(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 548 440**

(51) Int. CI.:

G01R 31/08 (2006.01)
H02H 7/26 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2008 E 08354063 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2015 EP 2045610**

(54) Título: **Localización de un defecto en una red de distribución pública de media tensión**

(30) Prioridad:

05.10.2007 FR 0706990

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.10.2015

(73) Titular/es:

SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS (100.0%)
35 RUE JOSEPH MONIER
92500 RUEIL-MALMAISON, FR

(72) Inventor/es:

PENKOV, DELCHO

(74) Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Localización de un defecto en una red de distribución pública de media tensión

Campo técnico

La invención se refiere a la localización de un defecto, en particular monofásico, ocurrido en una red de distribución, y en particular una red de distribución pública de media tensión, pudiendo estar la red conectada a tierra mediante una impedancia.

El procedimiento y el dispositivo de localización de acuerdo con la invención utilizan las mediciones de la corriente y de la tensión que circula antes y durante el defecto para determinar la distancia que separa el defecto del punto de medición. Las hipótesis de cálculo son tales que el resultado obtenido es seguro sea cual sea la naturaleza del defecto y el valor de su resistencia.

Estado de la técnica

Tal como se ilustra en la figura 1, las redes 1 de distribución (véanse las flechas de color gris) se pueden descomponer en diferentes niveles, con una primera red de transporte y de distribución de muy alta y de alta tensión MAT/ATB (de entre 35 y más de 200 kV), utilizada para transportar o distribuir la energía eléctrica desde las centrales de producción 2 a grandes distancias. Le sigue una red de distribución de media tensión ATA, habitualmente de entre 1 y 35 kV, y de manera más precisa 15 o 20 kV en Francia, para transportes a menor escala, hacia clientes de tipo industriales 3 u otras subestaciones de transformación 4; la conexión a tierra de la red ATA, es decir la conexión del neutro del transformador 5, puede ser muy variada, y actualmente se realiza por lo general mediante una impedancia Z_n. La red de baja tensión BT (en particular 0,4 kV en Francia) alimenta a los clientes 6, 6' de baja demanda energética.

La red ATA puede estar compuesta por líneas aéreas y/o por cables subterráneos. Sea cual sea la solución, la red está sometida a diversos defectos, que es importante detectar y localizar con el fin de resolver los problemas generados: corte de suministro, degradación de la resistencia de los materiales de aislamiento, por no hablar de la seguridad de las personas. Entre estos defectos, los más frecuentes son los defectos monofásicos, en los cuales una fase está en contacto con la tierra, localizados fuerza de la subestación de origen; de media, por año, continua habiendo una decena de este tipo de defectos por 100 km de línea a pesar de una desconexión de la red concernida: estos defectos permanentes necesitan en particular una intervención humana, y por lo tanto una localización en la red.

Numerosos estudios se han centrado en la localización de los defectos en las redes de distribución (véase por ejemplo el documento US 5 839 093), o de manera más general entre una subestación 7 de origen y una carga 8, en la línea 9 de impedancia Z_l lineal; en general, se determina una distancia x del defecto 10 con respecto al puesto 7 de origen, tal como se ilustra en la figura 2.

Aunque se han desarrollado algunos métodos de tipo heurísticos (red de neuronas o lógica difusa, lo que requiere un aprendizaje complejo), las determinaciones de la distancia x de defecto se hacen habitualmente mediante cálculos. Por ejemplo, se miden las señales transitorias de alta frecuencia que se producen inmediatamente después de la aparición del defecto, lo que sin embargo requiere aparatos de medición caros, o se comparan las curvas en régimen de defecto. Estas opciones exigen un muy buen conocimiento de la red y de su topología, lo que no siempre es posible, ni siquiera realista.

De hecho, la determinación más frecuente utiliza un cálculo de impedancia, siendo la distancia de defecto x la solución de un sistema de ecuaciones. Algunos métodos de resolución (por ejemplo descritos en el documento WO 00/50908) comprenden unas mediciones de cada lado 7, 8 de la línea, con la pesadez inherente a la comunicación de los datos. Los métodos de localización en un punto de medición deben, por su parte, compensar el hecho de no conocer las corrientes que circulan en las diferentes partes del circuito, y se han propuesto diversas modelizaciones para resolver el sistema de ecuaciones con muchas incógnitas: véase, por ejemplo, el documento US 5 661 664 o el documento US 5 773 980.

Sin embargo, los procedimientos actuales no dan resultados lo suficientemente fiables en determinadas circunstancias, en particular para los defectos 10 monofásicos muy resistivos ($50 < Z_{def} < 300\ \Omega$) que son relativamente frecuentes en las redes ATA. En efecto, cuando la impedancia Z_{def} de defecto 10, por naturaleza desconocida, aumenta, la precisión de los cálculos se degrada, y una localización x utilizable necesita por tanto la medición en diferentes puntos de la red. De hecho, esta imprecisión de los métodos actuales depende también de la carga Z_c alimentada cuando aparece el defecto: cuanto más elevada es esta, más importante es el impacto del valor de la resistencia del defecto. El documento WO 98/29752 tiene en cuenta este factor.

Los documentos US 2003/155929 A1, EP 0 106 790 A, WO 98/29752 A y WO 2007/090484 A dan a conocer un procedimiento y un sistema de localización de un defecto en una red representada por una línea eléctrica de impedancia lineal predeterminada entre un primer extremo y una carga, que comprende:

a) la medición de la corriente y de la tensión de la red en el primer extremo antes de la aparición del defecto;

b) la determinación de la impedancia de la carga mediante la relación entre los valores complejos de la corriente y de la tensión medidos antes del defecto;

c) la medición de la corriente y de la tensión en el primer extremo en situación de defecto;

d) la determinación de la corriente que circula en la carga en situación de defecto, considerando la impedancia de la carga invariable; y

e) la determinación de la distancia de defecto con respecto al primer extremo por medio de los valores medidos, en el primer extremo, de la corriente y de la tensión, y del valor determinado de la corriente que circula en la carga durante el defecto.

Descripción de la invención

Entre otras ventajas, la invención pretende resolver los inconvenientes de los métodos existentes de cálculo de la distancia de defecto, en particular en el caso de un defecto monofásico con una elevada resistencia de tierra. En particular, la invención tiene en cuenta el valor de la carga alimentada y, utilizando las mediciones antes del defecto, introduce la impedancia directa y la impedancia inversa de la carga en una modelización de componentes simétricas de la red en defecto. Se mejora la precisión del cálculo de la distancia de defecto y en particular el error en la distancia de defecto, reducido a la distancia máxima en una red ATA dada, es inferior a un 5 %.

Según un aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de localización de un defecto en una red, en particular una red de distribución de media tensión trifásica, que comprende todas las características de la reivindicación 1. En particular, comprende la determinación de la distancia que separa el defecto de un primer extremo de una línea eléctrica de impedancia lineal predeterminada, que representa la red. El procedimiento de acuerdo con la invención utiliza la medición de la corriente y de la tensión en el primer extremo antes de la aparición del defecto y en situación de defecto, y considera que la carga de la red no se modifica con la aparición del defecto, es decir que la impedancia de la carga de la red en defecto se calcula mediante la relación entre los valores complejos de la corriente y de la tensión medidos antes del defecto; estos valores complejos se pueden determinar mediante la medición de las corrientes de cada una de las tres fases y de las tensiones entre cada fase y la tierra.

El conocimiento de la impedancia de carga y las mediciones de los parámetros de la corriente durante el defecto (es decir antes de la activación de los dispositivos de seguridad) permiten el establecimiento de un sistema de ecuaciones para la distancia de defecto, y esto por medio de una modelización de componentes simétricas de la red; el sistema de ecuaciones se obtiene considerando en una primera etapa que la impedancia de la línea es insignificante con respecto a la impedancia de carga en situación de defecto, la carga de inicio es equilibrada y el defecto es resistivo. El sistema se resuelve de preferencia mediante iteraciones sucesivas, con por ejemplo una inicialización con una distancia de defecto nula, es decir un efecto que aparece en el primer extremo de la línea.

En particular, el sistema de ecuaciones que permite la determinación de la distancia x de defecto es el siguiente:

$$x = \frac{\Im(Z)}{X_l} \; ; \; Z = \frac{V_{fase} - Z_l d \cdot x \cdot (I_c d + I_c i)}{I_{def}},$$

siendo X_l la reactancia de línea por unidad de longitud (es decir, la parte imaginaria de la suma de las componentes simétricas de la impedancia lineal en la línea), $Z_l d$ la componente directa de la impedancia lineal en la línea, V_{fase} la suma de las componentes simétricas de las tensiones medidas durante el defecto, $I_c d$ y $I_c i$ respectivamente las componentes directa e inversa de la corriente que atraviesa la carga durante el defecto, y I_{def} la corriente de defecto igual a la diferencia entre las componentes directas de las corrientes medidas I_m y de carga I_c.

La invención se refiere también a un dispositivo como se describe en la reivindicación 6, adaptado para implementar el procedimiento de acuerdo con la invención. El dispositivo comprende en particular unos medios de medición de la corriente y de la tensión en una línea eléctrica de inicio de una red, de preferencia para cada una de las fases; de manera ventajosa, se pueden almacenar en particular las mediciones de antes de la aparición del defecto. El dispositivo comprende, además, unos medios para calcular una impedancia de carga de la red en función de las mediciones de la corriente y de la tensión antes del defecto, unos medios para determinar la corriente de carga durante el defecto en función de la impedancia de carga calculada y de las mediciones de la corriente y de la tensión durante el defecto, y unos medios, de preferencia mediante iteraciones sucesivas, que permiten calcular la distancia que separa el defecto del punto de medición de la corriente y de la tensión en función de la corriente de carga determinada y de la corriente y de la tensión medidas durante el defecto.

El dispositivo de acuerdo con la invención comprende unos medios para determinar las componentes complejas de los valores medidos, y los diferentes medios de determinación están adaptados para unos cálculos realizados por medio de las componentes simétricas de una modelización de la red.

Breve descripción de las figuras

Se mostrarán de manera más clara otras ventajas y características en la descripción que viene a continuación de unas formas particulares de realización de la invención, dadas a título ilustrativo y en modo alguno limitativas, representadas en las figuras adjuntas.

La figura 1, ya descrita, ilustra una red de distribución eléctrica.

La figura 2 esquematiza la aparición de un defecto en una red ATA.

Las figuras 3A y 3B ilustran de manera esquemática el modelo utilizado para el cálculo de la distancia de defecto.

Descripción detallada de una forma preferente de realización

Tal como se esquematiza en la figura 3A, la determinación de la distancia x de defecto se basa en el cálculo de una impedancia "vista" en un punto de medición, por lo general situado en la subestación 7 de origen, modelizada por la impedancia Z_l-x de la parte de la línea 9 entre el origen 7 y el defecto 10. La parte imaginaria de la impedancia Z_l lineal de la línea 9 se considera por lo general lineal, de tal modo que el valor obtenido es proporcional a la distancia x de defecto. Se puede, a este respecto, descomponer la impedancia de la línea 9 en función del tipo de red: si la red ATA comprende un porcentaje n de cables subterráneos de impedancia Z_{lC} lineal y el resto de línea es aérea de impedancia Z_{lL}, se puede considerar la impedancia resultante de la línea 9 como igual a

$$Z_l = \frac{1}{100} \cdot \left[n \cdot Z_{lC} + (100 - n) \cdot Z_{lL} \right].$$

El origen 7 está representado, como es habitual, como un generador perfecto de tensión V asociado a una impedancia Z_t de cortocircuito, que corresponde a la impedancia de la red MAT/ATB aguas arriba y del transformador ATB/ATA 5. Se puede determinar, en cualquier instante y en particular antes del defecto, mediante los medios habituales, los parámetros V_m, I_m complejos (tensión e intensidad) de la corriente que circula después del transformador 5, y en particular unos medios clásicos miden las tres tensiones $V_{m\ 1,\ 2,\ 3}$ de fase y las tres corrientes de fase $I_{m,\ 1,2,3}$ en el punto 7 de medición, en este caso el primer extremo de la línea 9, u origen de la red.

La red ATA presenta una carga total que se distribuye sin que sea posible conocer de manera precisa el estado de carga de una red, es decir que los diferentes valores asignados a los usuarios 3, 4 y la distribución de las cargas aferentes no se conocen individualmente. Es habitual representar la red por una carga de inicio concentrada al final de la línea, distancia de la longitud L de línea 9 desde la subestación 7 de origen. Suponiendo que la red está equilibrada, el valor de la impedancia de carga 8 antes del defecto se puede determinar directamente:

$$(1) \qquad Z_c = \frac{V_{m\ \text{antes_defecto}}}{I_{\text{antes_defecto}}} - Z_l \cdot L,$$

siendo $V_{m\ \text{antes_defecto}}$ un valor complejo de la tensión fase-tierra y $I_{m\ \text{antes_defecto}}$ una medición compleja de la corriente de línea tomada por parejas en cualquiera de las tres fases, Z_l la impedancia por unidad de medición de los conductores 9, y L la distancia entre el punto 7 de medición y la carga 8.

La invención utiliza la teoría de las componentes simétricas para el cálculo de la distancia x: la red trifásica desequilibrada como consecuencia de la aparición del defecto 10 monofásico, que se ilustra en la figura 3A, se lleva a un esquema tal como se presenta en la figura 3B, que comprende tres sistemas equilibrados, con una componente directa d, una componente inversa i y una componente homopolar *o* en la que se encuentra en particular la impedancia de conexión a tierra del neutro Z_n. En particular, la carga 8 se descompone en Z_ci y Z_cd; su componente homopolar se considera como de valor infinito ya que las cargas en una red ATA no están conectadas a tierra y, de hecho, la red no comprende ninguna componente homopolar de carga.

El ejemplo ilustrado se refiere al caso más frecuente, y el más problemático en cuanto a fiabilidad y precisión mediante los métodos actuales, del defecto monofásico 10, simbolizado por una impedancia Z_{def} de defecto que pone una fase en contacto con la tierra, y del cual no se conoce el valor; las demás situaciones las puede representar naturalmente de la misma forma el experto en la materia.

Para la localización, se considera por tanto el circuito 12 de corriente, también llamado circuito de defecto a 50 Hz y esquematizado en la figura 3A, que hace la corriente de defecto total I_f y que depende directamente de la distancia x de defecto. Mediante la modelización de las componentes simétricas, la impedancia Z_B equivalente del circuito 12 cumple con la siguiente ecuación:

$$(2) \qquad Z_B = 3 \cdot Z_{def} + (Z_l d + Z_l i + Z_l o) \cdot x = \frac{V_{fase} - Z_l d \cdot x \cdot (I_c d + I_c i)}{I_{def}},$$

siendo $V_{fase} = V_m d_{en_defecto} + V_m i_{en_defecto} + V_m o_{en_defecto}$ el valor de la tensión fase-tierra de la fase detectada en defecto, calculándose los valores $V_{m\ en_defecto}$ utilizando las mediciones realizadas en cada fase en régimen de defecto permanente (entre la aparición del defecto 10 y la activación de los dispositivos de seguridad). Tradicionalmente, se considera que el defecto 10 es de naturaleza resistiva.

La corriente de defecto I_{def}, tal como se ilustra en la figura 3B, se puede deducir de los valores de las componentes directas de la corriente medida I_m en la subestación 7 de origen y de la corriente I_c que circula en la carga 8 durante el defecto:

$$(3) \qquad I_{def} = (I_m d - I_c d)$$

El problema práctico es que, aunque seleccionada distribuida únicamente al final de la línea 8, la carga exacta del inicio Z_c durante el defecto no se conoce; además, tal como se ha mencionado, no está disponible un estado de carga de la red de distribución, por falta de mediciones distribuidas en la red que permitirían establecerlo. De este modo, las corrientes de carga directa $I_c d$ e inversa $I_c i$ en régimen de defecto no se conocen con precisión.

Se ha verificado que la hipótesis de una carga equilibrada, con una impedancia directa igual a la impedancia inversa, es realista; además, teniendo en cuenta las funcionalidades de una red ATA, cabe pensar en prescindir de las impedancias Z_l lineales de la línea 9 en régimen sin defecto para calcular la impedancia Z_c de carga. De acuerdo con la invención, se supone además que la impedancia de carga 8 tiene un valor Z_c constante antes y durante el defecto; de este modo, se utilizan las mediciones de las características de la corriente antes del defecto, es decir de las tres tensiones fase-tierra $V_{m\ 1,2,3}$ y de las tres corrientes $I_{m\ 1,2,3}$, para, indirectamente y por medio de la componente inversa $Z_t i$ de la impedancia equivalente aguas arriba del primer extremo 7 $\left(Z_t i = -\frac{V_m i_{en_defecto}}{I_m i_{en_defecto}}\right)$ y del cálculo de la impedancia Z_c de carga, calcular respectivamente las corrientes directa e inversa en la carga durante el defecto.

De acuerdo con la invención, se han adoptado por lo tanto las siguientes hipótesis:

- la red es unifilar y homogénea (compuesta por un único tipo de conductor 9, pudiendo este tipo comprender componentes aéreas y subterráneas tal como se ha mencionado más arriba), con la totalidad de la carga 8 conectada al final de la línea, es decir siempre aguas abajo del defecto 10;
- la carga 8 del inicio y la carga 9 de la línea están equilibradas, con una impedancia directa igual a la impedancia inversa: $Z_c d = Z_c i$ y $Z_l d = Z_l i$ -se recuerda que la carga 8 no comprende, además, ninguna componente conectada a tierra $Z_c o = \infty$-;
- se ignoran las capacidades directas, inversas y homopolares Co de los conductores;
- se ignoran las impedancias Z_l de los conductores para el cálculo de las corrientes I_c de carga en régimen de defecto:

$$(4) \qquad I_c i = - I_m i_{en_defecto} \cdot \frac{Z_t i}{Z_c i}$$

y

$$(5) \qquad I_c d = I_m d_{en_defecto} - I_m i_{en_defecto} + I_c i$$

Por el contrario, hay que señalar que no se ha hecho ninguna hipótesis en lo que se refiere al valor de la resistencia Z_{def} de defecto o la corriente I_f de defecto que la atraviesa: de este modo el procedimiento y el dispositivo de determinación de acuerdo con la invención se aplican con independencia de este valor, y en particular continúan dando unos resultados fiables cuando la impedancia Z_{def} es elevada, incluso cuando se acerca a su máximo estadístico de 300 Ω.

Por lo tanto, se obtiene un sistema:

$$(6) \qquad x = \frac{\Im(Z_B)}{X_l};$$

$$(2) \qquad Z_B = \frac{V_{fase} - Z_l d \cdot x \cdot (I_c d + I_c i)}{I_{def}} ;$$

viniendo dados los valores $I_c i$, $I_c d$, I_{def} por la ecuaciones respectivas (4), (5) y (3); siendo $\Im(Z_B)$ la parte imaginaria de la impedancia del circuito 12, y X_l la reactancia de línea por unidad de longitud (en general el kilómetro), que corresponde a $X_l = \Im(2.Z_l d+Z_l o) = \Im(Z_l d+Z_l i+Z_l o)$.

Para resolver este sistema de ecuaciones, se procede de preferencia por iteraciones, con por ejemplo una inicialización con una distancia de defecto nula ($x_0 = 0$). El cálculo de la distancia x de defecto se considera como terminado cuando la diferencia entre dos valores x_j, x_{j+1} sucesivos es inferior a una precisión dada.

La invención encuentra una aplicación particular para las redes de distribución de media tensión de tipo aéreo, o con pocos cables subterráneos, que componen la mayor parte de la red francesa; sin embargo, esta no está limitada a esto. En particular, aunque se ha descrito la invención en referencia a un defecto monofásico en el cual esta presenta unas mejoras notables con respecto al estado de la técnica, la modelización anterior y las hipótesis hechas pueden aplicarse igualmente para el cálculo de la distancia de defecto bifásico, aislado o a tierra, o de defecto trifásico: en estos casos, aparecen algunas simplificaciones en las ecuaciones anteriores, con la desaparición en particular de las componentes homopolares o inversas.

Del mismo modo, el cálculo propuesto se ha validado con unas cargas 8 “realistas” y para los diferentes tipos de neutro. En particular, para las redes ATA del tipo “con neutro impedante”, se han estudiado diferentes valores de la impedancia Z_n del neutro con una corriente de defecto $I_f \geq 50$ A para una resistencia de defecto nula: conexión a tierra directa, puramente resistiva o que comprende una parte impedante, en particular $Z_n = 0$, $Z_n = 40j$, $Z_n = 12+12j$, $Z_n = 40\ \Omega$, $Z_n = 80\ \Omega$,... (siendo $j^2 = -1$).

Para todas las señales de defecto, se puede realizar de este modo el mismo tratamiento de los datos y se puede realizar el cálculo de la distancia x de defecto desde los primeros 100 ms que siguen a su aparición. Este intervalo es por lo general suficiente para el establecimiento de un régimen permanente en defecto, manteniéndose inferior a la duración mínima habitual que precede al accionamiento de los órganos de protección. La localización de acuerdo con la invención puede, por lo tanto, realizarse en las redes ATA existentes con fiabilidad y precisión.

Por otra parte, el método de acuerdo con la invención se puede aplicar en el caso de que la generación 14 eléctrica distribuida (GED), es decir unas fuentes de energía de baja potencia nominal como unos aerogeneradores o unos grupos síncronos, se instalen en la red de media tensión, por ejemplo tal como se ilustra en la figura 1. Aunque estos GED 14 puedan, en determinadas condiciones de funcionamiento, alterar la red de los puntos de vista del plano de tensión y armónicos al introducir energía en sentido contrario (véanse las flechas huecas), el conocimiento de sus parámetros, por ejemplo unas mediciones realizadas directamente en sus puntos de conexión a la red ATA, en los algoritmos de cálculos de acuerdo con la invención, sin modificar otros datos, y permitir una localización de igual precisión, e incluso una precisión superior.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de localización de un defecto (10) monofásico en una red representada por una línea (9) eléctrica de impedancia (Z_l) lineal predeterminada entre un primer extremo (7) y una carga (8) que comprende:

a. la medición de la corriente y de la tensión ($I_{m\ antes_defecto}$, $V_{m\ antes_defecto}$) de la red en el primer extremo (7) antes de la aparición del defecto (10);
b. la determinación, realizada por medio de una modelización de componentes simétricas, es decir directa, inversa y homopolar, de la red, de la impedancia (Z_c) de la carga (8) mediante la relación entre los valores complejos de la corriente y de la tensión ($I_{m\ antes_defecto}$, $V_{m\ antes_defecto}$) medidos antes del defecto;
c. la medición de la corriente y de la tensión ($I_{m\ en_defecto}$, $V_{m\ en_defecto}$) en el primer extremo (7) en situación de defecto;
d. la determinación, realizada por medio de una modelización de componentes simétricas, es decir directa, inversa y homopolar, de la red, de la corriente (I_c) que circula en la carga (8) en situación de defecto, considerando la impedancia (Z_c) de la carga invariable;

e. la determinación de la impedancia ($Z_t i$) inversa equivalente aguas arriba del primer extremo (7) mediante

$$Z_t i = -\frac{V_m i_{en_defecto}}{I_m i_{en_defecto}},$$

f. la determinación, realizada por medio de una modelización de componentes simétricas, es decir directa, inversa y homopolar, de la red, de la distancia (x) de defecto con respecto al primer extremo (7) por medio de los valores medidos, en el primer extremo (7), de la corriente y de la tensión ($I_{m\ en_defecto}$, $V_{m\ en_defecto}$), y del valor determinado de la corriente que circula en la carga (I_c) durante el defecto, viniendo dada la distancia (x) de defecto por el sistema de ecuaciones:

$$x = \frac{\Im(Z)}{X_l} \quad \text{y} \quad Z = \frac{V_{fase} - Z_l d \cdot x \cdot (I_c d + I_c i)}{I_{def}},$$

siendo:

- X_l la reactancia de línea por unidad de longitud, y la parte imaginaria de la suma de las componentes de la impedancia lineal predeterminada: $X_l = \Im (Z_l d + Z_l i + Z_l o)$;
- V_{fase} la tensión a tierra de la fase detectada en defecto y la suma de las componentes de la tensión medida en defecto $V_{fase} = V_m d_{en_defecto} + V_m i_{en_defecto} + V_m o_{en_defecto}$;
- I_{def} el valor de la corriente de defecto y la diferencia entre las componentes directas de la corriente medida (I_m) y de la corriente de carga (I_c) en defecto $I_{def} = I_m d - I_c d$;
- $I_c i$ y $I_c d$ las componentes inversa y directa de la corriente de carga que valen respectivamente:

$I_c i = -I_m i_{en_defecto} \cdot \frac{Z_t i}{Z_c}$ y $I_c d = I_m d_{en_defecto} - I_m i_{en_defecto} + I_c i$ siendo $Z_t i$ la impedancia inversa equivalente aguas arriba del primer extremo (7), Z_c la impedancia de carga (8) de la red, $I_m i_{en_defecto}$ la medición de la corriente en defecto en el primer extremo (7).

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la medición (a.) de la corriente y de la tensión de la red en el primer extremo (7) antes del defecto comprende la medición de las tres corrientes de cada fase ($I_{m\ 1,2,3}$) y la medición de las tres tensiones entre cada fase y la tierra ($V_{m\ 1,2,3}$).

3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2 en el que la medición (c.) de la corriente y de la tensión de la red en el primer extremo (7) durante el defecto comprende la medición de las tres corrientes de cada fase ($I_{m\ 1,2,3}$) y la medición de las tres tensiones entre cada fase y la tierra ($V_{m\ 1,2,3}$).

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6 en el que la determinación de la distancia (x) de defecto es realizada mediante iteraciones sucesivas para resolver un sistema de ecuaciones.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7 en el que la red es una red de distribución de media tensión y el defecto (10) es monofásico y resistivo.

6. Sistema de localización de un defecto en una red de distribución con respecto a un punto (7) de medición, asimilándose la red a una línea (9) eléctrica de impedancia (Z_l) lineal predeterminada entre el punto (7) de medición de impedancia (Z_t) predeterminada aguas arriba y una carga (8) que comprende:

- unos medios de medición de la corriente y de la tensión (I_m, V_m) de la red en el punto (7) de medición antes del defecto y durante el defecto;
- unos medios de cálculo de la impedancia (Z_c) de la carga (8) mediante la relación entre los valores complejos de la corriente y de la tensión (I_m, V_m) medidos por dichos medios de medición antes del defecto;
- unos medios de determinación de la corriente (I_c) que circula en la carga (8) de la red en situación de defecto, considerando su impedancia (Z_c) invariable;
- unos medios de determinación de la distancia (x) de defecto con respecto al punto (7) de medición por medio de los valores medidos, por dichos medios de medición, en defecto de la corriente y de la tensión ($I_{m\ en_defecto}$, $V_{m\ en_defecto}$) y del valor determinado de la corriente (I_c) que circula en la carga;
- unos medios para determinar las componentes simétricas de los parámetros de la red;

- unos medios para determinar la impedancia ($Z_t i$) inversa equivalente aguas arriba del primer extremo (7) por

$$Z_t i = -\frac{V_m i_{en_defecto}}{I_m i_{en_defecto}},$$

- estando los medios de determinación de la distancia de defecto adaptados para resolver el sistema:

$$x = \frac{\Im(Z)}{X_l} \quad \text{y} \quad Z = \frac{V_{fase} - Z_l d \cdot x \cdot (I_c d + I_c i)}{I_{def}},$$

siendo:

- X_l la reactancia de línea por unidad de longitud, y la parte imaginaria de la suma de las componentes de la impedancia lineal predeterminada: $X_l = \Im(Z_l d + Z_l i + Z_l o)$;
- V_{fase} la tensión a tierra de la fase detectada en defecto y la suma de los componentes de la tensión medida en defecto $V_{fase} = V_m d_{en_defecto} + V_m i_{en_defecto} + V_m o_{en_defecto}$;
- I_{def} el valor de la corriente de defecto y la diferencia entre las componentes directas de la corriente (I_m) medida y de la corriente (I_c) de carga en defecto $I_{def} = I_m d - I_c d$;
- $I_c i$ y $I_c d$ respectivamente las componentes inversa y directa de la corriente (I_c) de carga, dadas por:

$$I_c i = -I_m i_{en_defecto} \cdot \frac{Z_t i}{Z_c} \text{ y } I_c d = I_m d_{en_defecto} - I_m i_{en_defecto} + I_c i,$$

siendo $Z_t i$ la componente inversa de la impedancia equivalente aguas arriba del punto (7) de medición, Z_c la impedancia determinada de carga (8) de la red e $I_{m\ en_defecto}$ la medición de la corriente en defecto.

7. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 6 en el que los medios de medición de la corriente están adaptados para medir la corriente en cada una de las tres fases de la red.

8. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 7 en el que los medios de medición de la tensión están adaptados para medir la tensión a tierra de cada una de las tres fases de la red.

Fig.1

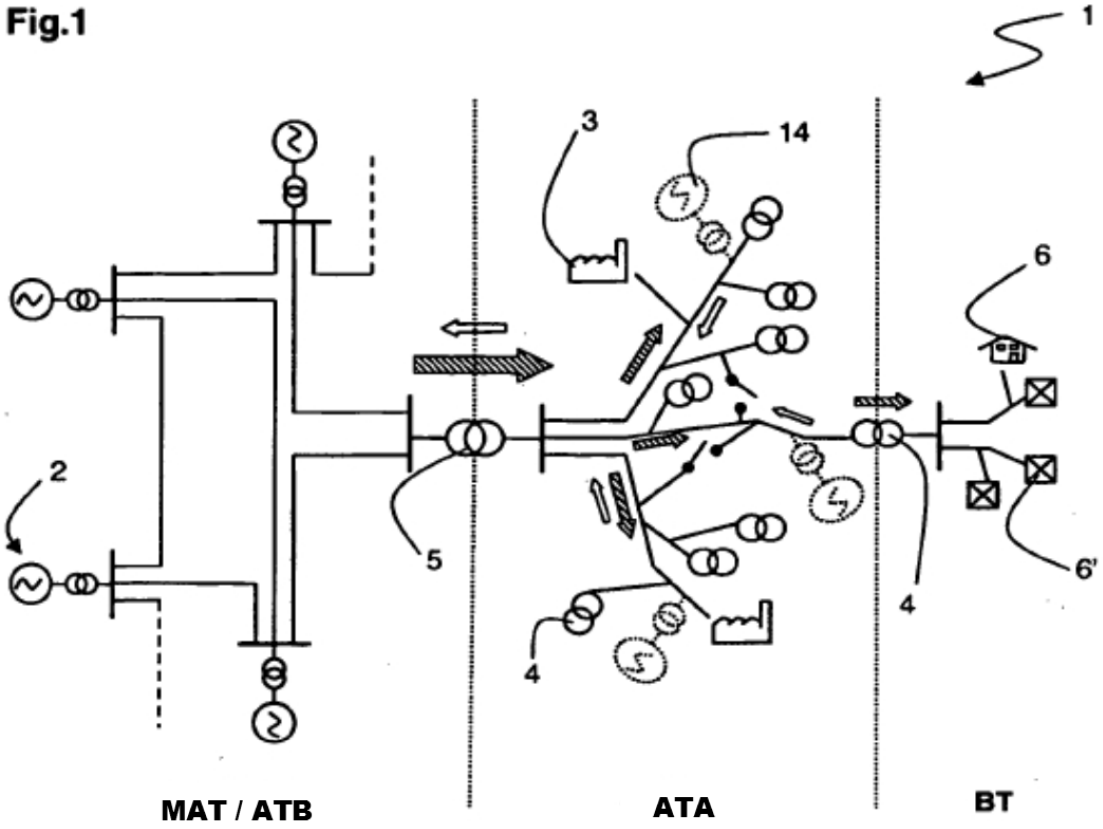
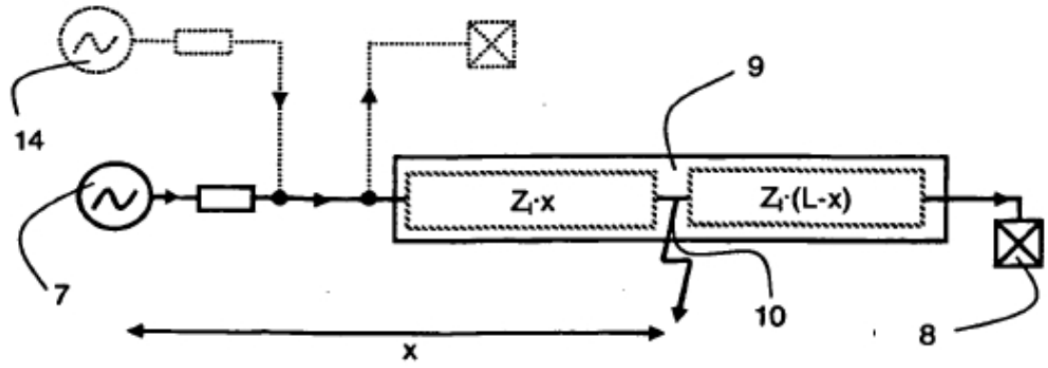


Fig.2



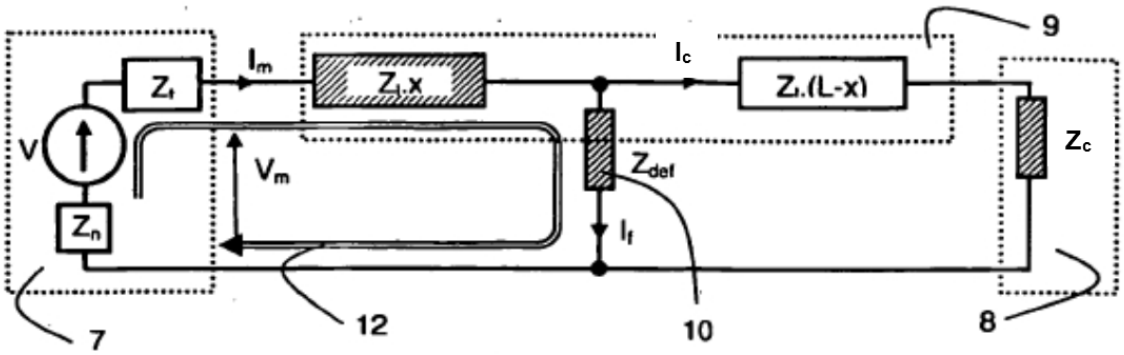

9
Z_t
I_m
$Z_t.x$
I_c
$Z_t.(L-x)$
Z_c
V
V_m
Z_{def}
I_f
Z_n
7
12
10
8

Fig.3A

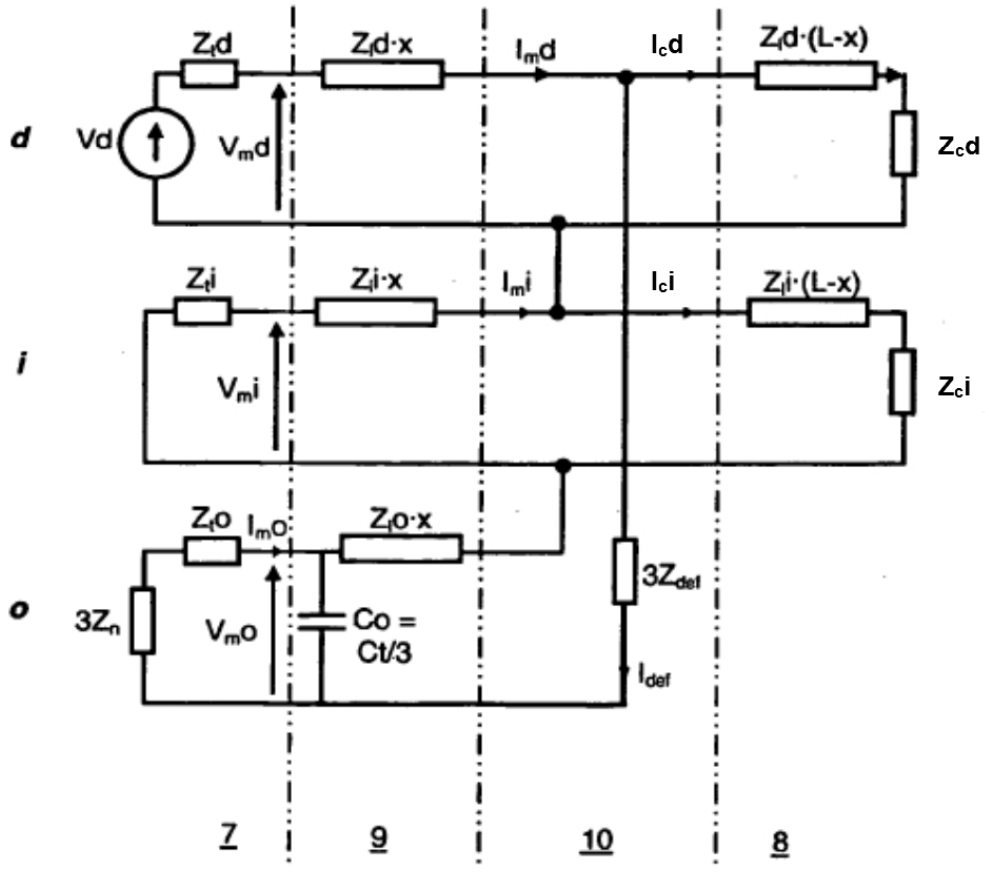

d
Z_td
$Z_td \cdot x$
I_md
I_cd
$Z_td \cdot (L-x)$
Vd
V_md
Z_cd
i
Z_ti
$Z_ti \cdot x$
I_mi
I_ci
$Z_ti \cdot (L-x)$
V_mi
Z_ci
o
Z_to
I_mo
$Z_to \cdot x$
$3Z_{def}$
$3Z_n$
V_mo
Co = Ct/3
I_{def}
7
9
10
8

Fig.3B