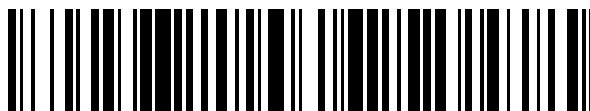


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 685 744**

51 Int. Cl.:

G01R 31/11 (2006.01)

G01R 31/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2008** **E 08290221 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018** **EP 2098877**

54 Título: **Procedimiento, dispositivo e instalacion de localizacion de un fallo en una conexión electrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
11.10.2018

73 Titular/es:

**RTE RÉSEAU DE TRANSPORT D'ELECTRICITÉ
(100.0%)
Tour Initiale, 1 terrasse Bellini, TSA 41000
92919 Paris La Défense Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**SURDON, MATTHIEU;
AUCOURT, CHRISTIAN y
BOURGEAT, XAVIER**

74 Agente/Representante:

AZNÁREZ URBIETA, Pablo

ES 2 685 744 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

Procedimiento, dispositivo e instalacion de localizacion de un fallo en una conexión electrica

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento, un dispositivo y una instalación para localizar un fallo en una conexión eléctrica. Por conexión eléctrica se entiende una conexión que comprende un cable eléctrico o una pluralidad de cables eléctricos conectados entre sí.
- 10 La invención se aplica en particular a la localización de fallos en cables de transmisión de energía eléctrica en conexiones que incluyen, por ejemplo, cables eléctricos submarinos y/o subterráneos, para los cuales es difícil intervenir y, por lo tanto, es necesario obtener una ubicación precisa y fiable.
- 15 Más específicamente, la invención se refiere a un procedimiento que comprende las etapas que consisten en emitir, en un primer instante, una señal eléctrica con una velocidad de propagación predeterminada desde un extremo de la conexión eléctrica, y en detectar, en un segundo instante, la recepción de un eco de esta señal eléctrica.
- 20 Tal procedimiento se describe en la solicitud de patente francesa publicada con el número FR 2 784 192. En este documento, el procedimiento descrito se presenta como aplicándose en particular a cables de redes de telecomunicación. En primer lugar se emite una señal de pulso en un primer extremo de un cable que presenta un fallo. A continuación ecos sucesivos, debidos a las múltiples reflexiones de la señal de pulso en el fallo después de varias idas y vueltas entre el primer extremo y el fallo, se reciben y se visualizan en la pantalla de un osciloscopio. A una velocidad de propagación constante V , si el retorno del primer eco se detecta al cabo de un tiempo t después de la emisión de la señal de pulso, se deduce de ello la longitud L del cable atravesada entre el primer extremo del cable y el
- 25 fallo, utilizando la siguiente relación de proporcionalidad: $L = \frac{V}{2} t$. En el osciloscopio, el eje de abscisas puede entonces graduarse directamente en metros en lugar de microsegundos, ya que la velocidad de propagación de la señal de pulso a lo largo del cable es conocida. En efecto, de acuerdo con una propiedad ventajosamente explotada en este documento, las características internas del cable de red de telecomunicaciones que tiene el fallo son muy homogéneas en toda su longitud y el medio externo no tiene influencia sobre la propagación en el interior del cable, de modo que la velocidad de propagación de la señal de pulso en el cable se puede considerar como conocida y constante.
- 30 Por lo tanto, un operador puede leer directamente en el osciloscopio, sin cálculo adicional, la distancia L entre el primer extremo del cable y el fallo.
- 35 Lamentablemente, este procedimiento aplicado a la localización o la localización previa de fallos en las conexiones de transporte de energía eléctrica, especialmente de los cables aislados de energía submarinos o subterráneos, o una combinación de estos dos tipos de cables, no da un resultado preciso. Se ha constatado que el error de localización puede alcanzar más de un kilómetro para un cable submarino de menos de cincuenta kilómetros. Esto es muy lamentable porque, precisamente para este tipo de cable cuya longitud suele ser de decenas de kilómetros, la dificultad para intervenir en la reparación de un fallo requiere una fiabilidad importante del resultado.
- 40 Por lo tanto, puede ser deseable superar este inconveniente proponiendo un procedimiento de localización de fallos por ecometría que asegure una corrección para una mejor precisión.
- El objeto de la invención es, por lo tanto, un procedimiento para localizar un fallo en una conexión eléctrica que comprende las etapas consistentes en:
- 45
- emitir, en un primer instante, una señal eléctrica con una velocidad de propagación predeterminada desde un extremo de la conexión eléctrica;
 - detectar, en un segundo instante, la recepción de un eco de esta señal eléctrica,
- caracterizado porque comprende además las etapas que consisten en:
- 50
- establecer un modelo de variación de la velocidad de propagación de la señal eléctrica en la conexión eléctrica en función de la longitud de la conexión recorrida por la señal,
 - estimar una localización del fallo en función de la diferencia entre el primer instante y el segundo instante, de la velocidad predeterminada de propagación y del modelo de variación de velocidad en la conexión.

- De hecho, se ha observado que la velocidad de propagación de la señal de pulso en ciertos cables, aunque conocida en el momento de la emisión, no puede considerarse constante, en particular debido a las pérdidas dieléctricas en un aislante de estos cables: en particular, es el caso de todos los llamados cables "aislados" para el transporte de energía eléctrica. Esta variación de la velocidad de propagación explica el error en el resultado proporcionado por un procedimiento clásico, independientemente de un error de lectura siempre posible por el operador. Tomar en cuenta un modelo de variación de la velocidad de propagación de la señal eléctrica en una conexión eléctrica considerada, permite entonces corregir este error y proporcionar una localización o una pre-localización satisfactoria del fallo.
- De acuerdo con un modo de realización, un procedimiento según la invención comprende además una etapa que consiste en definir, con la ayuda del modelo de variación de la velocidad de propagación de la señal eléctrica en la conexión eléctrica, una tabla de correspondencia entre, por una parte, valores de diferencia entre el primer y segundo instante y, por otra parte, distancias supuestas del fallo en un punto de referencia de la conexión eléctrica.
- Según un modo de realización, el modelo de variación de la velocidad de propagación de la señal eléctrica en la conexión eléctrica es un modelo con factor de pérdidas dieléctricas y con permitividad dieléctrica de un aislante de la conexión variables en función de una frecuencia de la señal y, por lo tanto, de la longitud de la conexión eléctrica recorrida por la señal, que induce a una disminución de la velocidad de propagación de la señal.
- De acuerdo con un modo de realización, la recepción, en el segundo instante, del eco de la señal eléctrica se determina cuando la amplitud de este eco alcanza un porcentaje predeterminado, en particular el diez por ciento, de su amplitud máxima. Esto facilita su lectura y por lo tanto mejora la precisión de la detección de la recepción.
- De acuerdo con un modo de realización, un procedimiento según la invención comprende además las etapas siguientes:
- medir al menos una parte de los componentes de un campo electromagnético en las proximidades de la localización estimada del fallo en varias ubicaciones a lo largo de la conexión;
 - deducir en consecuencia una estimación de la variación de al menos esta parte de los componentes del campo electromagnético a lo largo de la conexión eléctrica en las proximidades de la localización estimada del fallo;
 - estimar una nueva localización del fallo en función de la variación estimada de al menos esta parte de los componentes del campo electromagnético.
- De acuerdo con un modo de realización, un procedimiento de acuerdo con la invención comprende además las etapas que consisten en:
- medir, al menos una parte de los componentes del campo electromagnético en las proximidades de la localización estimada del fallo en varias ubicaciones a lo largo de la conexión;
 - deducir de ello una estimación de la variación de al menos esta parte de los componentes del campo electromagnético a lo largo de la conexión eléctrica en las proximidades de la ubicación estimada del fallo;
 - estimar una nueva ubicación del fallo de acuerdo con la variación estimada de al menos esta parte de los componentes del campo electromagnético.
- De acuerdo con un modo de realización, un procedimiento de acuerdo con la invención comprende además las etapas que consisten en:
- medir, utilizando un sistema con tres bobinas ortogonales entre sí, el módulo completo del campo electromagnético en las proximidades de la localización estimada del fallo, en varias ubicaciones a lo largo de la conexión;
 - deducir de ello una estimación de la variación del módulo completo del campo electromagnético a lo largo de la conexión eléctrica en las proximidades de la localización estimada del fallo;
 - estimar una nueva localización del fallo de acuerdo con la detección de un punto de inflexión en la variación estimada del módulo completo del campo electromagnético a lo largo de la conexión.
- Según un modo de realización, las mediciones, en varios lugares a lo largo de la conexión, de al menos una parte de los componentes del campo electromagnético se realizan según un trayecto constituido por pasos transversales sucesivos al nivel de la conexión, en particular según un trazado en bústrofedón.
- Según un modo de realización, el campo electromagnético medido se genera mediante la circulación en la conexión eléctrica de una corriente de frecuencia predeterminada y en el cual la porción medida de los componentes del campo electromagnético se filtra usando un sistema de filtrado de pasa-banda regulado alrededor de esta frecuencia predeterminada de la corriente.

La invención también se refiere a un dispositivo para localizar un fallo en una conexión eléctrica, destinado a ser conectado a un extremo de la conexión eléctrica, que comprende:

- un generador de señal para emitir, en un primer instante, una señal eléctrica con una velocidad predeterminada de propagación desde un extremo de la conexión eléctrica;
- un receptor de señal para detectar, en un segundo instante, la recepción de un eco de esta señal eléctrica,

caracterizado porque comprende además:

- medios de almacenamiento de datos a partir de un modelo de variación de la velocidad de propagación de la señal eléctrica en la conexión eléctrica en función de la longitud de la conexión recorrida por la señal;
- un calculador configurado para estimar una localización del fallo, utilizando los datos almacenados, en función de la diferencia entre el primer instante y el segundo instante, de la velocidad predeterminada de propagación al inicio y del modelo de variación de velocidad en la conexión.

Finalmente, la invención también se refiere a una instalación para localizar un fallo en una conexión eléctrica, que comprende una conexión eléctrica que tiene un fallo y dos dispositivos de localización de acuerdo con la invención respectivamente conectados a dos extremos diferentes de la conexión.

La invención se comprenderá mejor con la ayuda de la descripción que sigue, dada únicamente a título de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 muestra esquemáticamente y parcialmente la estructura de una instalación de transmisión de energía eléctrica, mediante cables aislados subterráneos y submarinos, provista de dispositivos para localizar un fallo de acuerdo con un primer aspecto de la invención;
- la figura 2 muestra esquemáticamente y en sección un cable aislado submarino de transmisión de energía eléctrica que presenta un fallo;
- las figuras 3a y 3b ilustran gráficamente las variaciones correlacionadas de un factor de pérdidas dieléctricas y de una permitividad dieléctrica en los cables de la figura 1 en función de la distancia recorrida por una señal en estos cables;
- las figuras 4a y 4b ilustran gráficamente varios modelos simplificados de variación de la velocidad de propagación de una señal eléctrica en los cables de la figura 1 en función de la longitud del cable recorrida por esta señal;
- la figura 5 ilustra gráficamente el aspecto general de un eco de señal eléctrica detectado en un extremo de los cables de la figura 1,
- la figura 6 ilustra las etapas sucesivas de un procedimiento de localización de fallo de acuerdo con el primer aspecto de la invención,
- la figura 7 representa esquemáticamente una instalación para poner en funcionamiento un procedimiento de localización de fallo de acuerdo con otro aspecto de la invención,
- la figura 8 representa esquemáticamente un dispositivo de medición de la instalación de la figura 7,
- la figura 9 ilustra gráficamente un principio de medición realizada por el dispositivo de la figura 8,
- la figura 10 ilustra las etapas sucesivas del procedimiento de localización de fallo puesto en funcionamiento por la instalación de la figura 7, y
- la figura 11 representa esquemáticamente la realización de una etapa particular del procedimiento de localización de fallo puesto en funcionamiento por la instalación de la figura 7.

Primer aspecto de la invención: localización o pre-localización de un fallo por ecometría

La instalación 10 de transmisión de energía eléctrica de la figura 1 comprende una conexión eléctrica que comprende dos cables eléctricos 12 y 14 conectados entre sí extremo con extremo. El cable 12 es un cable subterráneo, mientras que el cable 14 es un cable submarino. A modo de ejemplo, se considerará en el resto de la descripción que esta instalación ilustra esquemáticamente y parcialmente un bi-polo de la conexión IFA2000, cuyo primer extremo 16, llamado el extremo de Sellindge, se encuentra en Gran Bretaña y cuyo segundo extremo 18, llamado extremo de Sangatte, se encuentra en Francia. Los cables 12 y 14 están conectados entre sí por medio de una unión 20, llamada unión de Folkestone, ubicada en Gran Bretaña. En realidad, un bi-polo de la conexión IFA2000 comprende dos pares de cables tales como el conjunto constituido por los cables 12 y 14, pero la representación simplificada de la figura 1 es suficiente para comprender el principio de la invención.

El cable submarino 14, de aproximadamente 44,6 kilómetros de longitud, conecta el extremo de Sangatte 18 con la unión Folkestone 20. El cable subterráneo 12, de aproximadamente 18,5 kilómetros de longitud, conecta la unión de Folkestone 20 con el extremo Sellindge. Estos cables 12 y 14 permiten conectar dos redes 22, 24 para transportar y distribuir energía eléctrica en Gran Bretaña y Francia.

Cuando aparece un fallo 26 en uno de los cables 12 o 14, aquí el cable submarino 14, a una distancia L1, a lo largo del cable, desde el extremo de Sellindge 16 y L2 del extremo de Sangatte 18, un procedimiento para localizar este fallo consiste en inyectar una señal de pulso en la conexión eléctrica y en detectar el retorno de un eco de esta señal después de la reflexión sobre el fallo. Como la unión de Folkestone no puede abrirse, es posible inyectar esta señal de pulso solo desde el extremo de Sellindge 16 o de Sangatte 18.

Para esto, al menos un dispositivo de localización 28 está conectado a la instalación, ya sea al nivel del extremo de Sellindge 16, o al nivel del extremo de Sangatte 18, o en cada uno de estos dos extremos. En el ejemplo ilustrado en la figura 1, dos dispositivos de localización 28 están conectados respectivamente a los dos extremos 16 y 18.

Cada uno de estos dispositivos de localización comprende:

- un generador 30 de señal para emitir, en un primer instante, una señal eléctrica con una velocidad predeterminada V_0 de propagación desde un extremo 16 o 18 del conjunto de cables 12, 14,
- un receptor de señal 32 para la detección, en un segundo instante, de la recepción de un eco de esta señal eléctrica en este mismo extremo 16 o 18,
- medios 34 para almacenar datos procedentes de un modelo de variación la velocidad de propagación de la señal eléctrica en el conjunto de cables 12, 14 en función de la longitud de cable recorrida por la señal, y
- un calculador 36, configurado para estimar una localización del fallo 26 usando los datos almacenados, en función de la diferencia entre el primer instante y el segundo instante, de la velocidad predeterminada de propagación y del modelo de variación de velocidad en el conjunto de cables 12, 14.

El conjunto constituido por los medios de almacenamiento 34 y el calculador 36 puede ser en la práctica un ordenador simple capaz de controlar el generador 30 y de procesar las señales proporcionadas por el receptor 32. El conjunto constituido por el generador 30 y el receptor 32 puede ser en la práctica un ecómetro convencional. Por lo tanto, cada dispositivo de localización 28 puede estar constituido por un ecómetro controlado por un ordenador.

En la figura 2, el cable submarino 14, de forma general cilíndrica, se muestra en sección al nivel del fallo 26. Comprende un conductor 40, por ejemplo de cobre, rodeado por un semiconductor interno 42 y luego por un aislante 44 constituido, para la conexión IFA2000, por cintas de papel impregnadas con aceite. El aislante 44 también está rodeado por un semiconductor externo 46. El semiconductor interno 42 está constituido por ejemplo, por cintas de papel cargadas de carbono y el semiconductor exterior 46, por tela metalizada.

Este conjunto está rodeado por una pantalla conductora 48, por ejemplo de plomo, luego por una funda 50, y finalmente por una armadura de acero 52 para sostener y proteger mecánicamente el cable 14.

Se observará que el cable representado en la figura 2 se presenta con fines puramente ilustrativos y no limitativos. La invención se aplica a cualquier tipo de cables eléctricos llamados "aislados", incluidos aquellos que no incluyen armadura.

El fallo 26 aparece cuando el aislante 44 ya no realiza su función correctamente, de modo que una parte de la corriente transportada pasa entre el núcleo conductor 40 y la pantalla 48. Este paso axial de corriente quema el aislante 44 y crea entonces un cortocircuito entre el núcleo y la pantalla.

Es este cortocircuito el que produce una singularidad de impedancia, permitiendo la localización del fallo 26 por ecometría.

Aunque se conozca la velocidad V_0 de propagación de una señal de pulso desde un extremo 16 o 18 del conjunto de cables 12, 14, el considerar que esta velocidad es la velocidad constante de propagación de la señal entre el extremo y el fallo, y luego, después de la reflexión, entre el fallo y el extremo, conduce a errores de medición. De hecho, tal simplificación supone que las pérdidas dieléctricas son insignificantes, pero también que el factor de pérdidas dieléctricas y la permitividad dieléctrica del aislante 44 son independientes de las frecuencias del espectro de la señal de pulso.

Sin embargo, un estudio analítico, correlacionado con mediciones hechas en los cables 12 y 14, muestra que el factor de pérdidas dieléctricas del aislante 44 varía con la frecuencia de la señal, de modo que una señal de pulso sufre distorsiones de pérdida variables en sus componentes de frecuencia. La tabla siguiente muestra las características de los cables 12 y 14.

	Cable 14	Cable 12
Diámetro sobre conductor (mm)	35	40,2
Resistividad del conductor ($\Omega.m$)	$1,7241 \cdot 10^{-8}$	$1,7241 \cdot 10^{-8}$
Diámetro del canal central (mm)		20
Diámetro sobre pantalla exterior (mm)	68,8	67,8
Espesor de la pantalla (mm)	3,2	3,1
Resistividad de la pantalla ($\Omega.m$)	$21,4 \cdot 10^{-8}$	$21,4 \cdot 10^{-8}$
Factor de pérdida ($\times 10^{-4}$) en función de la frecuencia expresada en kHz		
10^{-2}	20,9	19,5
$3,2 \cdot 10^{-2}$	27,6	26,4
10^{-1}	30,4	31,0
$3,2 \cdot 10^{-1}$	32,4	39,9
1	36,7	65,7
3,2	49,3	144,4
10	86,8	348,8
32	166,4	690,2
10^{-2}	253,5	921,7
$3,2 \cdot 10^{-2}$	300,0	851,6
10^{-3}	311,8	566,4
$3,2 \cdot 10^{-3}$	291,3	331,3
10^{-4}	226,1	179,4
$3,2 \cdot 10^{-4}$	139,2	89,9
10^{-5}	74,1	50,1
$3,2 \cdot 10^{-5}$	41,5	34,2
10^{-6}	24,7	23,4

- Además, las mediciones realizadas en los cables 12 y 14 también muestran que la permitividad dieléctrica del aislante 44 varía correlativamente con el factor de pérdidas. De hecho, durante su propagación en los cables 12 y 14, una señal se empobrece de sus componentes de alta frecuencia, de modo que la respuesta del dieléctrico no es constante en función de la distancia recorrida por la señal. En particular, las pérdidas dieléctricas disminuyen con la distancia recorrida por la señal, pero correlativamente la permitividad dieléctrica del aislamiento aumenta induciendo, al mismo tiempo, una disminución en la velocidad de propagación de la señal.
- 5
- 10 Una estimación de la variación de la velocidad de propagación de una señal en función de la distancia recorrida, en los cables 12 y 14, puede llevarse a cabo mediante un estudio puramente analítico, seguido de una resolución numérica según una representación elegida, por ejemplo una representación de Laplace o Fourier.
- 15 El enfoque puramente analítico permite identificar los aspectos físicos de la propagación de los componentes espectrales de una señal en un cable y pone de manifiesto el papel de la inductancia L y la pérdida G del cable en el debilitamiento de la señal. Este debilitamiento produce un retraso en la llegada de un eco de esta señal con respecto a una señal que se propagaría en un medio sin pérdidas.
- 20 Según este estudio, la respuesta $\sigma(x, t)$ de un cable, a una distancia x del origen de la emisión y después de un tiempo t, a una señal puede considerarse como la suma en todo el campo de frecuencia o pulsaciones ω (de 0 a ∞) de soluciones sinusoidales particulares $v(\omega)$ de la Ecuación de los Telegrafistas. Si consideramos las constantes R, L, C y G del cable independientes de la frecuencia, la respuesta $\sigma(x, t)$ del cable comprende una onda frontal y una cola de señal, no propagándose cada componente espectral con la misma velocidad $w(\omega)$. Los componentes $v(\omega)$ cuyas frecuencias son las más altas forman un paquete de ondas que se propaga a una velocidad límite W definida por

$W = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ y constituyen la onda frontal. Esta onda frontal reproduce sin distorsión, pero con un debilitamiento, la señal emitida. Sin embargo, las constantes R, L y G del cable varían con la frecuencia. En particular, la variación de R y L con la frecuencia da lugar a una onda residual en la onda frontal, que ya no reproduce la señal emitida. Es la descarga de la corriente en la superficie de los conductores, con frecuencias altas, que es físicamente su origen.

5

La respuesta $\sigma(x, t)$ del cable, limitada a la onda frontal, se define entonces mediante una expresión de la forma:

$$(1) \quad \sigma(x, t) = A \cdot e^{-a\theta} \cdot [\operatorname{erfc} \chi(t) - \gamma(t - t_0) \operatorname{erfc} \chi(t - t_0)],$$

con $\chi(t) = \sqrt{\frac{\tau}{2t}}$, siendo τ una constante de tiempo, y siendo la función erfc la función de error complementaria

definida por $\operatorname{erfc}(z) = \frac{2}{\pi} \int_0^z e^{-t^2} dt$.

10

La pérdida G se fusiona con la conductancia de las pérdidas dieléctricas, es decir, $G = C \omega \operatorname{tg}(\delta)$. Contribuye significativamente a reducir la contribución de los componentes de alta frecuencia a la formación del eco de la señal y da como resultado un retraso aparente en la llegada del eco igual a $\left(\frac{\operatorname{tg}(\delta)}{2}\right) \cdot \theta_0$.

15

Sin embargo, los efectos relacionados con la pérdida de G y la inductancia L del cable, no pueden, por sí solos, dar cuenta de las variaciones reales mensurables en la velocidad de propagación en el cable. De acuerdo con las mediciones realizadas, se establece un postulado para modelar la propagación de la señal, que consiste en tener en cuenta el vínculo necesario entre las variaciones, con la frecuencia, del factor de pérdidas dieléctricas $\operatorname{tg}(\delta)$ del aislante 44, y de su permitividad dieléctrica ϵ_r , en una resolución numérica del modelo analítico descrito anteriormente, que permite acceder a la forma y a las características del eco e informar sobre la velocidad de propagación de la señal. Dos posibles enfoques numéricos, uno según una representación de Laplace, y el otro de acuerdo con una representación de Fourier, permiten resolver el modelo analítico y proporcionan resultados ligeramente diferentes, que se pueden comparar con las mediciones.

20

25

Los resultados del análisis numérico dan en particular un soporte cuantitativo a las variaciones del factor de pérdidas dieléctricas $\operatorname{tg}(\delta)$ del aislante y de su permitividad dieléctrica ϵ_r con la distancia L recorrida por la señal, representadas en las figuras 3a y 3b para el cable submarino 14, definiendo el extremo de Sangatte 18 el origen de las emisiones. Hay que tener en cuenta que si las representaciones de Laplace y Fourier conducen a las mismas estimaciones de la variación de la permitividad dieléctrica del aislante en función de la distancia recorrida por la señal, no es exactamente lo mismo para las estimaciones de variación del factor de pérdida dieléctrica $\operatorname{tg}(\delta)$.

30

Esto da como resultado varios modelos posibles de variación de la velocidad de propagación V en el cable submarino 14, como se muestra en la figura 4a. Por ejemplo, un primer modelo, el que usa una representación de Laplace, se ilustra con valores identificados por círculos y se reduce linealmente según una línea recta de trazos cortos discontinuos. Un segundo modelo, el que usa una representación de Fourier, se ilustra con valores identificados por cuadrados y se reduce linealmente según una línea recta de trazos largos discontinuos. Un tercer modelo, resultante de las mediciones realizadas en el cable 14, se ilustra mediante una línea recta de trazos continuos. La velocidad de propagación en la emisión en el cable submarino 14, 152.6 m / μ s, es conocida y es común a los tres modelos. Las pendientes de las tres líneas rectas son similares, lo que refleja la convergencia de los enfoques analíticos de Laplace y Fourier, así como la pertinencia del postulado según el cual las variaciones, con la frecuencia, del factor de pérdidas dieléctricas $\operatorname{tg}(\delta)$ del aislante 44 y de su permitividad dieléctrica ϵ_r están relacionadas.

35

40

En la figura 4b, habiendo dado los dos formalismos de Laplace y Fourier resultados convergentes visibles en la figura 4a, se trata la Ecuación de los Telegrafistas solo de acuerdo con el formalismo de Fourier, incluyendo un modelo de variación de las pérdidas y de la permitividad del aislante 44 con la frecuencia y, por lo tanto, en función de la distancia recorrida por una señal, en dos situaciones de medición por ecometría:

45

- una medición por ecometría desde el extremo de Sangatte 18 (curva A), y
- una medición por ecometría desde el extremo de Sellindge 16, incluyendo la presencia de dos tipos de cables 12 y 14 (curva B).

50

Se observará que la velocidad efectiva de la señal y de su eco después de la reflexión sobre el fallo 26 se deduce, mediante la Ecuación de los Telegrafistas, del cálculo del tiempo θ de su propagación entre el dispositivo de medición 28 y el fallo, conociéndose la longitud L de cable mediante hipótesis.

5

El tiempo de propagación es el intervalo de tiempo entre la emisión de la señal identificada por su frente de onda con débil tiempo de subida y la recepción de su eco en el fallo, por ejemplo identificado por el pie θ_0 de la "cabeza de señal" con tiempo de subida de varias órdenes de magnitud más elevadas. El pie del eco θ_0 presenta una dificultad de localización, debido a la fuerte atenuación de los componentes de mayor rango de la señal y de su eco en el fallo. Sin embargo, puede identificarse mediante el estudio de los datos relativos a la amplitud del eco, en particular la variación de la curvatura de la curva representativa. Alternativamente, el tiempo de propagación puede medirse a nivel de la abscisa con 10% de amplitud máxima del eco, anotada con $\theta_{10\%}$, como se muestra en la figura 5. El modelo de variación de la velocidad de propagación depende obviamente de la referencia elegida.

10

15

Al retomar un modelo lineal de variación de la velocidad de propagación, como se ilustra en la figura 4a, se admite la siguiente relación:

$$(2) \quad V/2 = V_0/2 - L/\tau.$$

20

Se deduce de ello la relación general que da la distancia, a lo largo del cable, del fallo con respecto al punto de medición en función del tiempo de propagación θ medido :

$$(3) \quad L = \frac{V_0/2}{1/\theta + 1/\tau},$$

con, para el cable 14, $V_0/2 = 76,3 \text{ m}/\mu\text{s}$ y $1/\tau = 88,0 \cdot 10^{-6} \mu\text{s}^{-1}$ si $\theta = \theta_0$ y $1/\tau = 99,08 \cdot 10^{-6} \mu\text{s}^{-1}$ si $\theta = \theta_{10\%}$ (ejemplo de la figura 4a).

25

El valor de $V_0 / 2$ se considera conocido, es decir, sin incertidumbre. Por lo tanto, la incertidumbre de la relación (3) se encuentra en la pendiente $1/\tau$ y en la medida θ . Se deduce de ello la siguiente relación de incertidumbre:

$$(4) \quad \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{1 + \theta/\tau} \left(\frac{\theta}{\tau} \cdot \frac{\Delta \tau}{\tau} + \frac{\Delta \theta}{\theta} \right).$$

30

Los modelos de velocidad de propagación de la figura 4a están de hecho basados en una medición del tiempo de propagación en $\theta_{10\%}$ y muestran que existe una incertidumbre medible en la pendiente $1/\tau$ además de la incertidumbre en la medición θ . Esta incertidumbre puede aumentarse de acuerdo con las mediciones y las resoluciones numéricas de la figura 4a con el siguiente valor:

35

$$(5) \quad \frac{\Delta \tau}{\tau} = 3,903 \%$$

Los modelos de velocidad de propagación basados en una medición del tiempo de propagación en θ_0 mostrarían que no existe incertidumbre en la pendiente $1/\tau$ y que solo existe una incertidumbre sobre la medición en este caso.

40

En el caso de mediciones en θ_0 , el término $\frac{\Delta \tau}{\tau}$ es por lo tanto nulo y la relación (4) se convierte en:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{1 + \theta/\tau} \cdot \frac{\Delta \theta}{\theta} \leq \frac{\Delta \theta}{\theta}$$

, pudiendo el término θ/τ considerarse débil frente a 1. Las mediciones realizadas en el

cable 14 establecen la incertidumbre relativa $\frac{\Delta \theta}{\theta}$ al 1.236%.

$$\frac{\Delta \tau}{\tau}$$

En el caso de mediciones con $\theta_{10\%}$, el término τ no es nulo (puede aumentarse en un valor del 3.903%) y, multiplicado por θ/τ es del orden del 0,18%. Por lo tanto, si se supone que el operador es susceptible de realizar una medición de $\theta_{10\%}$ con una incertidumbre relativa sobre el origen de referencia menor o igual al 1%, la elección de esta medición está justificada.

De acuerdo con un modo de realización de la invención, para una puesta en funcionamiento simple y rápida del procedimiento de localización del fallo 26, de la relación (3) se puede construir directamente una tabla de correspondencia entre la distancia L del fallo 26 en un punto de referencia y el tiempo total medido de propagación ida y vuelta de la señal emitida y de su eco. Esta tabla se almacena en los medios de almacenamiento 34.

A título de ejemplo, para la conexión IFA2000, se diseñaron las tablas de correspondencia proporcionadas en el anexo:

- tabla 1: para una ecometría realizada desde el extremo de Sangatte 18, la tabla 1 da una correspondencia entre la distancia L del fallo en este extremo de Sangatte y el tiempo total de propagación ida y vuelta (mediante medición θ_0 o $\theta_{10\%}$),
- tabla 2: para una ecometría realizada desde el final de Sellindge 16, la tabla 2 da una correspondencia entre la distancia L del fallo en la unión de Folkestone 20 y el tiempo total de propagación ida y vuelta (mediante medición θ_0 o $\theta_{10\%}$),

Por supuesto, se observará que los valores dados en esta tabla se refieren a un valor predeterminado fijado de la velocidad V_0 de emisión de la señal.

El procedimiento de localización del fallo 26 ilustrado en la figura 6 se pone en funcionamiento en la instalación de la figura 1.

Comprende una primera etapa de emisión 100, desde un primer dispositivo de localización 28 dispuesto en el extremo de Sangatte 18, de una señal de pulso en un instante $t = 0$ tomado como un marcador del eje de los tiempos.

A continuación, durante una segunda etapa de medición 102, se detecta un eco representativo de la reflexión de esta señal en el fallo 26, ya sea automática o manualmente por un operador. El instante θ_0 o $\theta_{10\%}$ de la recepción de este eco se mide, ya sea al pie del eco, o al 10% de la amplitud máxima del eco, como se indicó anteriormente.

Durante una etapa de estimación 104, el instante de recepción del eco se compara con los valores de la tabla 1, en la segunda o tercera columna según la medición, para deducir de ello, por correspondencia, un segmento de cable de 400 metros de longitud en el cual el fallo 26 está ubicado de acuerdo con la medición. Se puede obtener una estimación más precisa de la posición del fallo dentro del segmento de cable mediante interpolación lineal, de acuerdo con un cálculo conocido, en función de los extremos de este segmento de cable y de la posición del instante de recepción medido en el segmento de tiempo correspondiente de la tabla 1.

Finalmente, en una última etapa, el valor estimado de la localización del fallo es devuelto.

Alternativamente, la localización se puede realizar desde el extremo de Sellindge 16.

En este caso también, la velocidad V_0 de emisión de la señal es fija y conocida.

En este caso, el procedimiento de localización comprende una primera etapa 100 'de emisión, desde un primer dispositivo de localización 28 dispuesto en el extremo de Sellindge 16, de una señal de pulso en un instante $t = 0$ tomado como marcador del eje de tiempo.

A continuación, durante una segunda etapa de medición 102 ', se detecta un eco representativo de la reflexión de esta señal en el fallo 26, ya sea automática o manualmente por un operador. El instante θ_0 o $\theta_{10\%}$ de la recepción de este eco se mide, ya sea al pie del eco, o al 10% de la amplitud máxima del eco, como se indicó anteriormente.

Durante una etapa de estimación 104 ', el instante de recepción del eco se compara con los valores de la tabla 2, en la segunda o tercera columna según la medición, para deducir, por correspondencia, un segmento de cable de 400 metros de longitud en el cual se encuentra el fallo 26 de acuerdo con la medición. Se puede obtener una estimación más precisa de la posición del fallo dentro del segmento de cable mediante interpolación lineal en función de los extremos de este segmento de cable y de la posición del instante de recepción medido en el segmento temporal correspondiente de la tabla 2.

Finalmente, en una última etapa 106', el valor estimado de la localización del fallo es devuelto.

Alternativa y opcionalmente, se pueden disponer dos dispositivos de localización en la instalación 10, cada uno en un extremo, y las etapas 100 a 106 por un lado, y 100' a 106' por otro lado, se pueden ejecutar de manera que se obtengan dos valores estimados de la localización del fallo 26. En este caso, las etapas 106 y 106' van seguidas de una etapa adicional 108 en la que se puede deducir una estimación definitiva de la localización del fallo 26 a partir de los dos valores resultantes de las etapas 106 y 106', eventualmente con una incertidumbre estimada en la forma de un segmento de cable 14.

Segundo aspecto de la invención: localización del fallo mediante el estudio de un campo electromagnético al nivel del fallo

De acuerdo con este segundo aspecto de la invención, después de, por ejemplo, una localización llevada a cabo de acuerdo con el primer aspecto previamente descrito, es decir, por ejemplo, como continuación de la etapa 108, una localización más fina mediante el estudio de las variaciones del campo electromagnético al nivel del cable submarino 14 puede realizarse en las proximidades del segmento de cable determinado en la etapa 108. De hecho, debido a la presencia del fallo 26 en el cable submarino 14, una señal de corriente eléctrica emitida a una cierta frecuencia desde un extremo del cable en el núcleo conductor 40 regresa parcialmente a su fuente, al nivel del fallo 26, entre otras cosas por el mar, creando así una disimetría entre el extremo de emisión de la corriente y el fallo 26, mientras que más allá del fallo ya no existe esta disimetría. Por lo tanto, midiendo el campo electromagnético H a nivel del cable 14 más arriba del fallo 26 (es decir, entre el extremo emisor y el fallo) y acercándose a este fallo, el campo disminuye y luego se anula, de modo que se puede detectar la localización del fallo detectando la variación y luego la anulación del campo electromagnético. La frecuencia de la señal eléctrica emitida es, por ejemplo, situada entre 25 y 80 Hz, evitando las frecuencias alrededor de 50 Hz que corresponden a las frecuencias parásitas habituales.

La puesta en funcionamiento de este segundo aspecto de la invención puede llevarse a cabo mediante una instalación tal como la representada en la figura 7. Un dispositivo 60 de medición de campo electromagnético se coloca sobre un soporte flotante 62, por ejemplo una embarcación, en las proximidades del fallo 26. La embarcación 62 se desplaza, si es posible, a lo largo del cable 14, y se registra regularmente una medición del campo.

Como se muestra en la figura 8, el dispositivo 60 de medición de campo electromagnético comprende una antena GPS 64 de posicionamiento geográfico por satélite conectada a una caja GPS 66 de detección de posicionamiento geográfico por satélite. Esto permite saber en todo momento la posición exacta de la caja.

Además, el dispositivo 60 comprende tres bobinas 68 ortogonales entre sí, que permiten medir tres componentes ortogonales del campo electromagnético, para poder deducir de ello un valor del módulo completo $|H|$ del campo H independientemente de las fluctuaciones de la embarcación 62.

Las mediciones de los componentes de campo electromagnético por las tres bobinas 68 se someten a filtración, usando tres filtros pasa-banda 70 de alto orden alrededor de la frecuencia de la señal eléctrica emitida. El resultado de estos filtrados se somete a continuación a una tarjeta de adquisición numérica 72.

Los valores de posicionamiento geográfico del dispositivo de medición y de los componentes del campo electromagnético son transmitidos por la caja 66 y por la tarjeta de adquisición 72 a un ordenador 74 para la explotación de estos resultados. Obsérvese que dado que el dispositivo de medición 60 de campo electromagnético es un sistema embarcado, una alimentación 76 suministra en energía eléctrica la caja 66, el sistema de filtros 70 y el ordenador 74. Al utilizar los tres componentes filtrados del campo electromagnético, el ordenador reconstituye un valor del módulo $|H|$ de este campo. Posiblemente, el ordenador extraiga el componente vertical $|H_z|$ del campo electromagnético si las medidas tomadas lo permiten.

El principio de localización del fallo 26 puesto en funcionamiento por el dispositivo 60, y más particularmente por el ordenador 74, se ilustra en la figura 9. Téngase en cuenta que a una altura (z) constante con respecto al lecho marino, si uno se mueve transversalmente con respecto al cable 14, el módulo $|H|$ del campo electromagnético alcanza un máximo a nivel del cable. Sin embargo, su componente vertical $|H_z|$ alcanza un mínimo al nivel del cable 14. Además, se observa que a una altura (z) constante con respecto al lecho marino, si uno se mueve longitudinalmente con respecto al cable 14, el módulo $|H|$ del campo electromagnético tiende a disminuir cerca del fallo 26 y luego a anularse una vez que se aleja del fallo. A nivel del fallo 26, la curva que da el valor del módulo del campo a lo largo del cable tiene un punto de inflexión que proporciona así una buena estimación de la localización del fallo 26.

De esto se deduce un procedimiento para localizar con precisión el fallo 26 en el cable submarino 14, que se muestra en la figura 10.

5 Durante una primera etapa 200, la embarcación hace un trayecto T que consiste en pasos transversales sucesivos al nivel del cable 14 a lo largo del segmento de cable 14 seleccionado, por ejemplo según un trazado en bustrofedon, en particular como continuación a la etapa 108. Durante esta trayectoria T, el dispositivo 60 toma una serie de mediciones M del campo electromagnético H. Este trayecto T, puntuado con medidas M, se muestra en la figura 11. A partir de estas mediciones se deducen los valores sucesivos del módulo $|H|$ del campo electromagnético y posiblemente su componente vertical $|H_z|$. En la figura 11, es el módulo $|H|$ que está representado por puntos que son más anchos a medida que aumenta el valor de $|H|$. Por lo tanto, el paso al nivel del cable 14 se puede detectar, ya sea por un máximo local del módulo $|H|$, o por un mínimo local de $|H_z|$, o por una correlación entre los máximos y mínimos locales del módulo $|H|$ y de $|H_z|$, en la sucesión de mediciones M.

15 De esta forma, durante la etapa 202, las medidas M se deducen de los puntos de paso al nivel del cable posicionado a lo largo de una línea recta paralela al eje x de la figura 9. Gracias a las medidas M tomadas en estos puntos de paso, es posible constituir una curva de puntos, a lo largo del segmento de cable 14 seleccionado, para los cuales un valor del módulo $|H|$ del campo electromagnético es conocido. Como se ha indicado anteriormente con referencia a la figura 9 (curva de la derecha), esta curva de puntos, posiblemente interpolada, tiene un punto de inflexión al nivel del fallo 26.

20 Este punto de inflexión está determinado por el ordenador 74 según un método clásico que no se detallará, durante una etapa 204.

Finalmente, en una última etapa 206, se devuelve una estimación de la posición del fallo 26 en el cable 14, en función del punto de inflexión determinado.

25 En una variante, se observará que se puede prescindir de la etapa 200, que consiste en seguir un trayecto según un trazado en bustrofedon, si se conoce bien la posición exacta del cable y si es posible seguir un trayecto directamente a lo largo del cable a su nivel. En este caso, durante la etapa 202, se toman directamente las medidas del módulo $|H|$ al nivel del cable siguiéndolo a lo largo de la longitud del segmento de cable 14 seleccionado para obtener la curva de puntos que se muestra en la figura 9 (curva de la derecha).

30 Aparece claramente que un procedimiento como el descrito anteriormente según varios aspectos, variantes y modos de realización, permite asegurar una medición precisa de la localización en un cable eléctrico, o un conjunto de cables eléctricos, de un fallo que genera una reflexión al menos parcial de una señal eléctrica incidente.

35 También debe observarse que la invención no está limitada a los modos de realización descritos e ilustrados. En particular, es susceptible de diversas variantes, en cuanto a la instalación de transmisión de energía eléctrica a la que se aplica o al modelo de variación de la velocidad de propagación utilizado, que este modelo se deduzca a partir de mediciones y/o de un estudio analítico y/o de un análisis numérico.

40 Anexo

Tabla 1 : medición desde el extremo de Sangatte 18		
L (en m)	θ_0 (en μs)	$\theta_{10\%}$ (en μs)
0.000	0	0
0.400	5,20	Subida rápida de la señal
0.800	10,43	10,65
1.200	15,68	16,05
1.600	20,95	21,47
2.000	26,24	26,92
2.400	31,54	32,37
2.800	36,86	37,84
3.200	42,19	43,31
3.600	47,54	48,79
4.000	52,88	54,28
4.400	58,21	59,77
4.800	63,58	65,26

Tabla 1 : medición desde el extremo de Sangatte 18		
L (en m)	θ_0 (en μs)	$\theta_{10\%}$ (en μs)
5.200	68,94	70,76
5.600	74,32	76,26
6.000	79,7	81,76
6.400	85,08	87,27
6.800	90,47	92,78
7.200	95,88	98,29
7.600	101,27	103,81
8.000	106,65	109,33
8.400	112,05	114,84
8.800	117,45	120,36
9.200	122,84	125,88
9.600	128,23	131,41
10.000	133,67	136,93
10.400	139,09	142,38
10.800	144,50	147,94
11.200	149,93	153,52
11.600	155,32	159,06
12.000	160,77	164,60
12.400	166,21	170,13
12.800	171,65	175,67
13.200	177,10	181,21
13.600	182,52	186,76
14.000	187,96	192,30
14.400	193,44	197,85
14.800	198,87	203,39
15.200	204,35	208,94
15.600	209,79	214,49
16.000	215,28	220,03
16.400	220,69	225,60
16.800	226,14	231,15
17.200	231,58	236,71
17.600	237,03	242,26
18.000	242,52	247,82
18.400	247,97	253,38
18.800	253,43	258,95
19.200	258,89	264,51
19.600	264,40	270,07
20.000	269,83	275,64
20.400	275,30	281,21
20.800	280,77	286,77
21.200	286,25	292,34
21.600	291,73	297,91
22.000	297,17	303,48
22.400	302,62	309,05
22.800	308,10	314,63
23.200	313,55	320,20
23.600	319,00	325,78
24.000	324,45	331,35
24.400	329,95	336,55
24.800	335,45	342,51
25.200	340,90	348,09
25.600	346,41	353,67
26.000	351,87	359,26

Tabla 1 : medición desde el extremo de Sangatte 18

L (en m)	θ_0 (en μs)	$\theta_{10\%}$ (en μs)
26.400	357,38	364,84
26.800	362,84	370,42
27.200	368,36	376,01
27.600	373,88	381,59
28.000	379,35	387,18
28.400	384,82	392,77
28.800	390,29	398,36
29.200	395,77	403,95
29.600	401,30	409,54
30.000	406,83	415,14
30.400	412,31	420,74
30.800	417,79	426,33
31.200	423,28	431,92
31.600	428,76	437,52
32.000	434,25	443,11
32.400	439,73	448,71
32.800	445,22	454,31
33.200	450,71	459,91
33.600	456,27	465,51
34.000	461,76	471,12
34.400	467,26	476,72
34.800	472,76	482,33
35.200	478,26	487,93
35.600	483,76	493,53
36.000	489,32	499,14
36.400	494,83	504,75
36.800	500,40	510,35
37.200	505,91	515,96
37.600	511,42	521,57
38.000	516,93	527,19
38.400	522,44	532,80
38.800	527,96	538,41
39.200	533,40	544,02
39.600	538,92	549,64
40.000	544,43	555,25
40.400	549,88	560,86
40.800	555,40	566,48
41.200	561,00	572,10
41.600	566,52	577,72
42.000	572,05	583,34
42.400	577,57	588,96
42.800	583,10	594,58
43.200	588,63	600,20
43.600	594,16	605,82
44.000	599,61	611,44
44.400	605,15	617,07
44.800	610,68	622,69
45.200	616,22	628,31
45.600	621,76	633,94
46.000	627,30	639,56
46.400	632,84	645,19
46.800	638,38	650,82
47.200	643,92	656,45

Tabla 1 : medición desde el extremo de Sangatte 18

L (en m)	θ_0 (en μs)	$\theta_{10\%}$ (en μs)
47.600	649,47	662,08
48.000	655,02	667,70

Tabla 2 : medición desde el extremo de Sellindge 16

L (en m)	θ_0 (en μs)	$\theta_{10\%}$ (en μs)
0.000	245,35	-
0.400	251,06	263,22
0.800	256,68	270,26
1.200	262,35	276,47
1.600	268,00	282,09
2.000	273,62	287,43
2.400	279,22	292,66
2.800	284,75	297,85
3.200	290,37	303,11
3.600	295,81	308,39
4.000	301,40	313,76
4.400	306,97	319,20
4.800	312,45	324,70
5.200	318,03	330,22
5.600	323,57	335,75
6.000	329,07	341,32
6.400	334,63	346,92
6.800	340,19	352,53
7.200	345,75	358,14
7.600	351,27	363,75
8.000	356,80	369,41
8.400	362,38	375,04
8.800	367,87	380,68
9.200	373,41	386,33
9.600	379,01	391,97
10.000	384,51	397,64
10.400	390,01	403,26
10.800	395,57	408,89
11.200	401,18	414,52
11.600	406,75	420,16
12.000	412,27	425,80
12.400	417,73	431,45
12.800	423,25	437,08
13.200	428,78	442,73
13.600	434,31	448,38
14.000	439,84	454,02
14.400	445,43	459,67
14.800	450,97	465,33
15.200	456,51	470,98
15.600	462,05	476,63
16.000	467,54	482,29
16.400	473,15	487,94
16.800	478,70	493,60
17.200	484,26	499,26
17.600	489,75	504,88
18.000	495,31	510,57

Tabla 2 : medición desde el extremo de Sellindge 16

L (en m)	θ_0 (en μs)	$\theta_{10\%}$ (en μs)
18.400	500,86	516,23
18.800	506,44	521,90
19.200	512,01	527,56
19.600	517,52	533,23
20.000	523,09	538,87
20.400	528,53	544,52
20.800	534,03	550,22
21.200	539,54	555,89
21.600	545,13	561,56
22.000	550,64	567,22
22.400	556,23	572,85
22.800	561,75	578,60
23.200	567,26	584,23
23.600	572,78	589,90
24.000	578,30	595,57
24.400	583,83	601,25
24.800	589,35	606,91
25.200	594,96	612,60
25.600	600,49	618,24
26.000	606,01	623,95
26.400	611,54	629,62
26.800	617,08	635,30
27.200	622,61	640,93
27.600	628,15	646,61
28.000	633,68	652,28
28.400	639,22	657,97
28.800	644,76	663,55
29.200	650,39	669,24
29.600	656,02	674,92
30.000	661,57	680,57
30.400	667,12	686,24
30.800	672,57	691,91
31.200	678,12	697,61
31.600	683,67	703,28
32.000	689,13	708,95
32.400	694,69	714,60
32.800	700,24	720,33
33.200	705,89	726,00
33.600	711,45	731,62
34.000	717,01	737,27
34.400	722,57	742,97
34.800	728,04	748,69
35.200	733,60	754,33
35.600	739,07	760,05
36.000	744,63	765,73
36.400	750,10	771,41
36.800	755,67	777,12
37.200	761,13	782,81
37.600	766,70	788,38
38.000	772,27	794,15
38.400	777,85	799,69
38.800	783,42	805,38
39.200	789,00	811,05

Tabla 2 : medición desde el extremo de Sellindge 16

L (en m)	θ_0 (en μs)	$\theta_{10\%}$ (en μs)
39.600	794,58	816,74
40.000	800,16	822,42
40.400	805,63	828,08
40.800	811,21	833,82
41.200	816,68	839,43
41.600	822,16	845,12
42.000	827,74	850,79
42.400	833,21	856,47
42.800	838,69	862,17
43.200	844,28	867,84
43.600	849,75	873,54
44.000	855,22	879,23
44.400	860,81	884,90
44.800	866,29	890,60
45.200	871,88	896,34
45.600	877,48	901,97
46.000	882,95	907,65
46.400	888,55	913,40
46.800	894,15	919,14
47.200	899,63	924,67
47.600	905,23	930,41
48.000	910,70	936,10

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de localización de un fallo (26) en una conexión eléctrica (12, 14) que comprende las etapas que consisten en:
- 5 - emitir (100, 100'), en un primer instante, una señal eléctrica con una velocidad predeterminada de propagación desde un extremo (16, 18) de la conexión eléctrica (12, 14),
- detectar (102, 102'), en un segundo instante, la recepción de un eco de esta señal eléctrica,
- caracterizado porque** comprende además las etapas que consisten en:
- establecer un modelo de variación de la velocidad (V) de propagación de la señal eléctrica en la conexión eléctrica (12, 14) en función de la longitud de la conexión eléctrica recorrida por la señal,
- 10 - estimar (104, 104') una localización del fallo en función de la diferencia entre el primer instante y el segundo instante, de la velocidad predeterminada de propagación al inicio y del modelo de variación de velocidad en la conexión (12, 14).
2. Procedimiento de localización de un fallo (26) en una conexión eléctrica (12, 14) según la reivindicación 1, que comprende una etapa que consiste en definir, utilizando el modelo de variación de la velocidad (V) de propagación de la señal eléctrica en la conexión eléctrica (12, 14), una tabla de correspondencia entre, por una parte, valores de la diferencia entre el primer instante y el segundo instante y, por otra parte, de las distancias supuestas desde el fallo (26) a un punto de referencia (16, 18, 20) de la conexión eléctrica (12, 14).
3. Procedimiento de localización de un fallo (26) en una conexión eléctrica (12, 14) según la reivindicación 1 o 2, en el que el modelo de variación de la velocidad (V) de propagación de la señal eléctrica en la conexión eléctrica (12, 14) es un modelo de factor de pérdidas dieléctricas y de permitividad dieléctrica de un aislante (44) de la conexión (12, 14) variables en función de una frecuencia de señal y, por lo tanto, de la longitud de la conexión eléctrica recorrida por la señal, que induce a una disminución en la velocidad de propagación (V) de la señal.
4. Procedimiento de localización de un fallo (26) en una conexión eléctrica (12, 14) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la recepción (102, 102'), en el segundo instante, del eco de la señal eléctrica se determina cuando la amplitud de este eco alcanza un porcentaje predeterminado, en particular el diez por ciento, de su amplitud máxima.
5. Procedimiento de localización de un fallo (26) en una conexión eléctrica (12, 14) según la reivindicación 1, que comprende además las etapas de:
- medir (200) al menos una parte de los componentes de un campo electromagnético (H) en la proximidad de la localización estimada del fallo (26) en varias localizaciones a lo largo de la conexión (12, 14),
- 35 - deducir de ello (202) una estimación de la variación de al menos esa parte de los componentes del campo electromagnético (H) a lo largo de la conexión eléctrica (12, 14) cerca de la localización estimada del fallo (26),
- estimar (204) una nueva localización del fallo (26) en función de la variación estimada de al menos esa parte de los componentes del campo electromagnético (H).
6. Procedimiento para localizar un fallo (26) en una conexión eléctrica (12, 14) según la reivindicación 5, que comprende las etapas que consisten en:
- medir (200), mediante un sistema (68) con tres bobinas ortogonales entre sí, el módulo completo (|H|) del campo electromagnético cercano a la localización estimada del fallo (26) en varias ubicaciones a lo largo de la conexión (12, 14),
- 45 - deducir de ello (202) una estimación de la variación del módulo completo (|H|) del campo electromagnético a lo largo de la conexión eléctrica (12, 14) en las proximidades de la localización estimada del fallo (26),
- estimar (204) una nueva localización del fallo (26) en función de la detección de un punto de inflexión en la variación estimada del módulo completo (|H|) del campo electromagnético a lo largo de la conexión (12, 14).
7. Procedimiento de localización de un fallo (26) en una conexión eléctrica (12, 14) según la reivindicación 5 o 6, en el que las mediciones (M) en varias localizaciones a lo largo de la conexión (12, 14), de al menos una parte de los componentes del campo electromagnético (H) se realizan según un trayecto (T) constituido por pasos transversales sucesivos a nivel de la conexión (12, 14), en particular según un trazado en bustrofedon.
8. Procedimiento de localización de un fallo (26) en una conexión eléctrica (12, 14) según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que el campo electromagnético medido (H) es generado por la circulación en la conexión eléctrica (12, 14) de una corriente (i) de frecuencia predeterminada y en el que la parte medida de los componentes del

campo electromagnético (H) se filtra utilizando un sistema de filtrado de pasa-banda (70) establecido alrededor de esta frecuencia predeterminada de la corriente (i).

- 5 **9.** Dispositivo (28) de localización de un fallo (26) en una conexión eléctrica (12, 14) destinado a ser conectado a un extremo (16, 18) de la conexión eléctrica, que comprende:
- un generador de señal (30) para emitir (100, 100'), en un primer instante, una señal eléctrica con una velocidad predeterminada de propagación desde un extremo de la conexión eléctrica (12, 14),
 - un receptor de señal (32) para la detección (102, 102'), en un segundo instante, de la recepción de un eco de esta señal eléctrica,
- 10 **caracterizado porque** comprende además:
- medios (34) para almacenar datos procedentes de un modelo de variación de la velocidad (V) de propagación de la señal eléctrica en la conexión eléctrica (12, 14) en función de la longitud de la conexión recorrida por la señal,
 - un calculador (36) configurado para estimar una localización del fallo (26) usando los datos almacenados, en función de la diferencia entre el primer instante y el segundo instante, de la velocidad predeterminada de propagación al inicio y del modelo de variación de velocidad en la conexión (12, 14).
- 15 **10.** Instalación para localizar un fallo en una conexión eléctrica, que comprende una conexión eléctrica (12, 14) que tiene un fallo (26) y dos dispositivos de localización (28) según la reivindicación 9 respectivamente conectados a dos extremos (16, 18) diferentes de la conexión (12, 14).
- 20

FIGURA 1

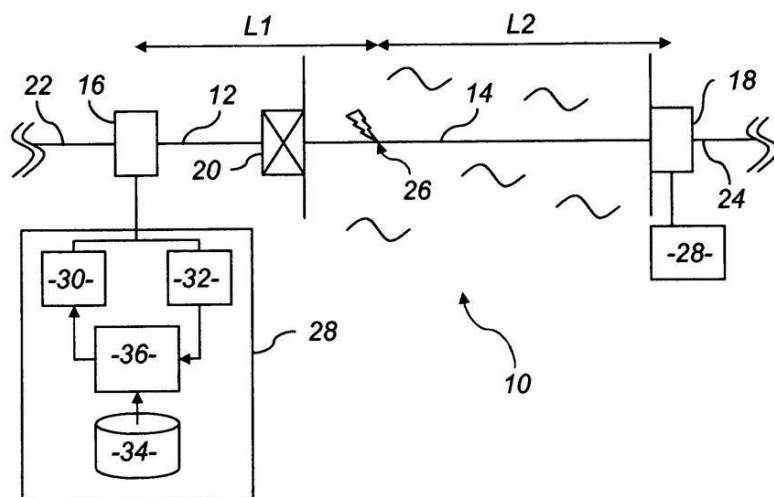


FIGURA 2

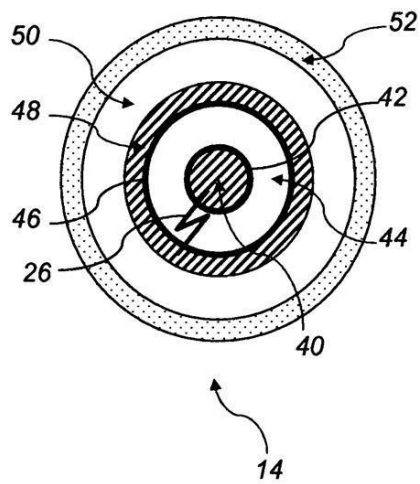


FIGURA 3a

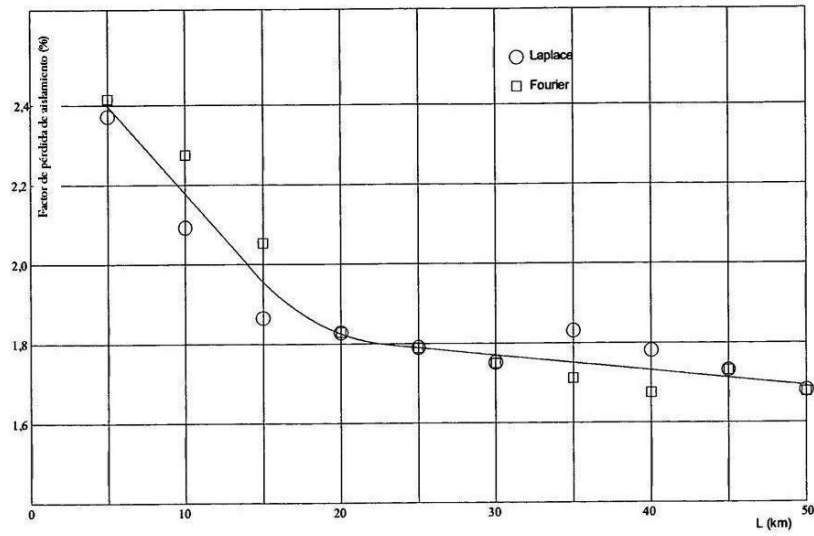


FIGURA 3b

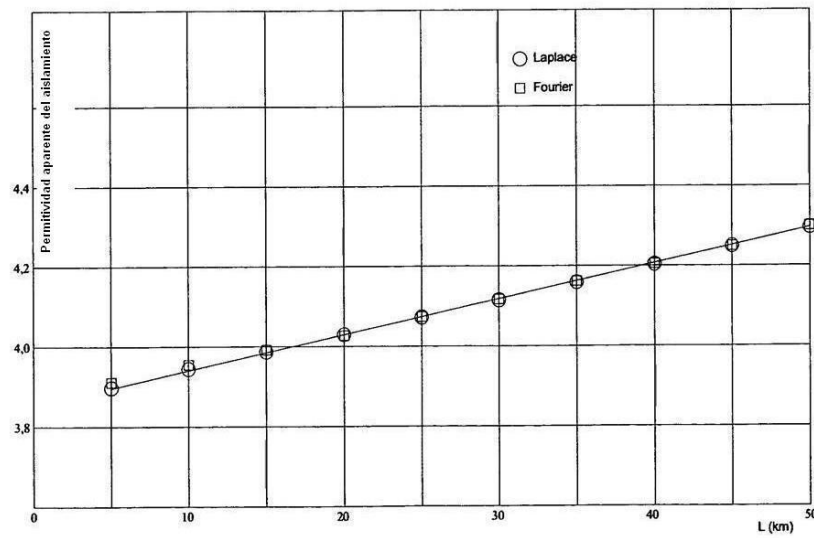


FIGURA 4a

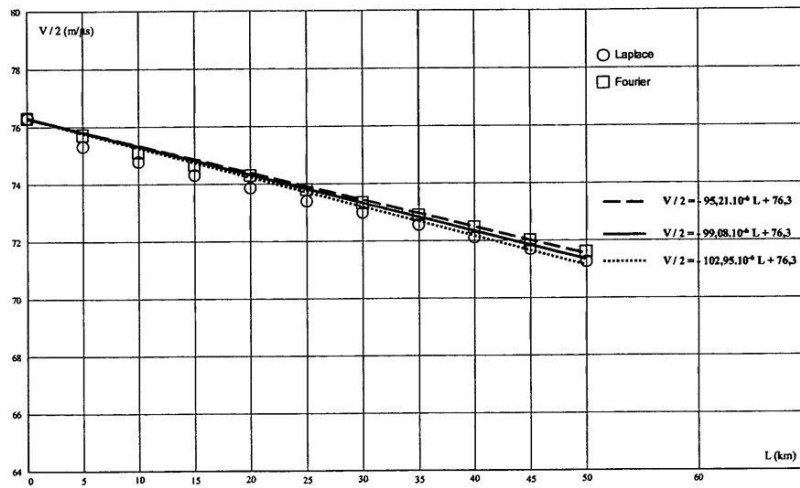


FIGURA 4b

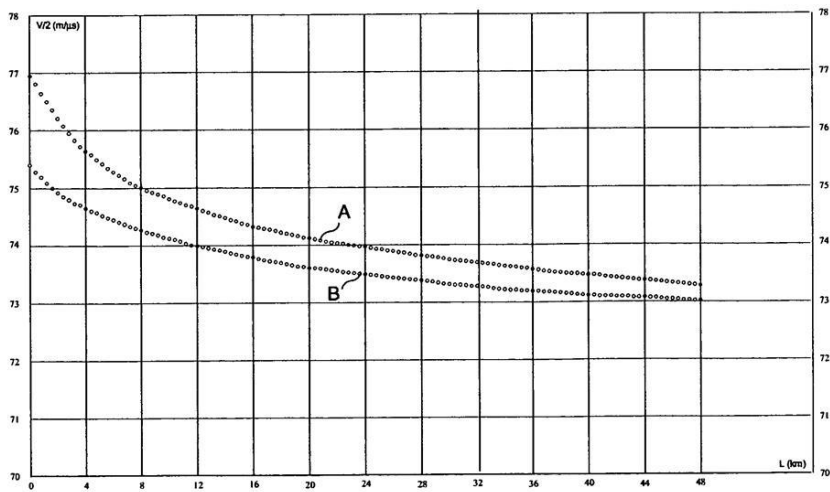


FIGURA 5

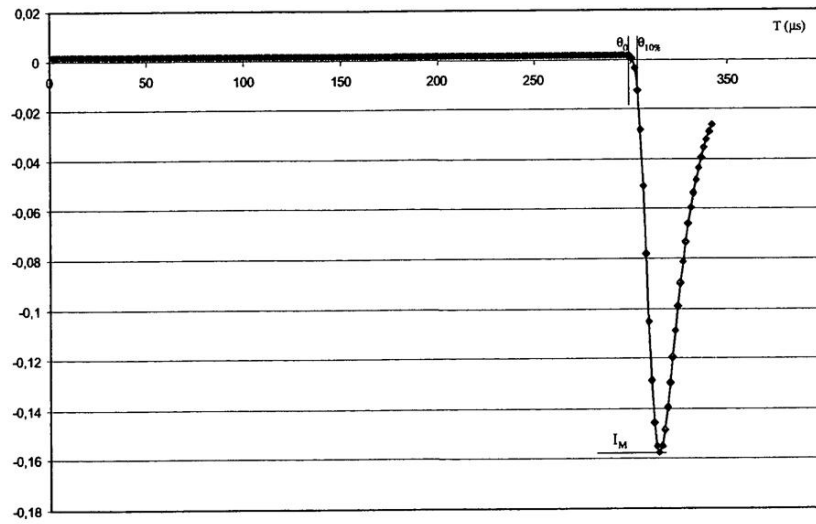


FIGURA 6

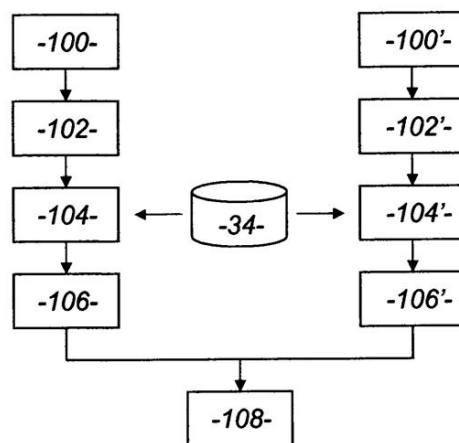


FIGURA 7

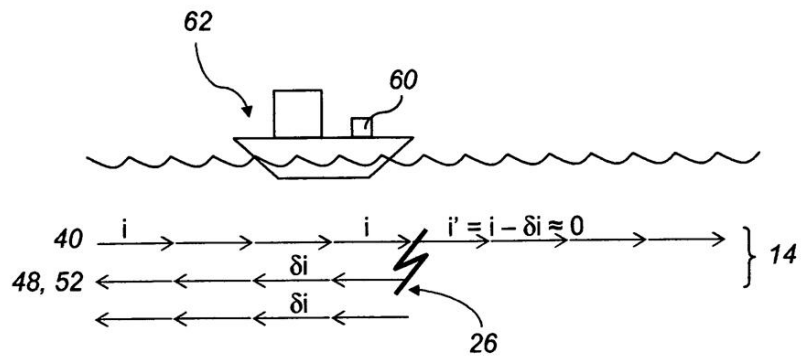


FIGURA 8

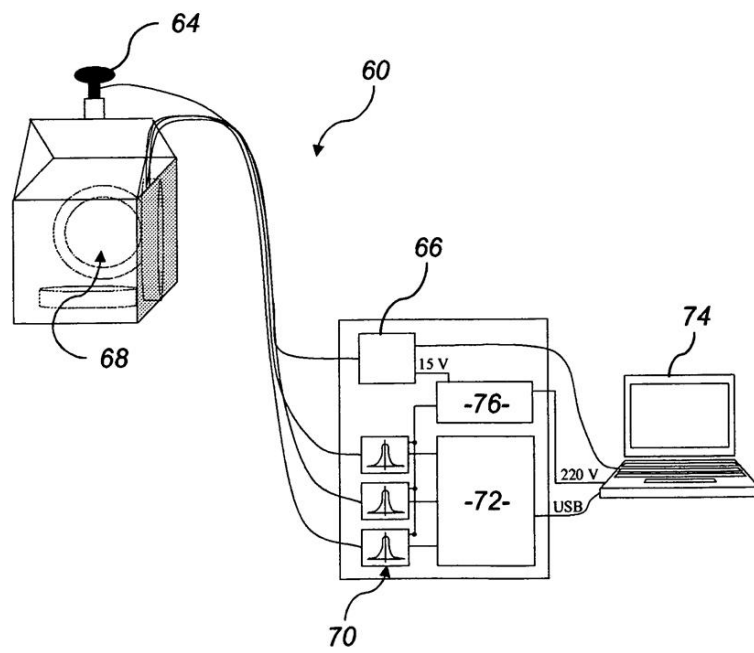


FIGURA 9

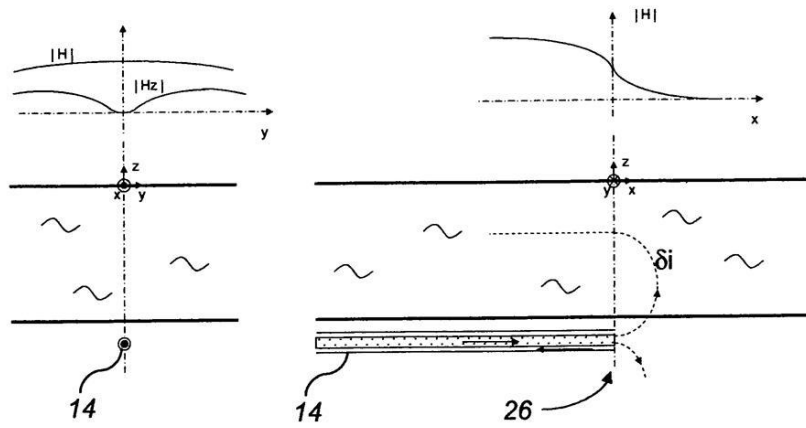


FIGURA 10

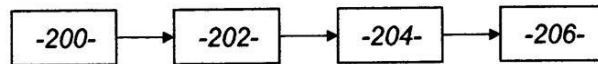


FIGURA 11

