionarse también arbitrariamente como la de x creciente o de x decreciente. En ejecuciones adicionales de la etapa 170, se selecciona la dirección aplicando el criterio analizado a continuación.

Se retorna entonces de la etapa 120, y en esta ejecución adicional de la misma (segunda, a continuación tercera, etc.), se selecciona una posición adicional (segunda, a continuación tercera posición 12, 13, etc.) que sigue a la posición previa (primera, a continuación segunda posición 11, 12, etc.) en la dirección seleccionada a lo largo del sistema 10 de distribución de energía. Así, bajo la suposición anterior, la segunda posición 12 tiene una coordenada $x_{12} > x_{11}$.

Las etapas 130, 140, 150 se repiten entonces en esta posición adicional 12, 13,.... De ese modo, en la etapa 130 el sensor del aparato 30 se acopla con el cable 10 en la posición adicional 12, 13,...., y se detecta una pluralidad adecuada de pulsos eléctricos en dicha posición de modo que se obtenga un patrón de DP adicional (segundo, a continuación tercero, etc.) en la posición adicional 12, 13,.... En la etapa 140, se reconoce una punta como una característica del patrón de DP adicional, y se anota una fase adicional (segunda, a continuación tercera fase φ_{12} , φ_{13} , etc.) relativa a la misma. En la etapa 150, la fase φ_{12} , φ_{13} ,... adicional se compara con el umbral φ_0 predeterminado. Si la fase φ_{12} , φ_{13} ,... adicional es más pequeña que o igual al umbral φ_0 predeterminado, se localiza la falta 20 incipiente como que está en la posición 12, 13,.... adicional, o en estrecha proximidad a la misma, en otras palabras en una zona de la longitud L2 alrededor de la posición adicional 12, 13,.... y se finaliza el procedimiento. Este no es el caso mostrado en la FIG. 3.

En el caso de que la comparación de la etapa 150 revele que los valores de fase φ_{12} , φ_{13} ,... adicionales son menores que un umbral φ_0 predeterminado, entonces en la etapa 170 de selección de una dirección a lo largo del sistema de distribución de energía, la fase φ_{12} , φ_{13} ,... adicional se compara con la fase φ_{11} , φ_{12} ,... previa (primera, a continuación segunda, etc.). Si la comparación revela que la fase está disminuyendo, es decir si $\varphi_{12} < \varphi_{11}$, $\varphi_{13} < \varphi_{12}$, etc., entonces se mantiene la dirección previamente seleccionada. Si a la inversa la comparación revela que la fase está creciendo, o permanece sin cambios, es decir si $\varphi_{12} \geq \varphi_{11}$, $\varphi_{13} \geq \varphi_{12}$, etc. entonces se selecciona la dirección opuesta a la dirección previamente seleccionada.

La FIG. 2 es un diagrama de flujo de una realización ejemplar de la etapa 170 anteriormente descrita. En la etapa 171 se comprueba si $\varphi_i \leq \varphi_{i-1}$. En caso afirmativo, se comprueba en la etapa 172 si la coordenada x_i de la posición adicional (es decir la posición actual) es mayor que la coordenada x_{i-1} de la posición previa. En caso afirmativo, se selecciona en la etapa 173 la dirección de movimiento de modo que la siguiente posición tenga una coordenada x_{i+1} mayor que la coordenada x_i de la posición actual; en caso negativo, en la etapa 174 se selecciona la dirección de movimiento de modo que la siguiente posición tenga una coordenada x_{i+1} más pequeña que la coordenada x_i de la posición actual.

Si la etapa 171 tiene un resultado negativo, es decir si $\varphi_i > \varphi_{i-1}$, en la etapa 175 se comprueba de nuevo si la coordenada x_i de la posición adicional (es decir la posición actual) es mayor que la coordenada x_{i-1} de la posición previa. En caso afirmativo, se selecciona en la etapa 176 la dirección de movimiento de modo que la siguiente posición tenga una coordenada x_{i+1} más pequeña que la coordenada x_i de la posición actual; en caso negativo, en la etapa 177 se selecciona la dirección de movimiento de modo que la siguiente posición tenga una coordenada x_{i+1} mayor que la coordenada x_i de la posición actual.

En la FIG. 3, se muestran las posiciones 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 para el caso de ejemplo en el que $\varphi_{12} < \varphi_{11}$, $\varphi_{13} < \varphi_{12}$, $\varphi_{14} \geq \varphi_{13}$, $\varphi_{15} < \varphi_{14}$, $\varphi_{16} \geq \varphi_{15}$, de modo que la dirección a lo largo del cable 10 se invierte dos veces.

Más aún, la distancia entre posiciones consecutivamente seleccionadas se reduce preferentemente después de la inversión de la dirección, como se muestra esquemáticamente en la FIG. 3 en la inversión de la dirección en la posición 14, de modo que las posiciones se convierten en más densas o pobladas cuando se aproximan a y/o sobrepasan la falta 20 incipiente.

Se ha de remarcar que el algoritmo anteriormente detallado implementa los criterios de:

- continuar moviéndose a lo largo del sistema 10 de distribución de energía en la misma dirección siempre que la fase de la punta del patrón de DP esté disminuyendo, e
- invertir la dirección cuando se incrementa la fase.

En la proximidad de la falta 20 incipiente, estos criterios pueden suceder realmente para provocar un "error", es decir ir separándose de la falta 20 incipiente en lugar de aproximarse a ella. Realmente, cuando disminuye la fase con respecto a la posición previa, tal como desde la posición 14 a la posición 15 de la FIG. 2, la regla anterior supone que la posición 15 actual está aún sobre el mismo lado de la falta 20 incipiente que la posición 14 previa, mientras

que realmente se ha sobrepasado la falta 20 incipiente. El error llega a corregirse cuando, yendo desde la posición 15 a la posición 16, se descubre que se incrementa la desviación de fase, y se invierte en consecuencia la dirección.

5 Para tener en cuenta este "error", el procedimiento de la invención puede prever descartar la última posición cuando se incrementa la fase después de una disminución, en otras palabras para pretender estar aún en la última posición antes de aplicar los criterios de invertir la dirección y acortar la distancia entre posiciones de medición. Así, en la FIG. 3 desde la posición 16 a la posición 17 se muestra una distancia mayor que la distancia desde la posición 15 a la posición 16, a pesar del hecho de que en la posición 16 ocurre una inversión en la dirección. Esto es debido a que la posición 17 está realmente a una distancia de la posición 15 más pequeña que la distancia previamente aplicada. Se entenderá fácilmente sin embargo que incluso sin este criterio adicional de descartar la última posición cuando se incrementa la fase después de una disminución, el "error" se recupera pronto, llegando a la posición correcta 15 por ejemplo en dos etapas en lugar de solo en una.

De ese modo, estos errores son solo temporales, y el procedimiento más pronto o más tarde se auto-recuperará, en otras palabras mediante la aplicación de los criterios anteriores, junto con una selección apropiada de las distancias entre posiciones consecutivas, las posiciones son inherentemente convergentes hacia la falta 20 incipiente.

15 Debería señalarse que pueden usarse criterios adicionales para seleccionar las posiciones, es decir la dirección a lo largo de la que siguen una a otra y/o su distancia mutua, y/o para decidir cuándo detener la ejecución del procedimiento. Por ejemplo, pueden tenerse en cuenta las dos o más fases previas en lugar de solo una previa en la etapa 171, y/o la magnitud de las fases, o el incremento o disminución en fases consecutivas. Y, el umbral φ_0 puede adaptarse a la tasa de cambio de la fase de la punta del patrón de DP a lo largo del cable 10, es decir su "velocidad" de movimiento sobre la pantalla en comparación con la velocidad de movimiento a lo largo del cable 10. El criterio aquí debería ser el de identificar una zona de cable de longitud L2 que contiene la falta 20 incipiente que tenga un tamaño que permita una inspección global de una forma efectiva en tiempo y en coste.

De ese modo, especialmente cuando el procedimiento de la invención se realiza por un operario humano, se quiere indicar que el algoritmo anteriormente detallado sirve como una guía, pero el operario podría usar su propio juicio.

25 El umbral φ_0 predeterminado se selecciona preferentemente como suficientemente pequeño, por ejemplo de aproximadamente 5° . La zona de longitud L2 es, por ejemplo, de aproximadamente 2 metros de larga, pero puede ser ventajosamente mucho más corta que eso, incluso de unos pocos centímetros.

30 Como otro ejemplo, en lugar de disminuir la distancia entre posiciones consecutivas después de la inversión de la dirección, otro criterio podría ser el de alternar posiciones estrechamente separadas con posiciones más ampliamente separadas. Al hacer esto, la desviación de la fase entre posiciones estrechamente separadas indicará sobre qué lado está el defecto, evitando el riesgo anterior de error, mientras que posiciones ampliamente separadas pueden acelerar el procedimiento cuando el valor de la fase es aún grande.

35 Debería observarse que, aunque el procedimiento de la invención se realiza preferentemente en el momento de ejecución de la detección de pulsos eléctricos como se ha divulgado, puede realizarse también en momentos diferentes, recogiendo primero una pluralidad de patrones de DP en una pluralidad correspondiente de posiciones a lo largo del cable 10, y analizando a continuación la pluralidad de patrones de DP para localizar la falta 20 incipiente en o cerca de la posición correspondiente al patrón de DP que tiene una punta en la fase más pequeña.

40 El módulo de hardware, software o firmware anteriormente descrito puede adaptarse también para evaluar la variación de fase entre posiciones de medición, concretamente si la fase está creciendo o decreciendo, y para indicar en qué dirección debería moverse el operario basándose en dicha evaluación, por ejemplo mediante una salida de audio y/o visual adecuada.

45 La señal de sincronismo puede ser una señal sinusoidal que tiene la misma frecuencia, pero un desplazamiento de fase predefinido con la alimentación de CA, suponiendo que dicha desviación de fase es conocida y tenida en cuenta adecuadamente cuando se considera la fase del pico del patrón de DP. Más específicamente, la punta del patrón de DP se espera que se aproxime correspondientemente a una desviación de fase, en lugar de cero grados, cuando se aproxima a la falta. Puede deducirse sin embargo una señal de referencia a partir de la señal de sincronismo para tener en cuenta la desviación de fase predefinida, de modo que la punta del patrón de DP con respecto a esta señal de referencia se aproximará a cero grados.

Resultados experimentales

50 Las FIGS. 4-5 y 6 a 15 muestran los resultados experimentales basándose en, respectivamente, un procedimiento conocido, aproximado y en un procedimiento de acuerdo con la invención, aplicado a un cable de alta tensión bajo condiciones de ensayo.

Se sometió una bobina de cable de alta tensión a control de calidad.

El control de calidad detectó una actividad de descarga parcial de una magnitud de aproximadamente 15 pC.

5 En una etapa preliminar, se usó una técnica de reflectometría para prelocalizar el punto de actividad de DP. Más específicamente, usando una velocidad de propagación de 165 m/μs, se halló que una longitud eléctrica del cable en la bobina era de 1046 m, lo que coincidía con la longitud física de la bobina. Mediante la técnica de reflectometría, se localizó una falta incipiente a 166 m desde el extremo posterior de la bobina del cable, en donde la medición tuvo lugar —es decir, 880 m desde el lado opuesto, libre, del cable—.

Una medición adicional mediante la técnica de reflectometría, llevada a cabo en el extremo interior de la bobina del cable, proporcionó una longitud eléctrica del cable de aproximadamente 1030 m, y localizó la falta incipiente a 863 m desde la misma, es decir a 167 m desde el extremo exterior de la bobina del cable.

10 Se observa que las dos mediciones de longitud de la bobina difirieron en 16 m, de modo que se esperó una imprecisión similar en la localización de la falta incipiente.

15 El cable se desenrolló desde la bobina y se bobinó simultáneamente sobre un tambor, de modo que el extremo exterior de la bobina de cable original se convirtió en el extremo interior de la segunda bobina, a la que se hará referencia posteriormente. El cable se cortó a 172 m desde el extremo interior, de modo que se esperó que la falta estuviera en una zona de longitud L1, de aproximadamente 12 m, cerca del nuevo extremo libre, al que se hace referencia posteriormente en el presente documento como el extremo cercano (y realmente a aproximadamente 5-6 m desde el extremo cercano de acuerdo de acuerdo con la técnica de reflectometría). Dicha zona de aproximadamente 12 metros de longitud se dejó sin bobinar en el tambor.

20 La zona no bobinada de longitud L1 del cable se sometió a continuación al procedimiento de la invención, para localizar con precisión la falta incipiente que generó descargas parciales en donde la fase de la punta del patrón de DP estaba cerca de 0°.

La pantalla del cable se conectó a tierra en ambos extremos del cable, de modo que se simularan las condiciones de instalación, y se conectó una alimentación de 36 kV en el extremo libre de la misma. El extremo opuesto del cable, es decir el extremo interior de la segunda bobina, se denomina como el extremo lejano.

25 Se proporcionaron dos aparatos modelo PryPAD fabricados por Prysmian S.p.A., Milán, Italia, que son capaces de detectar descargas parciales y proporcionar la señal de sincronismo. Cada aparato se proporcionó con un sensor, usando uno de los aparatos una conexión con cable a un PC, y usando el otro una conexión inalámbrica al PC.

30 La FIG. 4 muestra el patrón de DP en el extremo lejano, es decir el medidor 172 en un sistema de coordenadas que tiene su origen en el extremo cercano, al que se hará referencia en el presente documento a continuación. La FIG. 5 muestra el patrón de DP en el extremo cercano del cable, es decir en el medidor 0. Se detectaron los patrones de pulso eléctrico respecto a fase, es decir los patrones de DP.

En ambos casos, puede reconocerse fácilmente por los expertos en la materia la actividad de DP (pero no la localización), a partir del patrón típico de pulsos eléctricos, lo que confirmó que había una falta incipiente a lo largo del cable.

35 La posición de comienzo del procedimiento de la invención se seleccionó en una posición justamente fuera del tambor, es decir aproximadamente 12 metros en el sistema de referencia anterior. La FIG. 6 muestra el patrón pC de DP en esta posición de comienzo, obtenida con el aparato inalámbrico. Ha de observarse que este patrón pC de DP a lo largo del cable difiere sustancialmente del tomado en los extremos del cable, tanto en la distribución de fase como en la distribución de amplitud. Es evidente también que el patrón de DP tiene una punta 21 y una punta doble 22. Con referencia a la onda kV de la señal de tensión, la punta 21 tiene una fase ϕ de aproximadamente 123°. La punta 22 doble tiene una fase desplazada en aproximadamente 180° con respecto a la fase ϕ de la punta 21.

40 La presencia de la punta 22 doble probó que las puntas no eran debidas a ruido u otras causas, sino realmente debidas a descargas parciales en una falta incipiente.

Aunque no mostrado, las referencias pC y kV se aplican también a la FIG. 7-15 y las FIGS. 4-5.

45 Los sensores se movieron a continuación en aproximadamente 1 metro hacia el extremo cercano, de modo que se seleccionó una segunda posición del procedimiento de la invención para que estuviera en aproximadamente el metro 11. La FIG. 7 muestra el patrón de DP relacionado con el sensor cableado. Las puntas 21, 22 pueden reconocerse de nuevo fácilmente, y la punta 21 tiene una fase ϕ de aproximadamente 80°, es decir la fase disminuyó en aproximadamente 40°.

50 Los sensores se movieron de nuevo en aproximadamente 1 m hacia el extremo cercano, de modo que se seleccionó una tercera posición del procedimiento de la invención para que estuviera en aproximadamente el metro 10. La FIG. 8 muestra el patrón de DP relacionado con el sensor cableado. Las puntas 21, 22 pueden reconocerse de nuevo fácilmente, y la punta 21 tiene una fase ϕ de aproximadamente 34°, es decir la fase disminuyó en aproximadamente 45°.

Continuando moviendo los sensores, se detectaron pulsos eléctricos en otras posiciones separadas en 1 metro hacia el extremo cercano. Las FIGS. 9 a 15 muestran los patrones correspondientes de pulsos eléctricos respecto a fase, o patrones de DP. Se observa que cada patrón muestra un par de puntas 21, 22. La fase, con respecto a la señal de sincronización, de la primera punta 21 en cada posición viene dada en la tabla que sigue. Se proporcionan una representación gráfica de los valores en la FIG. 16.

Tabla

Posición desde el extremo cercano (metros)	Fase (grados) respecto a sincronismo
12	123
11	80
10	34
9	15
8	0
7	0
6	19
5	95
4	142
3	152

Se observa que la fase disminuyó inicialmente hacia 0°, y la punta 21 está muy próxima 0° en las posiciones en 8 y 7 m (correspondientes a las FIGS. 10 y 11, respectivamente), y en la última posición aparecen otras características. En particular, la FIG. 11 muestra el patrón de DP en una posición en el metro 7. Se observa que se asemeja más cercanamente a los patrones que se correlacionan típicamente con la actividad de DP, tal como el de las FIGS. 4 y 5. En cualquier caso, puede reconocerse aún la punta 21 a 0° de acuerdo con la invención.

Para volver a comprobar que la falta incipiente estaba apropiadamente localizada, se movieron los sensores en la misma dirección, es decir de nuevo hacia el extremo cercano, a las posiciones en los metros 6, 5, 4 y 3. Las FIGS. 12 a 15 muestran el patrón de DP relacionado con el sensor cableado. Las puntas 21 y las puntas 22 dobles pueden reconocerse de nuevo fácilmente, y la punta 21 tiene una fase creciente, de aproximadamente 19°, 95°, 142°, 152°, respectivamente. Esto probó que la falta incipiente se había sobrepasado, y se localizada en aproximadamente la posición entre 8 y 7 metros.

Se adquirieron de nuevo pulsos eléctricos a distancias más cortas moviéndose alrededor de esa posición, y los patrones de DP confirmaron los criterios anteriores, de que las puntas se mueven hacia la fase 0° cuando se aproxima a la falta incipiente y se mueve hacia la fase 180° cuando se separa de la falta incipiente.

Se cortó a continuación una corta zona de longitud L2 de cable a una distancia desde 5,75 metros a 8,25 metros desde el extremo cercano (de aproximadamente 2,5 metros de largo) para incluir los puntos que muestran la punta 21 muy próxima a 0°. El aspecto de las características adicionales explicadas anteriormente a 7 metros (como en la FIG. 11) dio una pista acerca de la posibilidad de hallar un defecto más cerca de 7 metros que de 8 metros desde el extremo cercano.

La zona cortada de longitud L2 = 2,5 m de cable se inspeccionó a continuación visualmente y se halló un defecto a aproximadamente 7,05 m, es decir 5 cm desde el metro 7, es decir en la posición en la que se había conjeturado con el procedimiento de la invención. El defecto consistió en una burbuja de gas de 3 mm de diámetro entre el aislante y la capa semiconductor externa del cable.

Se recuerda que la técnica de reflectometría indicó el defecto en 166-167 m desde el extremo interior de la segunda bobina, es decir en el metro 5-6 en el sistema de coordenadas anterior. Por ello, la técnica de reflectometría tuvo una imprecisión de 1-2 m sobre esta cantidad de longitud de cable.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de localización de faltas incipientes que generan descargas parciales en un sistema (10) de distribución de energía en CA que comprende las etapas de:
 - detectar (140) al menos una punta (21) en un patrón (pC) de DP generado por dicho sistema (10);
 - obtener (140) la onda de tensión (kV) de la alimentación en CA en el sistema;
 - detectar (140) una fase (φ) de dicha punta (21) con respecto a la tensión (kV) de la alimentación en CA;
 - localizar (160) una falta (20) incipiente en donde dicha fase (φ) esté por debajo del umbral (φ_0) predeterminado.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el umbral (φ_0) predeterminado es menor que o igual a 10° .
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 en el que el umbral (φ_0) predeterminado es menor que o igual a 5° .
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 en el que se localiza una falta incipiente en una zona (L2) del sistema de distribución de energía de longitud más corta que 2,5 m.
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 en el que se localiza una falta incipiente en una zona (L2) del sistema de distribución de energía de longitud más corta que 1 m.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende una etapa de seleccionar una posición de detección de comienzo y seleccionar (173, 174, 120) al menos una posición de detección posterior en una primera dirección a lo largo del sistema de distribución de energía, siempre que la fase disminuya; y seleccionar (176, 177, 120) al menos una segunda posición de detección posterior en una segunda dirección opuesta a la primera dirección, si la fase se incrementa.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6 que comprende una etapa de disminuir una distancia entre posiciones consecutivas cuando disminuye la fase.
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6 que comprende una etapa de disminuir una distancia entre posiciones consecutivas cuando se invierte la dirección a lo largo de la que se suceden posiciones sucesivas.
9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende una etapa (110) preliminar para localizar aproximadamente la falta incipiente en una zona del sistema de distribución de energía mediante una técnica convencional
10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende la etapa de proporcionar una pluralidad de patrones de DP, comprendiendo dicha etapa detectar (130) pulsos eléctricos posiblemente representativos de descargas parciales en cada posición de detección.
11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la etapa (130) de detección dura un tiempo de ejecución seleccionado de desde 10 a 60 segundos.
12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la etapa (130) de detección dura un tiempo de ejecución seleccionado de desde 15 a 30 segundos.
13. Un aparato (30) para localizar faltas (20) incipientes que generan descargas parciales en un sistema (10) de distribución de energía en CA, que comprende al menos un sensor de pulsos eléctricos, medios para obtener una señal de sincronismo con una alimentación del sistema de distribución de energía, y módulos adaptados para llevar a cabo las etapas del procedimiento de la reivindicación 1.
14. El aparato (30) de acuerdo con la reivindicación 13 en el que el medio para obtener una señal de sincronismo es una sonda sin contacto.

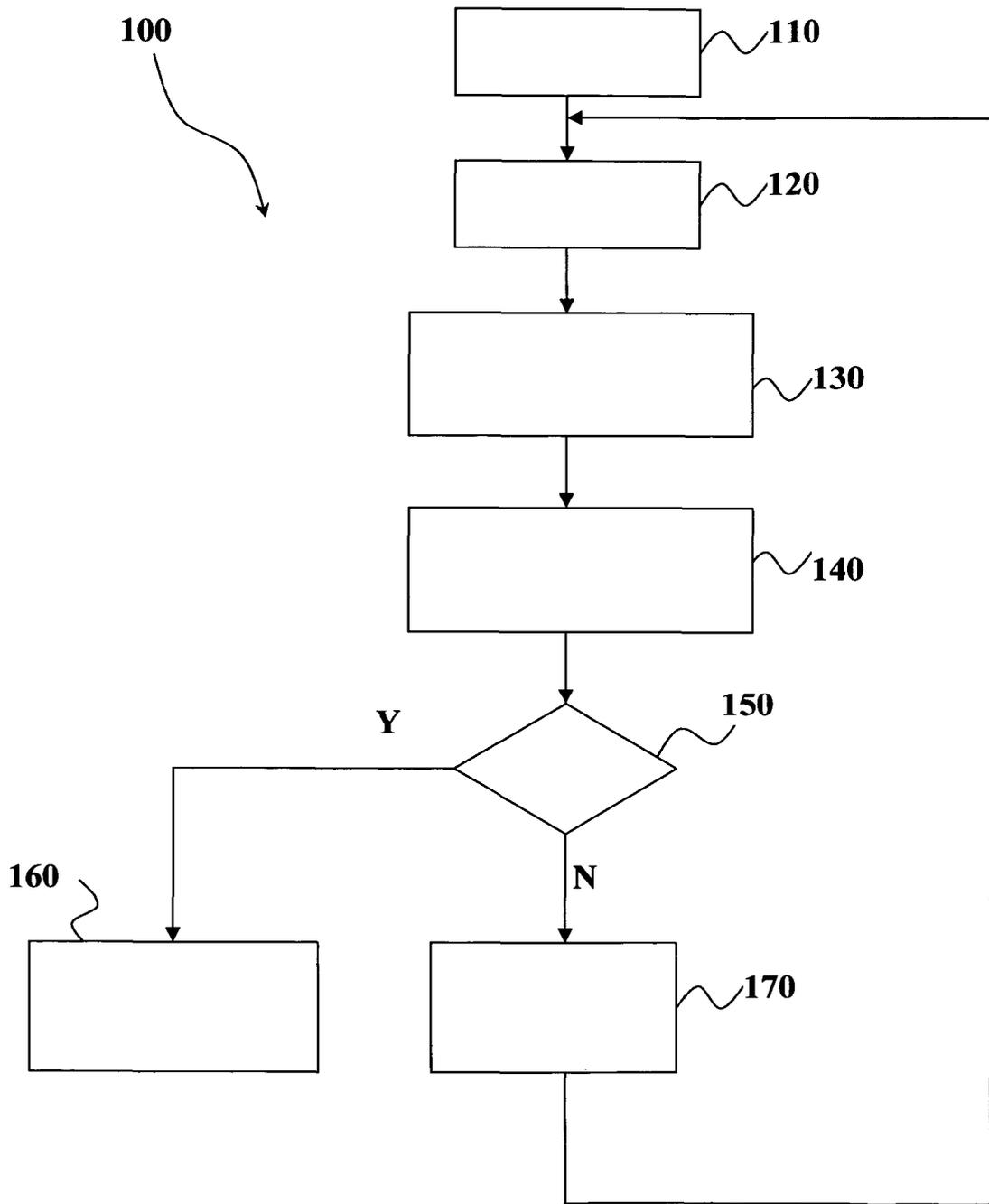


Fig. 1

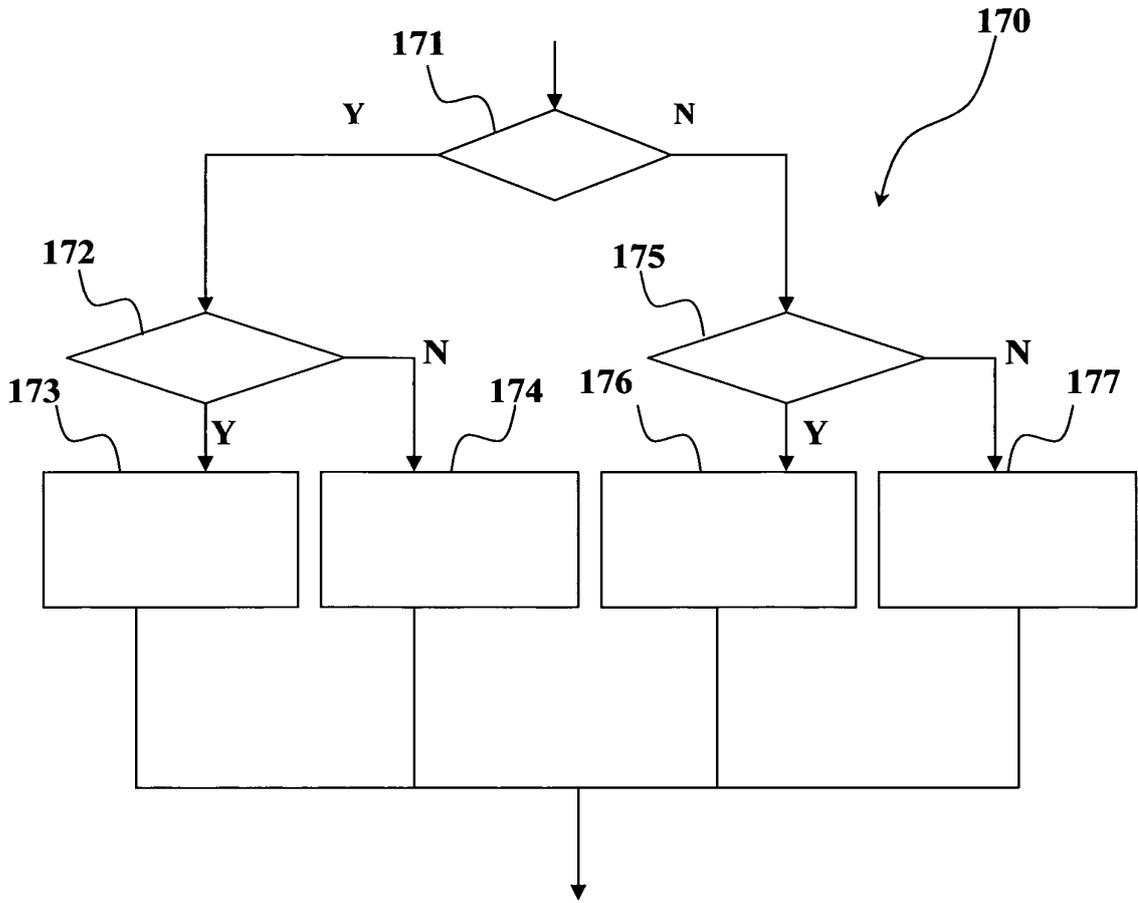


Fig. 2

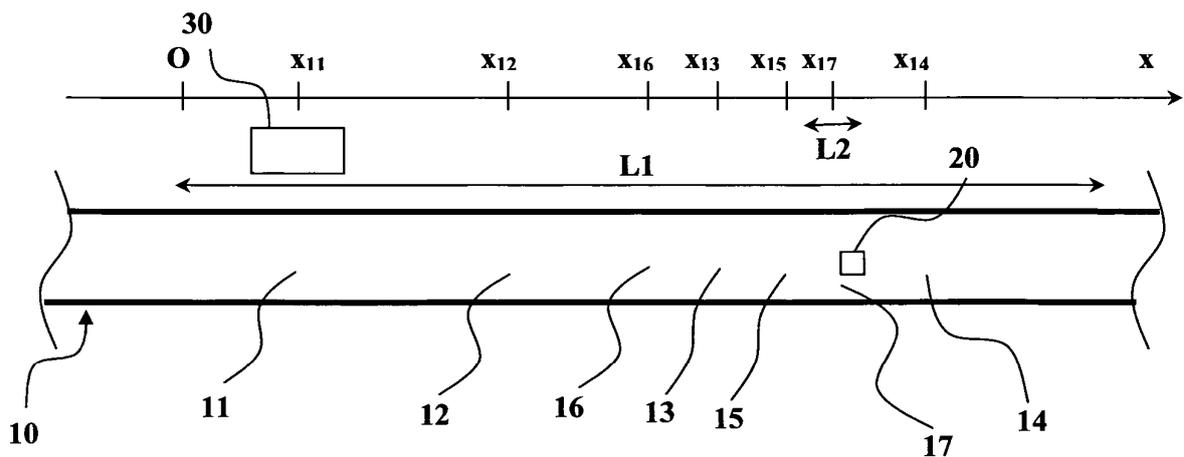


Fig. 3

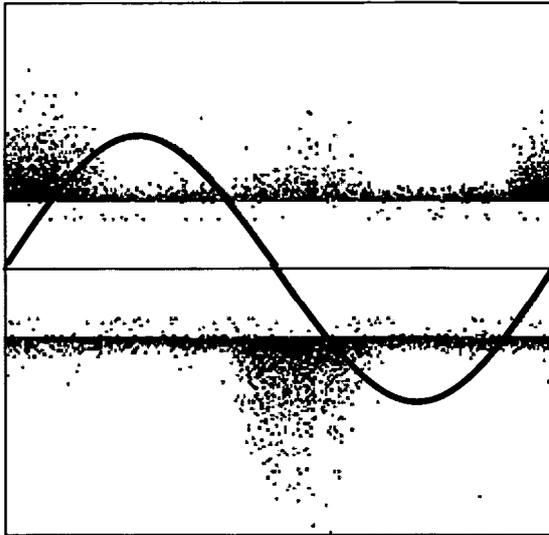


Fig. 4

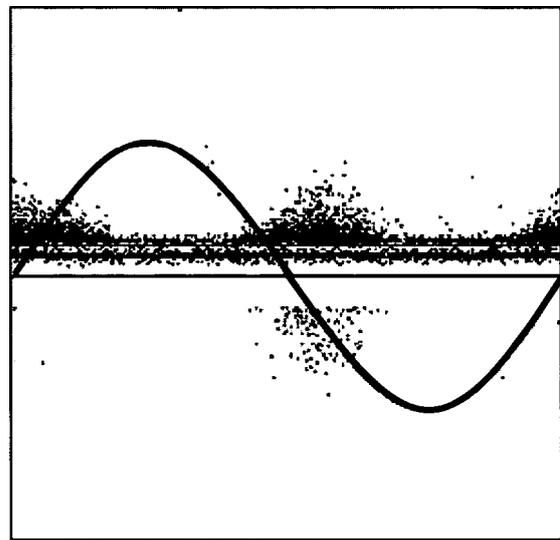


Fig. 5

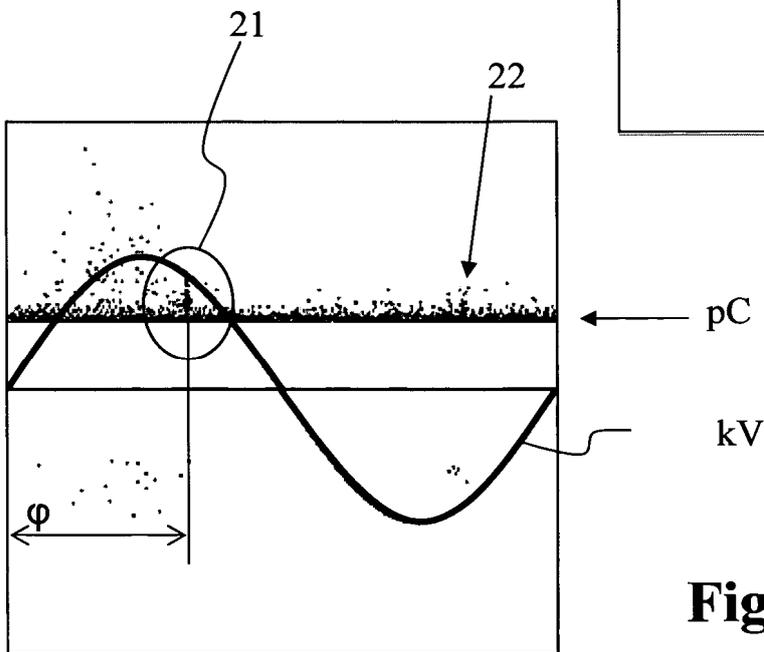


Fig. 6

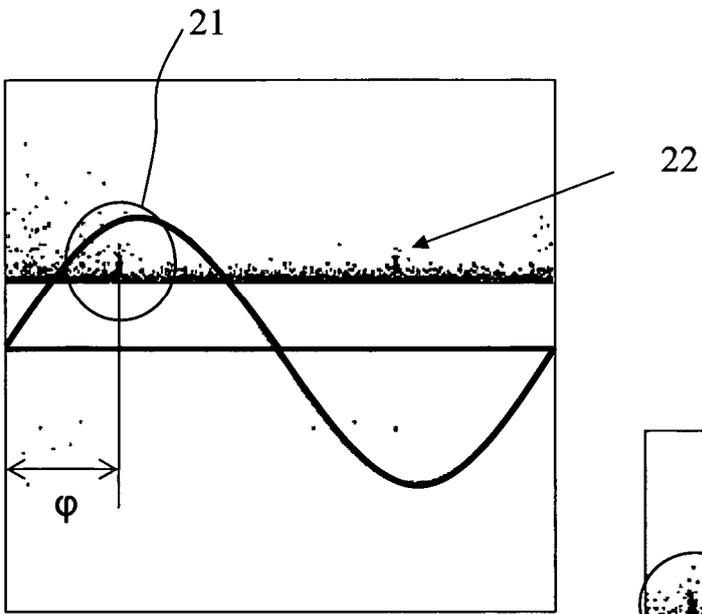


Fig. 7

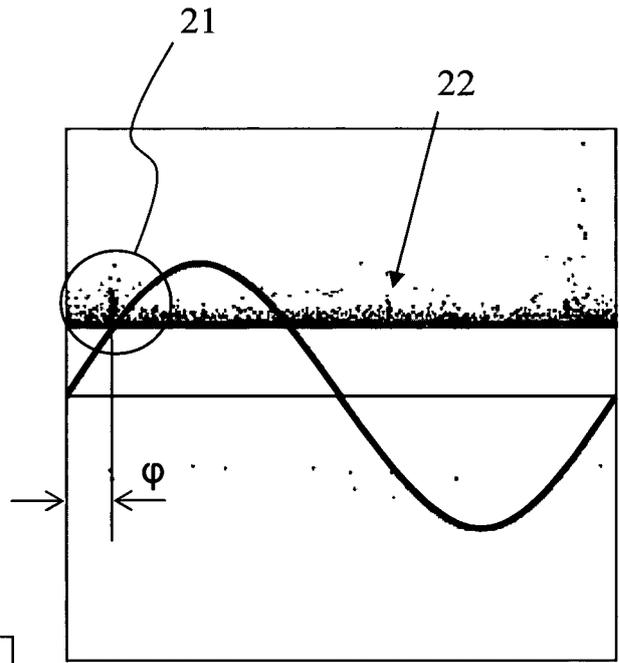


Fig. 8

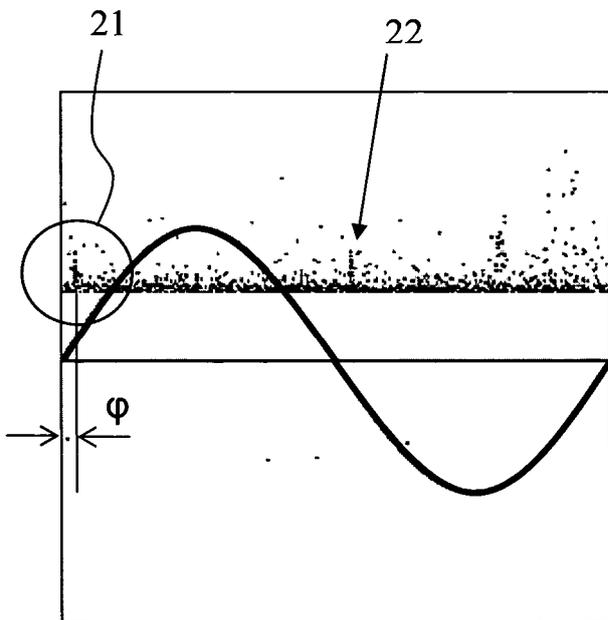


Fig. 9

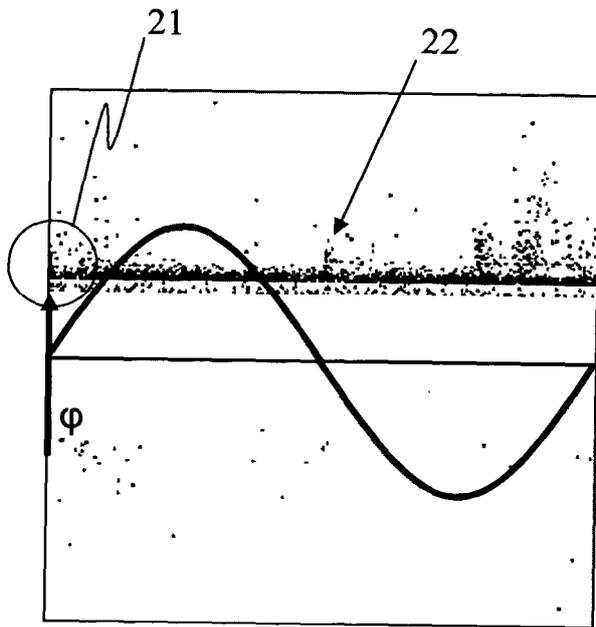


Fig. 10

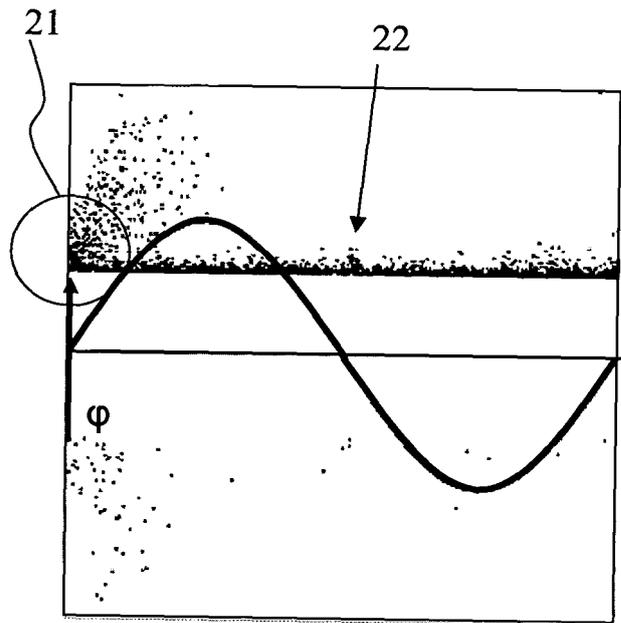


Fig. 11

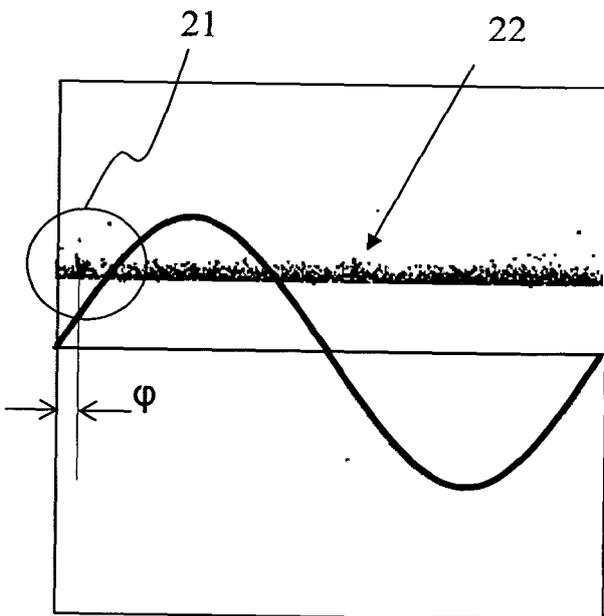


Fig. 12

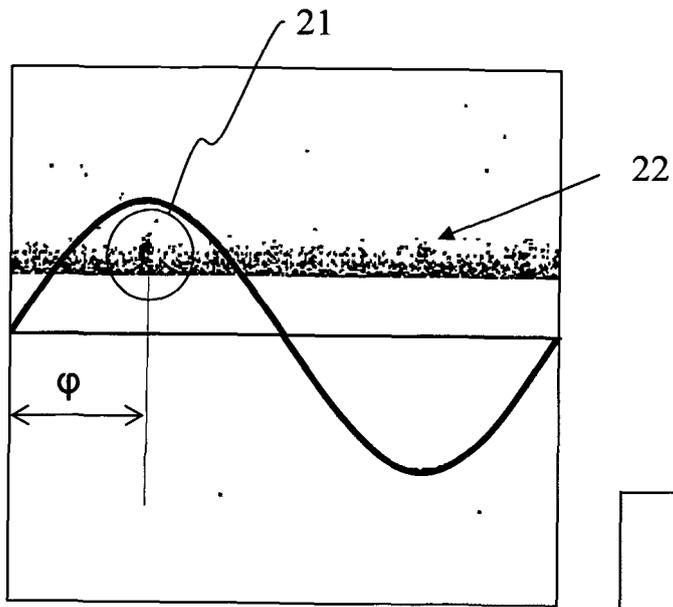


Fig. 13

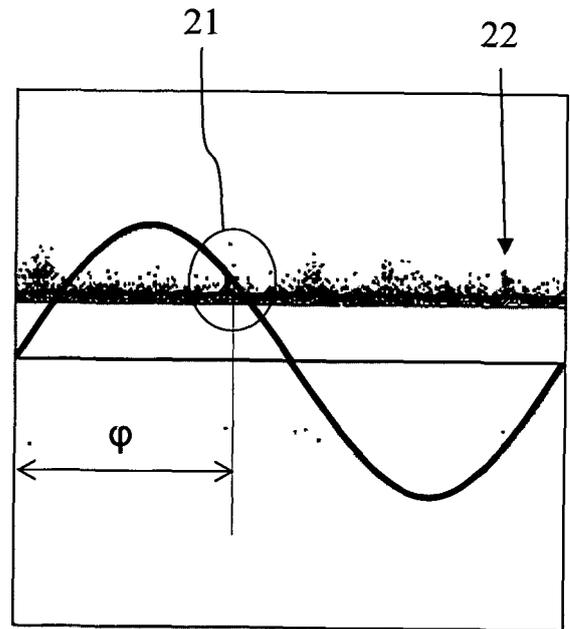


Fig. 14

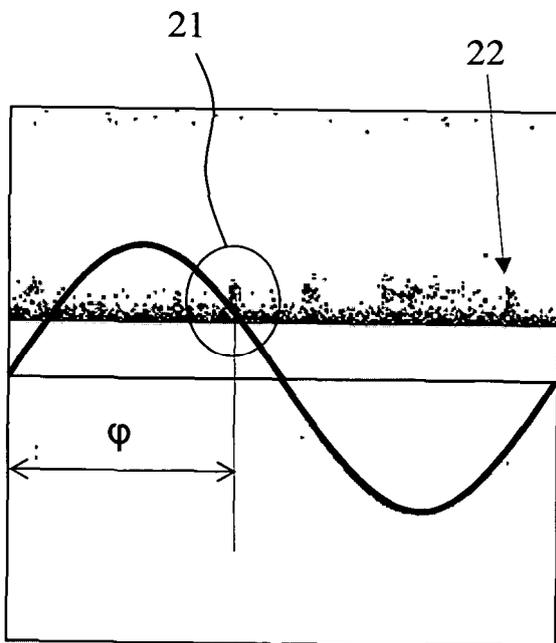


Fig. 15

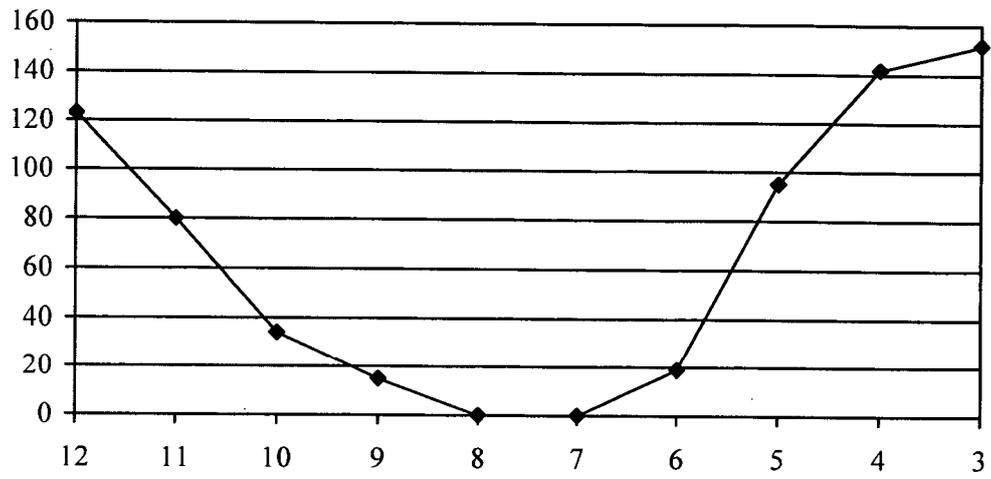


Fig. 16