

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 098**

51 Int. Cl.:

G01R 31/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.07.2010 E 10739862 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2015 EP 2598899**

54 Título: **Aparato y procedimiento de monitorización de un sistema de transmisión de energía eléctrica mediante análisis de descargas parciales**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.09.2015

73 Titular/es:

**PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)
Viale Sarca 222
20126 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**SALES CASALS, LLUÍS-RAMON;
DEL RIO FERNANDEZ, JOAQUIN;
LARA, RAFAEL y
MANUEL LAZARO, ANTONIO**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 545 098 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

Aparato y procedimiento de monitorización de un sistema de transmisión de energía eléctrica mediante análisis de descargas parciales

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a un aparato y a un procedimiento para monitorizar un sistema de transmisión de energía eléctrica, en particular, un sistema de transmisión de energía eléctrica de media/alta tensión, a través del análisis de descargas parciales.
- La transmisión de energía eléctrica desde una planta de generación de energía se realiza típicamente por medio de sistemas de transmisión de energía eléctrica de media/alta tensión que pueden ser aéreos (elevados), terrestres o submarinos.
- 10 Un sistema de transmisión de energía eléctrica puede comprender conductores eléctricos (que pueden ser conductores aéreos (elevados), conductores terrestres aislados o conductores submarinos aislados), uniones, terminaciones y/o aislantes para sistemas de alimentación aéreos.
- Una descarga parcial (PD) de acuerdo con la norma IEC 60270 es una descarga eléctrica localizada que conecta parcialmente el aislamiento entre conductores y que puede producirse o no junto a un conductor. Las descargas parciales son en general consecuencia de las concentraciones de tensiones eléctricas locales en el aislamiento o en la superficie del aislamiento. Generalmente, dichas descargas aparecen como pulsos que tienen una duración de mucho menos de 1 microsegundo cuando se pretende el aislamiento, por ejemplo, la capa aislante que rodea a un conductor o un aislante para un sistema de antena motorizada.
- 15 Una descarga parcial por lo general comienza dentro de huecos, grietas o inclusiones dentro de un dieléctrico sólido, en las interfaces dieléctricas conductoras dentro dieléctricos sólidos o líquidos, o en burbujas dentro de dieléctricos líquidos. Las descargas parciales también pueden producirse a lo largo de la frontera entre diferentes materiales aislantes.
- Las descargas parciales no causan el fallo inmediato del sistema de aislamiento eléctrico, sino más bien su deterioro progresivo, conduciendo en última instancia a la ruptura eléctrica.
- 25 Es importante detectar y controlar las descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica con el fin de garantizar el funcionamiento fiable a largo plazo del sistema, para predecir posibles fallos que puedan dar lugar a la interrupción del servicio de suministro de energía y para programar comprobaciones in situ y/o cambios adecuados del componente que genera la actividad de descargas parciales, antes de su fallo.
- Las técnicas para detectar y evaluar las descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica son conocidas en la técnica.
- 30 El documento US 6.192.317 divulga procedimientos estadísticos de análisis de descargas parciales que utilizan medidas de similitud de histograma.
- El documento US 2004/0204873 divulga un procedimiento para el análisis y/o un control del comportamiento de descarga parcial de un medio de accionamiento eléctrico, en particular, en términos de su evolución en el tiempo. En un primer momento, un estado del proceso de descarga parcial se ha registrado en una primera matriz de estado del proceso y, en un momento posterior, un estado del proceso de descarga más parcial se ha registrado en una matriz de estado de proceso adicional. A continuación, la primera y la segunda matrices de estado del proceso se comparan con la ayuda de procedimientos de comparación y de escala.
- 35 El documento WO 2009/013638 divulga un procedimiento para la monitorización de una actividad de descargas eléctricas parciales en un aparato eléctrico alimentado con corriente continua (CC). El procedimiento comprende las siguientes etapas, que se repiten en sucesión en intervalos de tiempo predeterminados: medir señales eléctricas analógicas y generar señales digitales representativas de la forma de onda de pulsos de descargas parciales correspondientes; derivar de cada una de dichas señales digitales, los parámetros T-W (equivalente a tiempo y ancho de banda) y un parámetro de amplitud; separar, mediante un clasificador de lógica difusa, el conjunto de los datos medidos en subconjuntos homogéneos con respecto al parámetro de forma; correlacionar los subconjuntos de señales que tienen valores similares de los parámetros T-W y medidos en etapas sucesivas; seleccionar los subconjuntos correlacionados para los que el parámetro de amplitud tiene un perfil predeterminado en el tiempo y atribuir las señales de dichos subconjuntos a las actividades de descargas parciales.
- 40 El documento WO 2009/013639 divulga un procedimiento para detectar, identificar y localizar descargas parciales que se producen en un sitio de descarga a lo largo de un aparato eléctrico que comprende las siguientes etapas: detectar las señales eléctricas en una estación de detección; atribuir a cada señal detectada un valor de un parámetro de fase; derivar para cada parámetro de señal T-W (tiempo y ancho de banda equivalentes) y un parámetro de amplitud; separar, por medio de un clasificador de lógica difusa, el conjunto de señales detectadas en
- 45
- 50

5 subconjuntos homogéneos con relación a los parámetros T-W; identificar subconjuntos relacionados con descargas parciales y catalogación de ellos; repetir las etapas descritas anteriormente en una pluralidad de estaciones de detección situadas a lo largo del aparato; correlacionar los subconjuntos de señales detectadas en diferentes estaciones de detección y catalogados de manera similar; seleccionar en función de la amplitud y los parámetros T-W un subconjunto entre los correlacionados y localizar las descargas parciales relacionadas con dicho subconjunto en la estación de detección del subconjunto seleccionado.

10 El documento US 2009/011935 divulga un procedimiento de análisis de datos de descargas parciales recogidos de un grupo de máquinas eléctricas. En particular, el procedimiento comprende: recoger datos PD; formar un mapa de clasificación W-T; formar grupos de datos PD según normas preestablecidas; clasificar cada grupo en clasificaciones de pulso según normas preestablecidas; generar subpatrones de las clasificaciones de pulsos; determinar las características de los pulsos a partir de los datos PD recogidos; comparar los niveles de Qmax para una máquina eléctrica de interés con niveles Qmax para otras máquinas eléctricas (en el que Qmax es la carga máxima de descarga parcial); formar tendencias de los niveles de PD en máquina eléctrica de interés como una función de tiempo; determinar e implementar criterios de notificación de operador; determinar y aislar fuentes de PD internos para máquina eléctrica de interés; determinar los niveles de PD como una función de parámetros de datos operacionales.

El solicitante observó que, en general, las técnicas divulgadas por los documentos citados anteriormente se basan en análisis probabilístico/estadístico y/o algoritmos de clasificación difusa. Estas técnicas son complicadas y caras.

20 Por otra parte, sin importar lo refinadas que sean, estas técnicas son todavía inexactas debido a que el sistema de transmisión de energía eléctrica bajo análisis (por ejemplo, los conductores, uniones y/o terminaciones eléctricos) son susceptibles a los fenómenos impredecibles vinculados a su estructura y función (por ejemplo, posibles defectos de fabricación, daños producidos durante las operaciones de colocación, cambios de la corriente transmitida entre el día y la noche, entre las distintas estaciones del año, entre los días laborables y días no laborables, cambios repentinos de la corriente transmitida debido a acontecimientos imprevistos, y similares) y para el medio ambiente externo (por ejemplo posibles fenómenos naturales, obras en la carretera, y similares), lo que puede alterar los resultados del análisis probabilístico/estadístico.

El solicitante se enfrentó al problema técnico de proporcionar un procedimiento y un aparato para detectar y evaluar automáticamente las descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica, que sea fiable y al mismo tiempo simple y menos caro que las técnicas conocidas en la técnica.

30 Como se describe en más detalle a continuación, el solicitante encontró que este problema puede ser resuelto por medio de una técnica basada en la repetición, sobre un componente de un sistema de transmisión de energía eléctrica, de una pluralidad de operaciones de adquisición/evaluaciones bajo diferentes ajustes de un aparato de monitorización, que corresponden a situaciones diferentes (por ejemplo, factores externos) que pueden afectar a la evaluación de pulsos eléctricos. Los datos recogidos de cada ejecución de la pluralidad de operaciones se organizan a continuación, como una huella dactilar del estado eléctrico del componente del sistema de transmisión de energía eléctrica en un momento determinado.

40 En particular, el solicitante encontró que el problema técnico anterior se puede resolver mediante: la repetición de una batería de pruebas en una ventana de tiempo significativo (por ejemplo, 1 día, 1 semana, 2 semanas, un mes, un año y similares), comprendiendo cada prueba un mismo conjunto de operaciones de adquisición y las evaluaciones de los pulsos eléctricos detectados, que se diferencian entre sí por diferentes combinaciones de valores tomados por los parámetros utilizados en las operaciones de adquisición y evaluación; analizar los resultados obtenidos por las baterías de las pruebas ejecutadas; y generar una alarma en función del resultado de dicho análisis, en presencia de una variación significativa de los resultados de las baterías durante dicha ventana de tiempo.

45 Por consiguiente, en un primer aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para monitorizar descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica que comprende las etapas de:

- detectar pulsos eléctricos emitidos desde un componente del sistema de transmisión de energía eléctrica;
- realizar en los pulsos eléctricos detectados una batería de una pluralidad de pruebas adaptadas para proporcionar a cada resultado indicativo de la presencia o ausencia de una posible actividad de descargas parciales, comprendiendo todas de dicha pluralidad de pruebas el mismo conjunto de operaciones de adquisición y las evaluaciones de los pulsos eléctricos detectados, siendo dichas operaciones de adquisición y evaluación ejecutadas en condiciones definidas por:

- al menos 2 parámetros de prueba seleccionados de:

55 nivel de activación, nivel de ganancia de amplificación de pulsos eléctricos, umbral de amplitud del pulso eléctrico mínima A_{\min} , umbral de parámetro de fase de pulso eléctrico mínimo P_{\min} , umbral de parámetro de fase de pulso eléctrico máxima P_{\max} , prueba de longitud de tiempo T,

número mínimo del umbral de pulsos de descarga parcial M, y

•un valor numérico de dichos al menos 2 parámetros,

ejecutándose la pluralidad de pruebas en sucesión una tras otra según una secuencia de tiempo predefinido y siendo diferentes unas de otras para el valor numérico tomado por al menos uno de dichos al menos 2 parámetros de prueba;

- 5
- repetir dicha batería de pruebas durante un periodo de tiempo predeterminado;
 - analizar los resultados obtenidos por las baterías de pruebas ejecutadas en dicho periodo de tiempo predeterminado; y
 - generar una alarma en función del resultado de dicho análisis, en presencia de una variación de los resultados de las baterías de pruebas ejecutadas durante dicho período de tiempo.
- 10

De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un aparato para el control de descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica que comprende:

- al menos un módulo de detección operativamente asociado con un componente del sistema de transmisión de energía eléctrica para recibir y detectar pulsos eléctricos emitidos del mismo;
 - un módulo de adquisición y evaluación, conectado a dicho módulo de detección, adaptado para repetir, por un período de tiempo predeterminado, una batería de una pluralidad de pruebas en los pulsos eléctricos detectados, siendo los ensayos ejecutados de acuerdo a los valores numéricos de al menos dos parámetros de prueba, predefinidos para ser por lo menos en parte diferente entre las pruebas, seleccionándose los parámetros de la prueba en el grupo de: nivel de activación, nivel de ganancia de amplificación de pulsos eléctricos, umbral de amplitud del pulso eléctrico mínima A_{min} , umbral de parámetro de fase de pulso eléctrico mínimo P_{min} , umbral de parámetro de fase de pulso eléctrico máxima P_{max} , prueba de longitud de tiempo T, número mínimo del umbral de pulsos de descarga parcial M, siendo las pruebas configuradas para proporcionar un resultado indicativo de la presencia o ausencia de una posible actividad de descargas parciales
 - un módulo de generación de alarmas conectado al módulo de adquisición y evaluación para recibir los resultados obtenidos por las baterías de pruebas ejecutadas en dicho periodo de tiempo predeterminado, estando el módulo de generación de alarmas adaptado para analizar los resultados de dichas baterías de pruebas para detectar la presencia de una variación en dichos resultados, y adaptado para generar una alarma en la presencia de dicha variación.
- 15
- 20
- 25

Preferiblemente, dicho módulo de adquisición y evaluación comprende una unidad de temporización ajustable adaptada para provocar la ejecución de pruebas en sucesión una después de la otra según una secuencia de tiempo predefinida.

30

El módulo de generación de alarmas y el módulo de adquisición y evaluación pueden ser parte de un único procesador electrónico; alternativamente, el módulo de generación de alarmas es un procesador electrónico remoto conectado al módulo de adquisición y evaluación a través de datos. De un acuerdo con un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un sistema de transmisión de energía eléctrica que comprende:

35

- una pluralidad de cables eléctricos;
 - una pluralidad de uniones entre los cables eléctricos;
 - al menos dos estaciones terminales;
 - al menos un aparato de monitorización de descargas parciales según la reivindicación 12 asociado con un componente del sistema de transmisión de energía eléctrica seleccionado entre dichos cables eléctricos, dichas uniones y dichas estaciones terminales.
- 40

Para los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones adjuntas, excepto donde se indique lo contrario, todos los números que expresan cantidades, porcentajes, etc., han de entenderse como modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Además, todos los intervalos incluyen cualquier combinación de los puntos máximos y mínimos descritos e incluyen cualquier intervalo intermedio en los mismos, que pueden ser o no específicamente enumerados en el presente documento.

45

La presente invención, en al menos uno de los aspectos mencionados anteriormente, puede exhibir al menos una de las siguientes características preferidas.

El módulo de detección mencionado anteriormente, el módulo de adquisición y valuación, y el módulo de generación de alarmas son ventajosamente al menos uno de un módulo de hardware, software y firmware, configurado para realizar la función especificada.

50

Ventajosamente, dicho aparato de monitorización de descargas parciales se asocia con una de dichas uniones.

En una realización, el sistema de transmisión de energía eléctrica también comprende una pluralidad de nodos de monitorización para la monitorización de otros parámetros del sistema de transmisión de energía eléctrica.

5 Preferiblemente, el módulo de detección y el módulo de adquisición y evaluación están situados en las proximidades de dicho componente del sistema de transmisión de energía eléctrica.

Preferiblemente, dicho módulo de adquisición y evaluación comprende una unidad de temporización ajustable adaptada para provocar la ejecución de pruebas en sucesión una después de la otra según una secuencia de tiempo predefinida.

10 El módulo de generación de alarmas puede estar situado en las proximidades del componente del sistema de transmisión de energía eléctrica o en un servidor remoto.

El módulo de generación de alarmas y el módulo de adquisición y evaluación pueden ser parte de un único procesador electrónico; alternativamente, el módulo de generación de alarmas es un procesador electrónico remoto conectado al módulo de adquisición y evaluación a través de un sistema de transmisión de datos.

15 Ventajosamente, dichos valores diferentes tomados por dicho al menos un parámetro son representativos de las diferentes situaciones que puedan afectar a dichas operaciones de adquisición y evaluación.

Ventajosamente, las diferentes pruebas de la batería se realizan en diferentes pulsos eléctricos. La duración de cada prueba es preferentemente tal como para permitir la detección de un número significativo de pulsos de descargas parciales. La duración de cada prueba es preferiblemente mayor que el período de tiempo de la tensión de alimentación principal. Por ejemplo, para una frecuencia principal de tensión de alimentación de 50 Hz, la duración de cada prueba es preferiblemente mayor que 20 ms. Preferiblemente, la duración de cada prueba es de un orden de magnitud mayor que el período de tiempo de la tensión de alimentación principal. Más preferiblemente, es dos órdenes de magnitud mayor que el período de tiempo de la tensión de alimentación principal. Incluso más preferiblemente, es tres órdenes de magnitud mayor que el período de tiempo de la tensión de alimentación principal.

25 Ventajosamente, las diferentes pruebas son en un número al menos igual a 15. Preferiblemente, las diferentes pruebas son en un número al menos igual a 30, más preferiblemente al menos igual a 50, más preferiblemente al menos igual a 80, más preferiblemente al menos igual a 100. De hecho, el solicitante ha comprobado que una serie de pruebas inferiores a 15 no habilita para representar un número importante de diferentes situaciones que puedan afectar a la evaluación de pulsos eléctricos (por ejemplo, diferentes combinaciones de bajos, medios y altos niveles de ruido, débiles, medios y altos niveles de descargas parciales, y así sucesivamente) y, por lo tanto, para obtener resultados fiables. La precisión y la fiabilidad en la representación de situaciones diferentes y anómalas aumentan a medida que el número de pruebas aumenta por encima de 15.

Ventajosamente, las diferentes pruebas son en un número tal que la ejecución de la batería de pruebas diferentes dura 24 horas como máximo.

35 Ventajosamente, la etapa de análisis comprende comparar los resultados obtenidos con el tiempo mediante las mismas pruebas de la batería ejecutadas en diferentes tiempos de ejecución durante dicho periodo de tiempo predeterminado.

40 En una realización, la etapa de comparación comprende la etapa de computación, para cada una de al menos dos ventanas de tiempo predeterminadas dentro de dicho periodo de tiempo predeterminado, los promedios de tiempo de los resultados obtenidos en la ventana de tiempo mediante las mismas pruebas ejecutadas en diferentes tiempos de ejecución. Preferiblemente, los promedios de tiempo computados para las pruebas de la batería en una de dichas al menos dos ventanas de tiempo predeterminadas se comparan con los promedios de tiempo calculados para las pruebas de la batería correspondiente en la otra de dichas al menos dos ventanas de tiempo predeterminadas.

45 Ventajosamente, las operaciones de adquisición comprenden al menos una operación de un grupo que comprende: filtrado de pulsos eléctricos, amplificación de pulsos eléctricos, conversión y activación de pulsos eléctricos de analógico a digital.

50 Preferiblemente, los parámetros de prueba comprenden un nivel de ganancia para la amplificación de pulsos eléctricos y, para cada i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$, y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, comprendiendo las operaciones de adquisición una operación de amplificación de los pulsos eléctricos detectados, que se realizan en el valor de ganancia tomado por el parámetro de nivel de ganancia de prueba en la i -ésima prueba.

Preferiblemente, los parámetros de prueba comprenden un nivel de activación y, para cada i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, las operaciones de adquisición comprenden una operación de activación, que se realiza en el valor de activación tomado por el parámetro de prueba del nivel de

activación en la i -ésima prueba.

Ventajosamente, en cada prueba, las operaciones de evaluación se realizan en pulsos eléctricos adquiridos a través de las operaciones de adquisición.

5 Ventajosamente, las operaciones de evaluación comprenden operaciones de comparación adaptadas para identificar posibles descargas parciales entre los pulsos eléctricos adquiridos a través de las operaciones de adquisición. Ventajosamente, las operaciones de comparación incluyen comparaciones entre valores numéricos.

10 Preferiblemente, las operaciones de evaluación comprenden comparaciones entre valores tomados por los parámetros del pulso calculados en relación con pulsos eléctricos adquiridos durante la ejecución de la i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, y valores tomados por los parámetros de prueba correspondientes a la i -ésima prueba.

Preferiblemente, los parámetros del pulso comprenden al menos un parámetro de un grupo que comprende: parámetro de amplitud de pulso eléctrico, parámetro de fase de pulso eléctrico, longitud de tiempo equivalente al parámetro T_e , ancho de banda equivalente al parámetro BWE, energía del pulso, y la raíz cuadrada promedio del pulso RMS.

15 Preferiblemente, los parámetros de prueba comprenden un umbral mínimo A_{\min} para el parámetro de amplitud eléctrica de los pulsos y, para cada i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, las operaciones de evaluación comprenden comparaciones entre valores tomados por un parámetro de amplitud del pulso eléctrico, calculado para pulsos eléctricos adquiridos durante la ejecución de la i -ésima prueba y el valor tomado por dicho umbral mínimo A_{\min} en la i -ésima prueba.

20 Preferiblemente, los parámetros de prueba comprenden un umbral mínimo P_{\min} para el parámetro de fase de pulso eléctrico y un umbral máximo P_{\max} para el parámetro de fase de pulso eléctrico y, para cada i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, comprendiendo las operaciones de evaluación comparaciones entre valores tomados por un parámetro de fase de pulso eléctrico, calculados para pulsos eléctricos adquiridos durante la ejecución de la i -ésima prueba, y los valores tomados mediante dicho umbral mínimo P_{\min} y umbral máximo P_{\max} en la i -ésima prueba.

25 Preferiblemente, los parámetros de prueba comprenden un umbral T para la longitud de tiempo de la prueba y cada i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, que se ejecuta durante un período de tiempo correspondiente al valor tomado por el umbral T en la i -ésima prueba.

30 Preferiblemente, los parámetros de prueba comprenden un umbral mínimo M para el número de descargas parciales y cada i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, que devuelve un resultado positivo cuando el número de pulsos eléctricos identificados como descargas parciales, entre los pulsos eléctricos adquiridos durante la ejecución de la i -ésima prueba, es por lo menos igual al valor tomado en la i -ésima prueba por el umbral mínimo M . La i -ésima prueba devuelve un resultado negativo cuando dicho número de pulsos eléctricos identificados como descargas parciales es inferior a dicho valor tomado por el umbral mínimo M en la i -ésima prueba.

35 Preferiblemente, las operaciones de evaluación comprenden una operación de filtrado de ruido.

La operación de filtrado de ruido puede realizarse mediante la asignación de la longitud de tiempo equivalente T_e y parámetros de pulso BWE de ancho de banda equivalentes calculados para los pulsos eléctricos adquiridos en un plano de referencia de modelo T_e -BWE.

40 Las características y ventajas de la presente invención se harán evidentes mediante la siguiente descripción detallada de algunas realizaciones ejemplares de la misma, proporcionadas meramente a modo de ejemplo no limitativo, realizándose la descripción haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- La figura 1 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques de una realización de un aparato de monitorización de descarga parcial según la invención;
- 45 - La figura 2 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques de una realización de un elemento de adquisición de datos del aparato de monitorización de descargas parciales de la figura 1;
- Las figuras 3A y 3B muestran esquemáticamente un diagrama de bloques de dos realizaciones de un elemento de procesamiento del aparato de monitorización de descargas parciales de la figura 1;
- La figura 4 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo delineando las etapas principales de un algoritmo de
- 50 - La figura 5 muestra un ejemplo de los resultados que se pueden obtener mediante la ejecución del algoritmo de evaluación de descargas parciales de la figura 4;

- La figura 6 muestra un diagrama de bloques de una realización de un sistema de transmisión de energía eléctrica según la invención.

5 La figura 1 muestra un diagrama de bloques de un aparato 1 de monitorización de descargas parciales de acuerdo con una realización de la invención, que comprende un primer sensor 10, un elemento 20 de adquisición de datos, un elemento 30 de procesamiento, un segundo sensor 40, y un detector 50 de cruce por cero.

El elemento 20 de adquisición de datos, el elemento 30 de procesamiento y el detector 50 de cruce por cero forman parte de un módulo 60 de adquisición y evaluación.

10 El primer sensor 10 es ventajosamente un sensor de alta frecuencia (HF) capaz de detectar pulsos eléctricos analógicos HF posiblemente asociados con descargas parciales. Por ejemplo, el primer sensor 10 puede ser un sensor inductivo convencional, un sensor capacitivo convencional, un HFCT convencional (transformador de corriente de alta frecuencia), o una antena que actúa como detector de campo eléctrico como se describe, por ejemplo, en el documento WO 2009/150627.

15 El primer sensor 10 ventajosamente está colocado en un punto estratégico de un sistema de transmisión de energía eléctrica, tal como, por ejemplo, una unión o una terminación donde es más probable que se produzcan descargas parciales.

Como se muestra a modo de ejemplo en la figura 2, el elemento 20 de adquisición de datos puede comprender un filtro 21 de paso de banda, un amplificador 22 diferencial, un convertidor 23 (ADC) analógico a digital y un potenciómetro 24 digital de ajuste de ganancia.

20 El filtro 21 de paso de banda tiene a modo de ejemplo una anchura de paso de banda comprendido entre 2 y 20 MHz. Por ejemplo, el filtro 21 de paso de banda puede comprender en cascada un filtro Butterworth de paso bajo de tercer orden que tiene una frecuencia de corte de 20 MHz y un filtro Butterworth de paso alto de octavo orden con una frecuencia de corte de 2 MHz.

El ADC 23 está adaptado para realizar, de acuerdo con técnicas bien conocidas en la técnica, una conversión analógica a digital de los pulsos eléctricos analógicos detectados por el primer sensor 10.

25 El amplificador 22 diferencial tiene, ventajosamente, una ganancia que se puede programar digitalmente dentro de un intervalo predefinido mediante el potenciómetro 24 digital de ajuste de ganancia, para permitir el ajuste de los pulsos eléctricos analógicos detectados por el primer sensor 10 a un margen de entrada dinámico del ADC 23.

30 El segundo sensor 40 es ventajosamente un sensor de baja frecuencia (LF) adaptado para medir la tensión de alimentación principal del sistema de transmisión de energía eléctrica. Por ejemplo, puede ser un sensor inductivo convencional o un detector de campo eléctrico como se describe, por ejemplo, en el documento WO 2009/150627. El detector 50 de cruce por cero es un dispositivo convencional que comprende, por ejemplo, un comparador de tensión.

35 El segundo sensor 40, junto con el detector 50 de cruce por cero, está adaptado para proporcionar una señal, en fase con la tensión de alimentación (típicamente 50 Hz), que es útil para la sincronización de los pulsos eléctricos de alta frecuencia medidos por el primer sensor 10 con la tensión de alimentación de fase. El solicitante observa que para la sincronización es mejor medir la tensión de alimentación con un detector de campo eléctrico, que es más fiable en comparación con el sensor inductivo. De hecho, el detector de campo eléctrico evita posibles errores de fase que pueden ser inducidos por una adición vectorial de diferentes corrientes que puedan existir en el sistema de transmisión de energía eléctrica.

40 El elemento 30 de procesamiento constituye la parte inteligente del aparato 1. Por ejemplo, puede ser una FPGA (matriz de puerta de enlace de campo programable).

El elemento 30 de procesamiento está adaptado para controlar la operación del elemento 20 de adquisición de datos, para procesar los datos digitales procedentes del elemento 20 de adquisición de datos y desde el detector 50 de cruce por cero y para poner en práctica un algoritmo para la evaluación de descargas parciales.

45 En particular, como se muestra en la figura 3a, el elemento 30 de procesamiento comprende módulos de evaluación que incluyen un primer módulo 32 y un segundo módulo 34.

Ventajosamente, el elemento 30 de procesamiento también comprende un circuito 38 de activación. Por ejemplo, el circuito 38 de activación puede implementarse dentro de la FPGA por medio de un comparador digital que comprende puertas lógicas.

50 El primer módulo 32 está adaptado para procesar los datos digitales procedentes del elemento 20 de adquisición de datos (que corresponden a los pulsos eléctricos analógicos detectados por el primer sensor 10) y desde el detector 50 de cruce por cero, para calcular los parámetros de los pulsos útiles para implementar el algoritmo de descarga parcial de evaluación de acuerdo con la invención.

El segundo módulo 34 está adaptado para recibir los datos digitales procedentes del elemento 20 de adquisición de datos y los parámetros de los pulsos calculados por el primer módulo 32 para implementar el algoritmo de descarga parcial de evaluación.

5 El aparato 1 de la invención comprende también un módulo 36 de generación de alarmas, adaptado para analizar los resultados obtenidos por la ejecución del algoritmo parcial de evaluación de descargas y para generar alarmas preventivas.

En particular, el módulo 36 de generación de alarmas está adaptado para recibir los resultados del algoritmo de descarga parcial de evaluación para analizar la tendencia, como una función del tiempo, de dichos resultados y para generar alarmas preventivas, si es necesario.

10 El módulo 36 de generación de alarmas se puede implementar dentro del elemento 30 de procesamiento (por ejemplo, en la FPGA mencionada anteriormente, como se muestra en la figura 3a) o dentro de un dispositivo remoto (por ejemplo, un servidor remoto, como se muestra en la figura 3b). En este último caso, el elemento 30 de procesamiento, que comprende el primer módulo 34 y el segundo módulo 32, estará adaptado para enviar los resultados del algoritmo de descarga parcial de evaluación al módulo 36 de generación de alarmas remoto. Como se explica con más detalle a continuación con referencia a la figura 6, el elemento 30 de procesamiento puede adaptarse para enviar dichos resultados al módulo 36 de generación de alarmas remoto directamente o a través de la intermediación de otros nodos del sistema de transmisión de energía eléctrica.

20 Los parámetros de los pulsos calculados por el primer módulo 32 para cada pulso eléctrico adquirido por el elemento 20 de adquisición de datos comprenden ventajosamente un parámetro de amplitud (correspondiente, por ejemplo, a la amplitud máxima del pulso eléctrico) y un parámetro de fase (correspondiente, por ejemplo, a la fase de la tensión de alimentación (por ejemplo, a 50 Hz) en el momento del pulso eléctrico detectado por el primer sensor 10). Preferiblemente, los parámetros de los pulsos calculados comprenden además un tiempo de longitud equivalente T_e y un ancho de banda equivalente BW_e .

25 El parámetro del pulso también puede comprender un parámetro de energía de pulso y/o un pulso RMS (raíz cuadrada promedio) de parámetros que, por ejemplo, se pueden calcular respectivamente con la siguiente fórmula: $\sum S_i^2$ y $\sqrt{(\sum_{i=0, N-1} S_i^2 / nT_s)}$, en el que S_i son las muestras del pulso adquirido, N es el número total de muestras del pulso adquiridas y T_s es el tiempo de muestreo.

Por ejemplo, T_e y BW_e se pueden calcular mediante las siguientes relaciones:

$$T_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (t_i - t_o)^2 S_i^2}{\sum_{i=0}^{N-1} S_i^2}} \quad \text{con} \quad t_o = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} t_i S_i^2}{\sum_{i=0}^{N-1} S_i^2}$$

30

$$BW_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} f_i^2 |X_i(f_i)|^2}{\sum_{i=0}^{N-1} |X_i(f_i)|^2}}$$

en la que S_i es la muestra del pulso adquirido detectado en el instante t_i , N es el número total de muestras del pulso adquirido, y $X_i(f_i)$ son los componentes de frecuencia del pulso eléctrico obtenidos a través de una Transformada Discreta de Fourier (DFT).

35 El cálculo de los parámetros del pulso (por ejemplo, amplitud, fase, T_e y BW_e) se realiza ventajosamente mediante el primer módulo 32 a través de bloques de hardware paralelos configurados específicamente para lograr una alta velocidad de procesamiento, con lo que se garantiza el funcionamiento en tiempo real.

40 Como se explica con más detalle a continuación, los parámetros del pulso T_e y BW_e pueden ser útiles para realizar un filtrado del ruido para eliminar los pulsos eléctricos generados por el ruido, que pueden ser mayores en amplitud que las propias descargas parciales interesantes, ayudando así a distinguir pulsos eléctricos que pueden identificarse como descargas parciales del ruido.

Cuando el aparato 1 comprende una interfaz humana, todos los parámetros del pulso (por ejemplo, T_e , BW_e , amplitud y fase) obtenidos por el primer módulo 32 se pueden almacenar en un área de almacenamiento adecuada (por ejemplo, una SRAM de 512k palabras, cada una con una exactitud de 9 bits). Los parámetros del pulso calculados también pueden representarse en planos apropiados T_e - BW_e y de amplitud-fase.

El segundo módulo 34 opera ventajosamente en paralelo con el primer módulo 32.

De acuerdo con el algoritmo parcial de evaluación de descarga, el segundo módulo 34 del elemento de procesamiento 30 está adaptado para repetir automáticamente y de forma continua en un período de tiempo predeterminado una misma batería de pruebas diferentes (por ejemplo, N diferentes pruebas con $N = 128$) a través de un modo de funcionamiento en solitario.

Las pruebas se ejecutan una tras otra.

Las pruebas se diferencian entre sí por los valores tomados por un conjunto de parámetros de prueba.

Los parámetros de prueba definen las condiciones bajo las cuales el aparato 1 ejecuta las pruebas.

Por ejemplo, el conjunto de parámetros de prueba puede comprender: la ganancia del amplificador 22 diferencial (que pueden codificarse en 1 byte); un nivel de activación para el circuito 38 de activación (que puede codificarse en 2 bytes); un mínimo número de umbral M que indica el número de los pulsos de descarga parcial (PD) necesarios para generar un resultado positivo de la prueba (que pueden codificarse en 2 bytes); un umbral de tiempo T que indica la duración de una prueba en ms (que pueden codificarse en 3 bytes y que preferiblemente es un número entero de periodos de la tensión de alimentación); una amplitud de umbral mínima A_{\min} (que puede codificarse en 2 bytes); un umbral de fase mínima P_{\min} (que puede codificarse en 2 bytes); un umbral de fase máxima P_{\max} (que puede codificarse en 2 bytes). En particular, los parámetros de umbral T de ganancia, nivel y tiempo de activación se utilizan para la puesta en marcha de los diversos componentes del aparato 1. Los parámetros umbrales M, A_{\min} , P_{\min} y P_{\max} son utilizados por las operaciones de evaluación del algoritmo parcial de evaluación de la descarga.

Las pruebas pueden ser diferentes entre sí para los valores tomados por todos los parámetros de la prueba o sólo parte de los mismos. Por ejemplo, el umbral mínimo de fase P_{\min} , el umbral máximo de fase P_{\max} y el umbral de tiempo T puede ser el mismo para todas las pruebas.

Cada prueba termina con un resultado positivo (verdadero) o negativo (falso), lo que indica la presencia o la ausencia de una posible actividad de descargas parciales.

Los valores específicos que se deben adoptar por los parámetros de prueba en cada una de las pruebas están previamente definidos y almacenados, por ejemplo, en una memoria flash.

Ventajosamente, los parámetros de prueba pueden ser definidos previamente a través de una actividad de experimentación realizada en una pluralidad de componentes de un sistema de transmisión de energía eléctrica, que tienen diferentes defectos conocidos en su sistema de aislamiento y bajo una variedad de condiciones diferentes (por ejemplo, en diferentes ubicaciones geográficas, teniendo en cuenta diferentes factores externos, diferentes fuentes de ruido, y así sucesivamente).

La actividad experimentación se realiza ventajosamente mediante la aplicación del algoritmo de la invención, variando finamente los valores de los parámetros de ensayo que se utilizarán en cada una de las pruebas y la recogida de un número sustancial de los resultados (por ejemplo, 2000, 3000). Los resultados de las pruebas a continuación pueden ser analizados estadísticamente para seleccionar adecuadamente los valores de los parámetros de prueba para programarse y almacenarse en el aparato 1.

Ventajosamente, la selección se realiza para proporcionar un ajuste optimizado del aparato 1, de modo que las diferentes pruebas realizadas automáticamente por el aparato 1 representan mejor cualquier situación posible (por ejemplo, niveles de ruido bajo, medio y alto, niveles de descarga parcial débil, medio y alto, y así sucesivamente).

Por ejemplo, durante dicha selección, los valores de los parámetros de prueba (por ejemplo, valores de ganancia) que dieron resultados más positivos en relación con los defectos conocidos se prefieren con respecto a los que dieron resultados negativos.

El procedimiento anterior para definir de antemano los valores de los parámetros de prueba que se deben programar y almacenar en el aparato 1 permite obtener un conjunto de valores de parámetros de prueba que son universales y utilizables para cualquier componente de cualquier sistema de transmisión de energía eléctrica a monitorizar.

El solicitante señala que cuando se realiza un análisis de los pulsos eléctricos bajo el control de un operador, el propio operador puede ajustar con precisión los parámetros de prueba del aparato de prueba, dependiendo de las situaciones. Por ejemplo, puede decidir aumentar el nivel de activación en caso de altos niveles de ruido, puede decidir aumentar la ganancia del amplificador diferencial si el pulso de descarga parcial es débil, y así sucesivamente.

Estas decisiones inteligentes no pueden ser tomadas cuando el análisis de pulsos eléctricos se realiza en automático mediante un aparato, sin la intervención de un operador.

La invención supera este problema gracias al algoritmo de evaluación de descargas parciales en el que los pulsos eléctricos detectados por el primer sensor 10 se analizan a través de una ejecución continua de una misma batería

- de un número N de diferentes pruebas, que corresponde a un número N correspondiente de diferentes ajustes del aparato 1 (que, a su vez, corresponde a un número N correspondiente e diferentes combinaciones de niveles de activación, diferentes valores de ganancia del amplificador diferencial 22, diferentes valores de los parámetros de prueba A_{\min} , M, T, P_{\min} , P_{\max}), que, como se explicó anteriormente, están adecuadamente definidos de antemano para evaluar de manera eficiente y fiable los pulsos eléctricos en todas las situaciones posibles (por ejemplo, niveles de ruido bajo, medio y alto, niveles de descargas parciales débil, medio y alto, etc.).
- De esta manera, la fiabilidad y la precisión del algoritmo de descarga parcial de evaluación están garantizados, incluso si se realiza de forma automática.
- La figura 4 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo de ejemplo de un algoritmo de evaluación de descargas parciales ejecutado por el segundo módulo 34.
- En el bloque 100, en la ejecución de la i-ésima prueba (con $1 \leq i \leq N$, donde N es el número de pruebas en una batería), los valores específicos de los parámetros de la prueba para la i-ésima prueba se leen desde una memoria adecuada (por ejemplo, la memoria flash antes mencionada) y se utiliza para inicializar constantes/variables adecuadas para ser utilizadas en el algoritmo. En el ejemplo mostrado en la figura 4, los valores específicos leídos de la memoria flash son un valor de ganancia; un valor de activación; valor numérico de los pulsos PD; un valor de duración de tiempo; un valor umbral de amplitud; un valor umbral de fase mínima; y un valor umbral máximo de fase.
- En particular, en el bloque 100, el segundo módulo 34 utiliza el valor de ganancia para ajustar la ganancia del amplificador diferencial 22 (por ejemplo, a través del potenciómetro digital 24) y el valor de activación para ajustar el nivel de activación en el circuito de activación 38. Por otra parte, el segundo módulo 34 utiliza el valor del número de pulsos PD para establecer el valor de una constante M; el valor de la duración del tiempo para establecer el valor de una constante T; el valor umbral de la amplitud para establecer el valor de una constante A_{\min} ; el valor umbral mínimo de fase para ajustar el valor de una constante P_{\min} ; y el valor umbral máximo de fase para establecer el valor de una constante P_{\max} . Además, en el bloque 100 una variable de recuento de PD se inicializa en 0.
- En el bloque 101, la recepción de datos digitales procedentes del elemento de adquisición de datos 20 se comprueba continuamente.
- Cuando no se reciben datos digitales, en el bloque 106 se comprueba si ha transcurrido un período de tiempo T desde el inicio de la ejecución de la i-ésima prueba. Si no ha transcurrido el período de tiempo T, la ejecución del algoritmo vuelve al bloque 101. Si ha transcurrido el período de tiempo T, la ejecución del algoritmo continúa en el bloque 107.
- Cuando en el bloque 101 se reciben datos digitales, en el bloque 102 se ejecuta una operación de filtrado de ruido, con el fin de eliminar los pulsos de ruido conocidos.
- Por ejemplo, la operación de filtrado puede realizarse ventajosamente, de acuerdo con técnicas conocidas en la técnica, mediante la asignación de los parámetros de T_e y B_{We} calculados por el primer módulo 32 para el pulso de corriente eléctrica en un plano de referencia del modelo T_e - B_{We} .
- El plano del modelo puede, por ejemplo, obtenerse probando previamente el aparato dentro de las actividades de descarga parcial y de ruido conocidas a priori.
- Se debe indicar que, de acuerdo con la invención, la operación de filtrado de ruido es un etapa opcional y preferida, pero no es necesaria. Por otra parte, se pueden utilizar técnicas de filtrado de ruido diferentes a la asignación del plano del modelo T_e - B_{We} . Por ejemplo, un análisis de forma de onda de pulso se puede realizar, de acuerdo con técnicas conocidas en la técnica, por ejemplo, usando redes neuronales.
- Cuando en el bloque 102 el pulso eléctrico adquirido se clasifica como ruido, entonces la ejecución del algoritmo continúa en el bloque 106.
- Cuando en el bloque 102 el pulso eléctrico adquirido no está clasificado como ruido, entonces en el bloque 103 el parámetro de amplitud máxima calculada por el primer módulo 32 para el pulso de corriente eléctrica se compara con A_{\min} .
- Si el parámetro de amplitud máxima es menor que A_{\min} , entonces la ejecución del algoritmo continúa en el bloque 106. De esta manera, los pulsos eléctricos que tienen una amplitud máxima inferior o igual a A_{\min} umbral no se tienen en cuenta para la evaluación de la generación de alarmas.
- Si el parámetro de amplitud máxima es mayor que o igual a A_{\min} , a continuación, en el bloque 104 el parámetro de fase calculado por el primer módulo 32 para el pulso eléctrico actual se compara con P_{\min} y P_{\max} .
- Si el parámetro de fase no está comprendido entre P_{\min} y P_{\max} , entonces la ejecución del algoritmo continúa en el bloque 106. De esta manera, los pulsos eléctricos que tienen un parámetro de fase no comprendido entre los umbrales P_{\min} y P_{\max} no se tienen en cuenta para la evaluación de la generación de alarmas.

Si el parámetro de fase está comprendido entre P_{\min} y P_{\max} , a continuación, en el bloque 105 la variable cuenta_PD se incrementa en 1 ($\text{cuenta_PD} = \text{cuenta_PD} + 1$) y la ejecución del algoritmo continúa en el bloque 106.

En consecuencia, sólo los pulsos eléctricos que superen todos los controles de los bloques 101-104 se tienen en cuenta para la evaluación de la generación de alarmas.

- 5 Cuando en el bloque 106 transcurre el período de tiempo T desde el inicio de la ejecución de la i-ésima prueba, a continuación, en el bloque 107 el valor de la variable cuenta_PD se compara con M.

Si cuenta_PD es menor que M, a continuación, en el bloque 109 se establece una ALARMA variable en un valor falso (por ejemplo, para el valor lógico 0).

- 10 Si cuenta_PD es mayor que o igual a M, a continuación, en el bloque 108 se establece una ALARMA variable en un valor verdadero (por ejemplo, para el valor lógico 1). De esta manera, el algoritmo de descarga parcial de evaluación produce un resultado positivo sólo cuando el número de pulsos eléctricos, que durante el período de tiempo T ha pasado con éxito los controles de los bloques 101 a 104, supera el valor predefinido M.

- 15 Después de la ejecución del bloque 108 y del bloque 109, la ejecución del algoritmo vuelve al bloque 100 para iniciar la ejecución de la prueba i-ésima+1. Cuando se ha completado la N-ésima prueba, la ejecución del algoritmo comienza de nuevo con la primera prueba de la batería.

- 20 El segundo módulo 34 de forma automática y continua ejecuta las N pruebas una tras otra y envía los resultados de las pruebas al módulo 36 de generación de alarmas. Como se ha indicado anteriormente, cuando el módulo 36 de generación de alarmas está alojado en un servidor remoto, el elemento 30 de procesamiento puede adaptarse para enviar dichos resultados de la prueba al módulo 36 de generación de alarmas remoto directamente o a través de la intermediación de otros nodos del sistema de transmisión de energía eléctrica.

- 25 Cada resultado de la prueba enviado al módulo 36 de generación de alarmas 36 puede comprender dos datos: la indicación del número de la prueba realizada y el resultado de la prueba (verdadero o falso). En el caso de $N = 128$, cada resultado de prueba puede, por ejemplo, codificarse en 8 bits, en el que el bit más significativo puede ser utilizado para indicar el resultado verdadero (1 lógico) o falso (0 lógico) de la prueba, mientras que los restantes 7 bits se pueden utilizar para indicar el número de la prueba (de 0 a 127).

El módulo 36 de generación de alarmas está adaptado para recibir los resultados de las pruebas del segundo módulo 34, para que los guarde, para analizar los resultados obtenidos a lo largo del tiempo mediante las mismas pruebas ejecutadas en diferentes tiempos de ejecución; y para generar una alarma en función del resultado de dicho análisis.

- 30 La evaluación de descargas parciales y el procedimiento de generación de alarmas de la invención se basa en la percepción del solicitante de que la actividad de descargas parciales no suele causar el fallo inmediato del sistema de aislamiento eléctrico, sino un deterioro progresivo y lento del mismo, que puede conducir a una avería eléctrica después de un largo periodo de tiempo (por ejemplo, después de semanas, meses o años). Por lo tanto, los datos pertinentes en vista de la generación de alarmas no son el resultado de una única prueba en sí, sino cambios que
35 los resultados de mismas pruebas que se han producido con el tiempo.

- 40 En consecuencia, el análisis de los resultados de las pruebas se realiza ventajosamente mediante el módulo 36 de generación de alarmas mediante: monitorización de la tendencia, como una función del tiempo, de los resultados obtenidos por las mismas pruebas realizadas en diferentes tiempos de ejecución, registro de los cambios experimentados con el tiempo en dichos resultados y evaluación sobre la activación de un procedimiento de alarma, en función de los cambios registrados.

- 45 Por ejemplo, el módulo 36 de generación de alarmas puede almacenar, en una zona de almacenamiento adecuada, todos los resultados obtenidos mediante la ejecución de forma continua de las N pruebas de la batería. Para cada una de una pluralidad de ventanas de tiempo predeterminadas (por ejemplo, día a día, semana a semana, mes a mes), el módulo 36 se puede calcular un porcentaje de resultados positivos (y negativos) obtenidos para cada una de las N pruebas ejecutadas durante dicha ventana de tiempo. Entonces, a través de una ventana de tiempo de deslizamiento, el módulo 36 puede comparar los porcentajes de resultados positivos obtenidos para las N pruebas en una ventana de tiempo (por ejemplo, en un día actual) con los porcentajes obtenidos para las N pruebas en una ventana de tiempo anterior (por ejemplo, en el día anterior). Esto permite activar el procedimiento de alarma cuando la diferencia en porcentaje para un número predeterminado de pruebas supera un umbral de porcentaje predeterminado. En una realización particularmente ventajosa, cuando el módulo 36 se encuentra en un servidor remoto, dicho número predeterminado de pruebas y/o dicho umbral en porcentaje predeterminado son paramétricos. De esta manera, sus valores reales se pueden cambiar de forma remota por parte de un operador dependiendo de las circunstancias. Por ejemplo, se pueden cambiar (por ejemplo, aumentar) cuando se realizan obras de carretera en el entorno del componente del sistema de transmisión de energía eléctrica bajo prueba, y se cambian de nuevo
55 (por ejemplo, disminuir) cuando los trabajos en la carretera terminan.

La monitorización de la tendencia, como una función del tiempo, de los resultados de las pruebas garantiza que un procedimiento de alarma no se activa en una situación en la que los resultados de las pruebas están distorsionados por factores externos temporales e impredecibles (tal como posibles fenómenos naturales, obras de carretera, y similares).

- 5 De hecho, si un resultado de la prueba se convierte en verdadero después de ser falso durante un cierto período de tiempo (por ejemplo, un mes), es ventajoso - antes de la activación de un procedimiento de alarma - verificar primero la persistencia del resultado verdadero durante un período de tiempo significativo. De hecho, puede suceder que el resultado de la prueba siga siendo verdadero sólo durante un período limitado de tiempo (por ejemplo, unos pocos días) - por ejemplo a causa de factores externos temporales e impredecibles (por ejemplo, obras de carretera cerca del componente del sistema de transmisión de energía eléctrica bajo control mediante el aparato 1) - y vuelve a ser falso cuando los factores externos se detienen.

Por lo tanto, de acuerdo con la invención, un procedimiento de generación de alarmas fiable se garantiza incluso cuando el sistema de transmisión de energía eléctrica bajo análisis se somete a fenómenos temporales impredecibles.

- 15 Una vez establecida la necesidad de generar una alarma, el módulo 36 de generación de alarmas del elemento de procesamiento 30 está adaptado ventajosamente para activar una alarma de acuerdo con técnicas conocidas en la técnica, por ejemplo mediante la activación de la generación de una señal de alarma (por ejemplo, alarma sonora y/o visual).

- 20 Para mostrar los resultados de las pruebas que se pueden obtener mediante el algoritmo de evaluación de descargas parciales ejecutado por el aparato de la invención, un prototipo del aparato se dispuso en un sistema de alta tensión formado por un bucle de corriente con una corriente que alcanza hasta 2000 A y una tensión que alcanza hasta 400 kV, en el que los defectos se introdujeron en el sistema de aislamiento del bucle de corriente.

El aparato operado permanentemente en un modo autónomo ejecutando sucesivamente una batería programada de 128 pruebas, cada una con una duración total de 20 s ($T = 20$ s).

- 25 La figura 5 es una representación gráfica de los resultados obtenidos mediante la realización de cuatro veces la batería de 128 pruebas.

- 30 En la figura 5 el eje x representa el número de pruebas realizadas por el algoritmo de evaluación de la descarga parcial. Cada vez que se realiza una prueba, el eje x se incrementa en una unidad. El eje y indica el resultado de la prueba, que - en la figura 5 - se expresa como el número de prueba, cuando el resultado de la prueba es negativo, y como el número de prueba plus 128, cuando el resultado de la prueba es positivo (por esta razón, los resultados de la prueba tienen un resultado de la prueba que aumenta a medida que el número de la prueba aumenta de 0 a 127 (para un total de 128 pruebas).

Las flechas A_1 , A_2 , A_3 , A_4 indican los resultados de la primera, segunda, tercera y cuarta serie de pruebas, respectivamente.

- 35 La línea B representa un límite (representado por el número 128) entre los resultados positivos de la prueba y los resultados negativos de la prueba. Por encima de la línea B, los resultados de la prueba son positivos, y por debajo de la línea B los resultados de la prueba son negativos. De hecho, en vista a lo que se ha explicado anteriormente, cuando una prueba de 0 a 127 tiene un resultado negativo, dicho resultado negativo de la prueba se representa en el eje y con un número, respectivamente, que va de 0 a 127. Cuando, en cambio, una prueba de 0 a 127 tiene un resultado positivo, dicho resultado positivo de la prueba se representa en el eje y con un número, respectivamente, que va desde $0 + 128$ a $127 + 128$.

- 40 En los experimentos realizados por el solicitante, la primera y segunda baterías de 128 pruebas se realizaron en condiciones normales, en ausencia de defectos en el sistema de aislamiento del circuito de corriente utilizado para los experimentos. En la ejecución de la tercera serie de pruebas, se introdujo un defecto en el sistema de aislamiento.

La figura 5 muestra que el algoritmo de evaluación de descarga parcial de repente reaccionó al nuevo defecto. De hecho, 6 pruebas de la batería, dando inicialmente un resultado negativo, comenzaron a dar un resultado positivo en la tercera y cuarta ejecución de la batería de pruebas (ver los resultados de las pruebas en círculos en la figura 5).

- 45 El aparato de la invención puede ser usado para monitorizar cualquier componente de un sistema de transmisión de energía eléctrica. Como las actividades de descargas parciales son generalmente más frecuentes en las uniones y/o terminaciones, los aparatos de la invención se pueden usar ventajosamente en un sistema de transmisión de energía eléctrica en asociación con uniones y/o terminaciones.

- 50 La figura 6 muestra un ejemplo de un sistema 200 de transmisión de energía eléctrica que comprende un primer terminal 210, un segundo terminal 220, una pluralidad de uniones 230, una pluralidad de cables 240 eléctricos entre dos uniones 230 o entre un terminal 210, 220 y una unión 230 y una pluralidad de aparatos 1 según la invención,

asociados con los terminales 210, 220, los cables 240 y las uniones 230.

Los cables eléctricos 240 pueden ser cables eléctricos de alta o media tensión.

El término media tensión se utiliza para indicar tensiones de 1 a 35 kV.

El término alta tensión se utiliza para indicar tensiones superiores a 35 kV.

- 5 El sistema de transmisión de energía eléctrica 200 puede ser, por ejemplo, de tipo terrestre o submarino.

Los cables eléctricos 240 pueden comprender al menos un núcleo que comprende un conductor eléctrico rodeado por al menos una capa aislante, y al menos una funda de protección. Opcionalmente, el núcleo comprende además al menos una capa semiconductor y una pantalla de metal.

El núcleo puede ser un núcleo de una sola fase.

- 10 En los sistemas de corriente alterna, los cables eléctricos 240 ventajosamente son cables de tres fases, cada uno compuesto por tres núcleos aislados monofásicos.

Los tres núcleos aislados pueden protegerse juntos dentro de una sola funda o pueden estar protegidos individualmente dentro de tres fundas separadas.

- 15 Como se describió anteriormente, los aparatos 1 según la invención están adaptados para detectar y evaluar las descargas parciales y para activar una alarma en caso de necesidad.

La alarma puede enviarse desde los aparatos 1 a una estación 260 remota central a través de técnicas conocidas en la técnica como, por ejemplo, a través de radiofrecuencia (RF) adecuada, fibra óptica, GSM/GPRS y/o enlaces eléctricos cableados.

- 20 El sistema 200 de transmisión de energía eléctrica también está ventajosamente equipado con un sistema de control que comprende una pluralidad de nodos 250 de vigilancia colocados en asociación con las uniones 230, cables eléctricos 240 y terminales 210, 220 del sistema 200 de transmisión de energía eléctrica. Los nodos 250 de vigilancia están adaptados para monitorizar diversos parámetros (tales como la temperatura del cable, la temperatura ambiental, la humedad ambiental, las inundaciones de agua, la corriente del cable, la corriente de la pantalla, la tensión del cable, fuego, gas, apertura de puertas de acceso, la tensión del cable, el desplazamiento del cable, las vibraciones, y similares) del sistema 200 de transmisión de energía eléctrica y para transmitir los datos recogidos a la estación 260 remota.

Los aparatos 1 según la invención se pueden adaptar para comunicar las señales de alarma directamente a la estación 260 remota o, alternativamente, al nodo 250 de monitorización más cercano, que a vez estará adaptado para transmitir la señal de alarma a la estación 260 remota.

- 30 Por ejemplo, el sistema de monitorización puede ser ventajosamente del tipo descrito en la solicitud de patente PCT/EP2009/005520, en la que los nodos 250 de monitorización están conectados entre sí en cascada a través de una pluralidad de enlaces de datos y están adaptados para operar alternativamente en un modo durmiente y en un modo activo, de manera que los datos adquiridos por los nodos de monitorización durante los modos activos se envían hacia una unidad central (no mostrada), haciendo que los datos pasen desde un nodo de monitorización a otro, partiendo de los nodos de monitorización que generan los datos de salida hasta que un último nodo de monitorización, que reenvía los datos de salida a la unidad central. La unidad central recoge los datos de salida procedentes de todos los nodos de monitorización 250 y los transmite a la estación 260 remota. La unidad central puede conectarse a un módem o a un enrutador (no mostrados) para su comunicación con la estación 260 remota, de acuerdo con un protocolo de comunicación predeterminado.

- 40 Las comunicaciones entre la unidad central y la estación 260 remota 260 pueden realizarse, en parte, a través de una red GSM/GPRS 280.

Los enlaces de datos entre los nodos 250 de monitorización y entre el último nodo de monitorización y la unidad central se pueden conectar por cable (por ejemplo, enlaces ópticos o eléctricos) o de manera inalámbrica (por ejemplo, enlaces de RF).

- 45 De acuerdo con otra realización (no mostrada), los aparatos 1 según la invención y, opcionalmente, los nodos 250 de monitorización pueden estar instalados en una subestación (por ejemplo, una subestación urbana), que comprende partes terminales de una pluralidad de cables que pertenecen a un mismo sistema o a diferentes sistemas de transmisión de energía eléctrica, para monitorizar las partes terminales de dicha pluralidad de cables. Por ejemplo, se pueden instalar de manera que cada parte de terminal que se monitoriza está acoplada a al menos un aparato 1 y a un nodo 250 de monitorización.

- 50 Los aparatos 1 y/o los nodos 250 de monitorización, ventajosamente, pueden ser alimentados por una fuente de alimentación principal remota, por ejemplo a través de una línea de suministro eléctrico adecuada.

5 Los aparatos 1 y/o los nodos 250 de monitorización se suministran preferiblemente mediante generadores de energía locales (no mostrados) que producen ventajosamente energía eléctrica mediante la explotación de fuentes locales como fuerzas generadoras situadas en el sistema de transmisión de energía eléctrica o en el entorno en el que el sistema opera como, por ejemplo, un campo magnético generado por la corriente alterna (CA) que fluye a lo largo de un cable eléctrico del sistema de cable, las vibraciones, la luz del sol.

Los generadores de energía eléctrica locales pueden, por ejemplo, ser del tipo fotovoltaico (en caso de un sistema de cable aéreo) o del tipo de vibración (adaptado para transformar las vibraciones del cable en energía eléctrica).

10 De acuerdo con una realización preferida de la invención, los generadores de energía eléctrica locales son del tipo magnético, adaptados para transformar el campo magnético generado por una corriente alterna que fluye a lo largo de un cable de CA del sistema de transmisión de energía eléctrica en energía eléctrica.

Preferiblemente, los generadores de energía eléctrica locales son del tipo descrito en la solicitud de patente PCT/EP2009/005508, que comprende un cuerpo ferromagnético en forma de arco que se extiende a lo largo de un eje longitudinal y al menos un conductor eléctrico bobinado enrollado alrededor del cuerpo ferromagnético para formar vueltas en planos sustancialmente perpendiculares al arco.

15 Se recuerda que la invención incluye el caso en el que el primer módulo 32, el segundo módulo 34 y el módulo 36 de generación de alarmas están todos situados en un mismo lugar (es decir, en el aparato 1 en las proximidades del componente del sistema de transmisión de energía eléctrica bajo monitorización) y el caso en el que dichos módulos están en parte situados en las proximidades del componente bajo monitorización y en parte (por ejemplo, el módulo 36 de generación de alarmas) de forma remota, por ejemplo en la estación 260 remota.

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de monitorización de descargas parciales en un sistema de transmisión de energía eléctrica, que comprende las etapas de:
 - 5 - detectar pulsos eléctricos emitidos desde un componente del sistema de transmisión de energía eléctrica;
 - realizar sobre los pulsos eléctricos detectados una batería de una pluralidad de pruebas adaptadas para proporcionar cada una un resultado indicativo de la presencia o ausencia de una posible actividad de descargas parciales, comprendiendo cada una de dicha pluralidad de pruebas un conjunto de operaciones de adquisición y evaluaciones de los pulsos eléctricos detectados, ejecutándose dichas operaciones de adquisición y evaluación en condiciones definidas por:
 - 10 ▪ al menos 2 parámetros de prueba seleccionados entre: nivel de activación, nivel de ganancia de amplificación de pulsos eléctricos, umbral mínimo de amplitud de los pulsos eléctricos A_{min} , umbral mínimo del parámetro de fase de los pulsos eléctricos P_{min} , umbral máximo del parámetro de fase de los pulsos eléctricos P_{max} , duración del tiempo de prueba T , número mínimo de umbral de los pulsos de descarga parcial M , y
 - 15 ▪ un valor numérico de dichos al menos 2 parámetros de prueba,
 - ejecutándose la pluralidad de pruebas en sucesión una tras otra según una secuencia de tiempo predefinida y siendo iguales entre sí porque comprenden el conjunto idéntico de las operaciones de adquisición y evaluación, excepto por el valor numérico tomado por al menos uno de dichos al menos 2 parámetros de prueba;
 - 20 - repetir dicha batería de pruebas durante un periodo de tiempo predeterminado;
 - analizar los resultados obtenidos por las baterías de pruebas ejecutadas en dicho periodo de tiempo predeterminado; y
 - generar una alarma dependiendo del resultado de dicho análisis, en presencia de una variación de los resultados de las baterías ejecutadas durante dicho periodo de tiempo.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa de análisis comprende comparar los resultados obtenidos en dicho periodo de tiempo predeterminado mediante las mismas pruebas de la batería ejecutadas en diferentes tiempos de ejecución.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la etapa de comparar comprende la etapa de calcular, para cada una de al menos dos ventanas de tiempo predeterminadas dentro de dicho periodo de tiempo predeterminado, los promedios de tiempo de los resultados obtenidos en cada ventana de tiempo mediante las mismas pruebas ejecutadas en diferentes tiempos de ejecución.
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que los promedios de tiempo calculados para las pruebas de la batería en una de dichas al menos dos ventanas de tiempo predeterminadas se comparan con los promedios de tiempo calculados para las pruebas correspondientes de la batería en la otra de dichas al menos dos ventanas de tiempo predeterminadas.
5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que las operaciones de adquisición comprenden al menos una operación seleccionada entre: filtrado de los pulsos eléctricos, amplificación de los pulsos eléctricos, conversión analógica a digital de los pulsos eléctricos y su activación.
6. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que los parámetros de prueba comprenden un nivel de ganancia para la amplificación de los pulsos eléctricos y, para cada i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, las operaciones de adquisición comprenden una operación de amplificación de los pulsos eléctricos detectados, que se realiza en el valor de ganancia tomado por el parámetro de prueba del nivel de ganancia en la i -ésima prueba.
7. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que los parámetros de prueba comprenden un nivel de activación y, para cada i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, las operaciones de adquisición comprenden una operación de activación, que se realiza en el valor de activación tomado por el parámetro de prueba del nivel de activación en la i -ésima prueba.
8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las operaciones de evaluación comprenden operaciones de comparación adaptadas para identificar posibles descargas parciales entre los pulsos eléctricos adquiridos a través de las operaciones de adquisición.
9. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que las operaciones de evaluación comprenden comparaciones entre los valores tomados por los parámetros de los pulsos calculados en relación con pulsos eléctricos adquiridos durante la ejecución de la i -ésima prueba, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería, y valores tomados por los correspondientes parámetros de prueba en la i -ésima prueba.

- 5 10. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que los parámetros de prueba comprenden un umbral mínimo M para el número de descargas parciales, y cada i-ésima prueba devuelve un resultado positivo cuando el número de pulsos eléctricos identificados como descargas parciales, entre los pulsos eléctricos adquiridos durante la ejecución de la i-ésima prueba, es, al menos, igual al valor tomado en la i-ésima prueba mediante el umbral mínimo M, en el que $1 \leq i \leq N$ y N es el número de las diferentes pruebas en la batería.
11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la i-ésima prueba devuelve un resultado negativo cuando dicho número de pulsos eléctricos identificados como descargas parciales es inferior a dicho valor tomado por el umbral mínimo M en la i-ésima prueba.
- 10 12. Un aparato (1) para la monitorización de descargas parciales en un sistema (200) de transmisión de energía eléctrica, que comprende:
- al menos un módulo (10, 40) de detección operativamente asociado con un componente del sistema (200) de transmisión de energía eléctrica para recibir y detectar pulsos eléctricos emitidos desde el mismo;
 - un módulo (60) de adquisición y evaluación, conectado a dicho al menos un módulo (10, 40) de detección, adaptado para repetir, durante un período de tiempo predeterminado, una batería de una pluralidad de pruebas sobre los pulsos eléctricos detectados, ejecutándose las pruebas de acuerdo con valores numéricos de al menos dos parámetros de prueba, predeterminados para ser al menos en parte diferentes entre las pruebas, seleccionándose los parámetros de prueba en el grupo de: nivel de activación, nivel de ganancia de amplificación de los pulsos eléctricos, umbral mínimo de amplitud de los pulsos eléctricos A_{\min} , umbral mínimo del parámetro de fase de los pulsos eléctricos P_{\min} , umbral máximo del parámetro de fase de los pulsos eléctricos P_{\max} , duración del tiempo de prueba T, número mínimo de umbral de pulsos de descarga parcial M;
 - un módulo (36) de generación de alarmas conectado al módulo (60) de adquisición y evaluación para recibir los resultados obtenidos por las baterías de pruebas ejecutadas en dicho periodo de tiempo predeterminado, estando adaptado el módulo (36) de generación de alarmas para analizar los resultados de dichas baterías de pruebas para detectar la presencia de una variación en dichos resultados, y adaptado para generar una alarma en presencia de dicha variación,
- 15 20 25 **caracterizado porque** las pruebas ejecutadas por el módulo (60) de adquisición y evaluación están configuradas para proporcionar un resultado indicativo de la presencia o ausencia de una posible actividad de descarga parcial.
13. Un sistema (200) de transmisión de energía eléctrica, que comprende:
- una pluralidad de cables eléctricos (240);
 - una pluralidad de conexiones (230) entre los cables eléctricos;
 - al menos dos estaciones terminales (210, 220);
 - al menos un aparato (1) de monitorización de descargas parciales según la reivindicación 12, asociado con un componente del sistema de transmisión de energía eléctrica seleccionado entre dichos cables eléctricos (240), dichas conexiones (230) y dichas estaciones terminales (210, 220).
- 30 35 14. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que las pruebas de la batería se realizan en diferentes pulsos eléctricos detectados.
15. Aparato (1) de acuerdo con la reivindicación 12, en el que los valores numéricos de los al menos dos parámetros de prueba, predeterminados para ser al menos en parte diferentes entre las pruebas, son representativos de los diferentes ajustes del aparato (1).

40

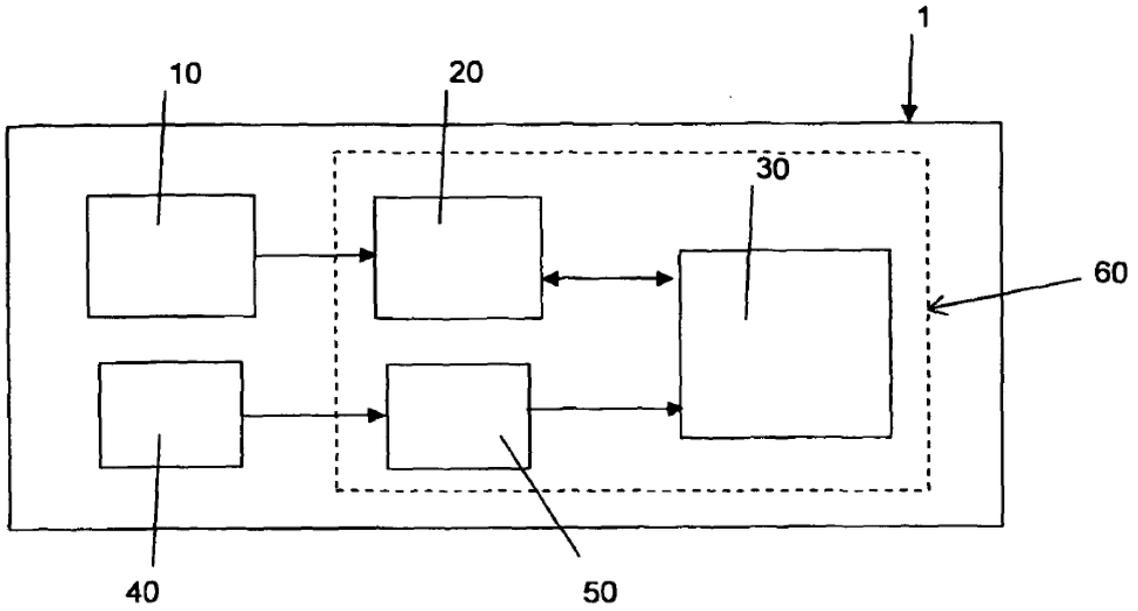


Fig. 1

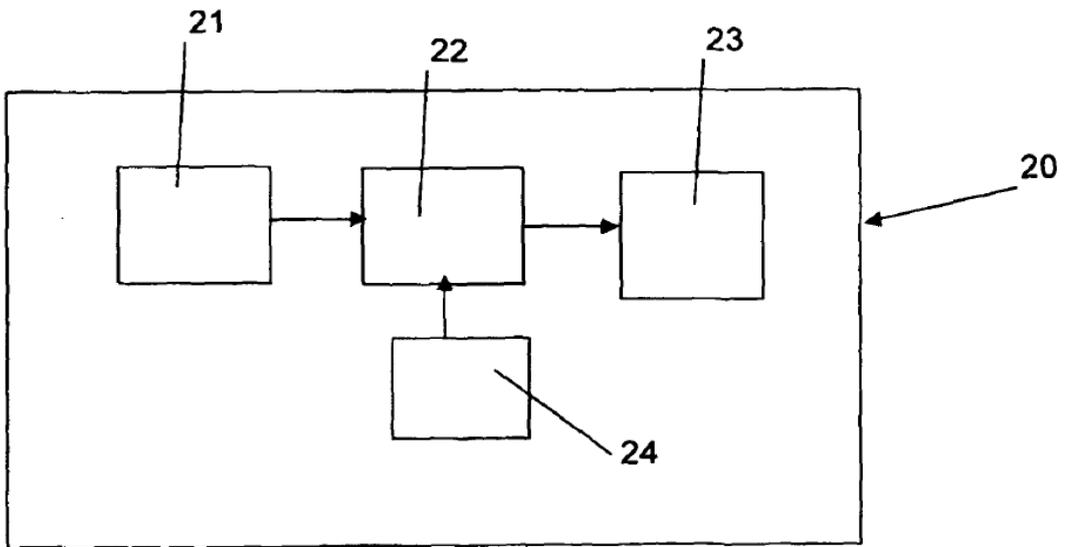


Fig. 2

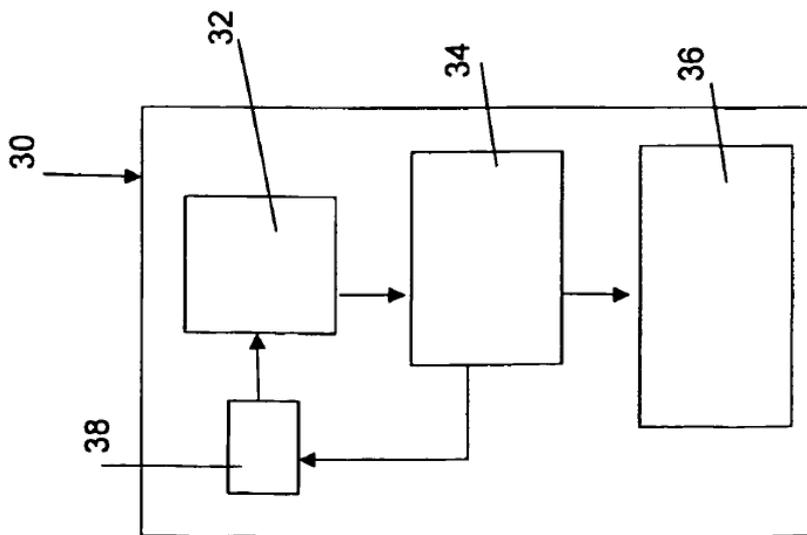


Fig. 3a

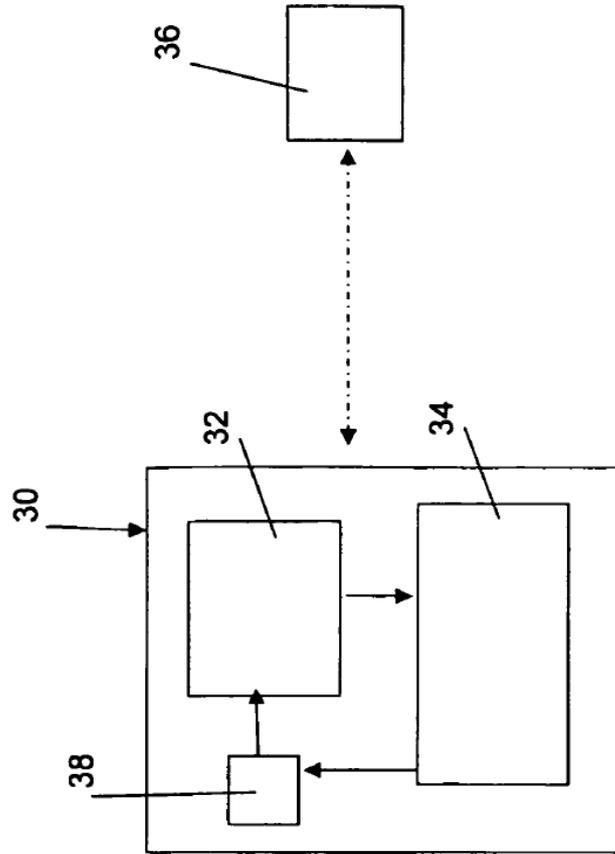


Fig. 3b

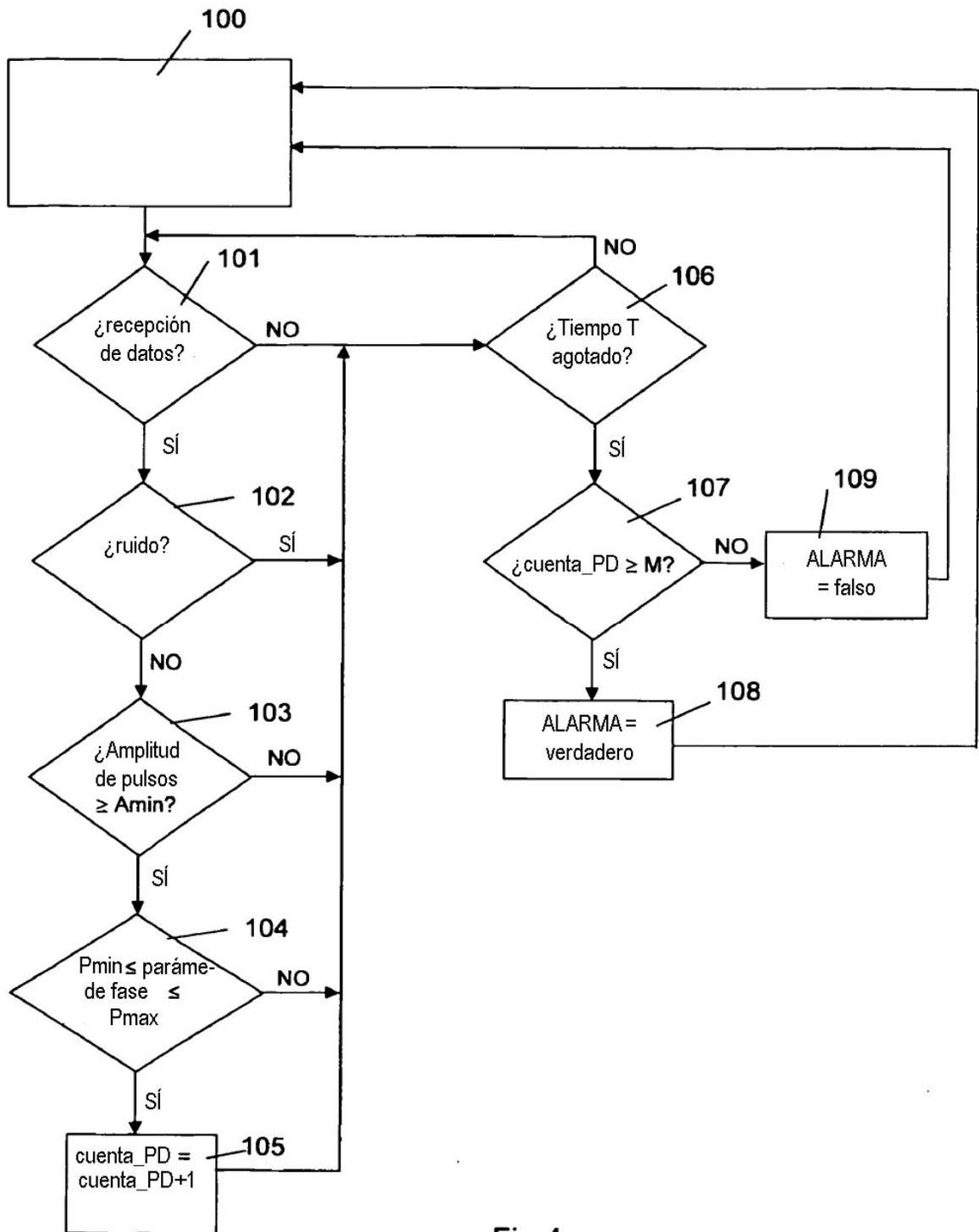


Fig.4

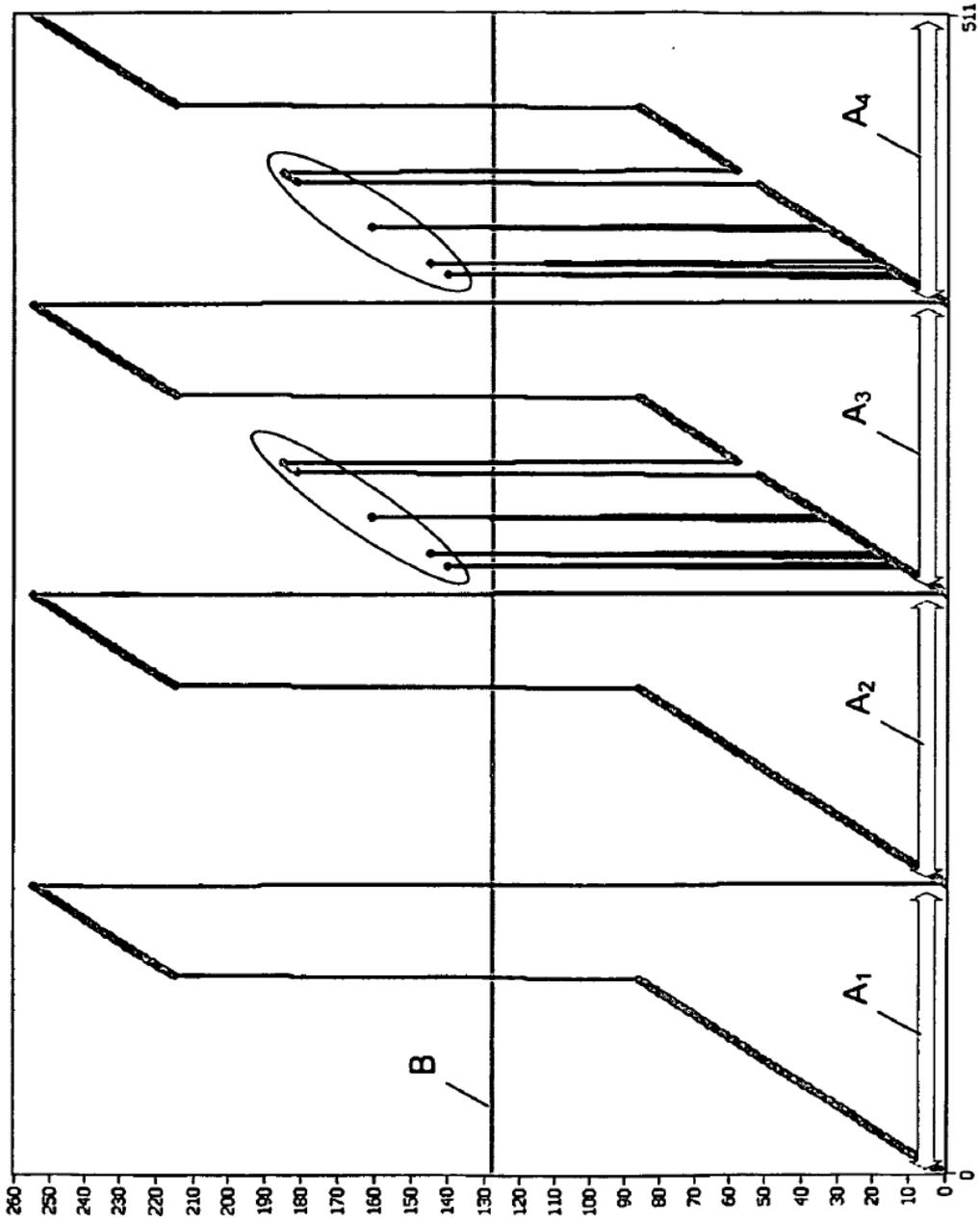


Fig. 5

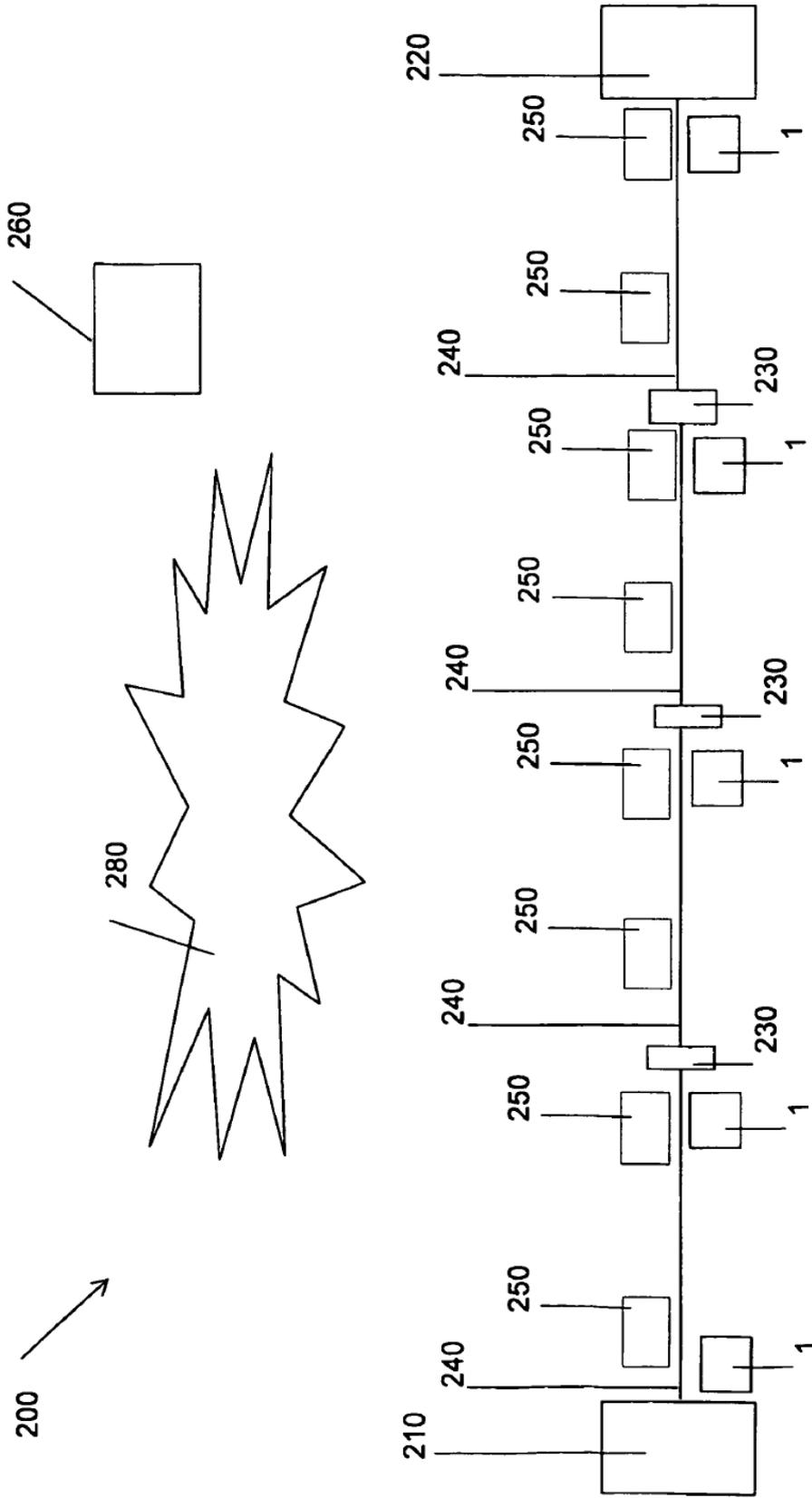


Fig. 6