

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 569 080**

51 Int. Cl.:

G01R 31/08 (2006.01)

H02H 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2013 E 13172415 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2016 EP 2687860**

54 Título: **Detección direccional de fuga a tierra sensible en media tensión por correlación lineal**

30 Prioridad:

20.07.2012 FR 1257023

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.05.2016

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS
(100.0%)
35 rue Joseph Monier
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**VERNEAU, GUILLAUME;
BAUMES, NATHALIE y
NEVEU, THIBAUT**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 569 080 T3

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

DESCRIPCIÓN

Detección direccional de fuga a tierra sensible en media tensión por correlación lineal

Campo técnico

5 La invención se refiere a la detección de fuga en la red eléctrica de distribución, principalmente de media tensión. En particular, la invención propone un principio de detección de fugas resistentes entre un conductor eléctrico de media tensión y la tierra, fuga causada por ejemplo por la rotura de dicho conductor, así como un dispositivo adaptado. Unos parámetros resultantes del tratamiento de las únicas señales representativas de las corrientes de cada fase de la red permiten la localización direccional, sin utilizar valores representativos de la tensión entre fases, ni valores representativos de las tensiones simples.

10 La invención se refiere igualmente a un dispositivo de señalización de fuga y a un relé de disparo que comprende unos sensores de corriente asociados a cada fase de la red y que proporciona al dispositivo de detección anterior las señales que permiten la señalización, por ejemplo mediante un piloto, o el disparo de un dispositivo de corte de la red.

Estado de la técnica

15 Los dispositivos de detección de fuga a tierra se utilizan principalmente en las redes de distribución eléctricas trifásicas de media tensión. Tal como se ilustra en la figura 1, las redes 1 de distribución pueden descomponerse en diferentes niveles, con una primera red 2 de transporte y de distribución de muy alta y alta tensión MAT/AT (de 35 a más de 200 kV), utilizada para transportar o distribuir la energía eléctrica desde las centrales de producción a grandes distancias. Un transformador 3 trifásico presta servicio a una red de distribución 4 de media tensión MT, usualmente entre 1 y 35 kV, más precisamente de 11 kV de tensión simple en Francia, para unos transportes a más pequeña escala, hacia unos clientes de tipo industriales o de estaciones de transformación de la media tensión en baja tensión BT (en particular 0,4 kV en Francia).

25 La línea principal alimenta por tanto las líneas de salida 5, 5', compuestas de líneas aéreas y/o de cables subterráneos, de los que ciertos de ellos 5 pueden incluir en cabeza un disyuntor u otro dispositivo de corte 6 que las protege. Cualquiera que sea la solución, la red 4 está sometida a unas fugas diversas, que es importante detectar y localizar con el fin de paliar los problemas generados: ruptura de la alimentación, degradación de la resistencia de los materiales de aislamiento, sin contar la seguridad de las personas. Entre estas fugas, los más frecuentes son las fugas monofásicas 7, localizados fuera de la estación de origen, en los que una fase está en contacto con la tierra, o la rotura de un cable aéreo en caso de intemperie principalmente.

30 Estas fugas 7, así como las fugas polifásicas que se refieren a varias fases, son de tipo cortocircuito y el origen de corrientes elevadas, que pueden alcanzar varios millares o decenas de millares de amperios, mientras que los conductores y/o equipos están generalmente concebidos para soportar algunos centenares de amperios en funcionamiento normal.

35 Las líneas de salida 5', o los tramos de línea 5, pueden comprender entonces un dispositivo 8 de detección de fuga a tierra. El dispositivo 8 puede servir de indicador de cambio a fuga, encendiendo por ejemplo un piloto luminoso; un dispositivo 8₁ puede por otro lado asociarse o integrarse en un relé de protección 9 adecuado para ordenar la apertura de los contactos del disyuntor 6.

40 Una opción para detectar este tipo de fuga 7 es medir la corriente que circula, o unos parámetros que se le relacionen. Estas medidas se completan sin embargo por unas medidas en las tensiones trifásicas, si se desea dar la dirección relativa (aguas arriba o aguas abajo) con relación al equipo de detección de las fugas. Ahora bien, la tensión en MT de la red 4 genera una complicación en el acceso a los puntos de medición, y unas problemáticas de aislamiento del material electrónico: este tipo de detección direccional es difícil de implementar.

45 En el documento FR 2 936 319, la detección direccional de una fuga a tierra en una red multifásica se basa en la dispersión de los factores de correlación lineal sin signo entre las corrientes de fase y la corriente homopolar. La utilización de la media y desviación típica de este coeficiente de correlación permite determinar si la fuga está aguas arriba o aguas abajo de la medida de los sensores de corrientes de fase de los detectores 8_i, 8_{i+1} sin utilizar la medición de tensión.

50 Esta solución no está adaptada sin embargo al caso de corriente de carga elevada, principalmente porque la relación de corriente de fuga sobre corriente de carga es inferior al 10 %. En particular, cuando la fuga es muy resistente (por naturaleza de la fuga, o cuando el suelo es resistivo por ejemplo) o cuando las corrientes capacitivas son reducidas, típicamente por las redes de fuerte proporción de aérea con relación a la subterránea, la dirección dada puede ser errónea. Igualmente, la puesta a tierra del secundario del transformador 3 puede en sí misma ser de tal naturaleza que limite la amplitud de una fuga a tierra, y la técnica anterior es insuficiente. En las redes de distribución de MT, se habla entonces de fuga a tierra resistente (o tierra sensible) cuando el nivel de corriente de fuga es reducido (y por tanto difícilmente detectable), sea porque la resistencia de la fuga es elevada, o sea porque
55 la puesta a tierra del neutro en el transformador de la estación de origen limita la corriente de fuga (caso de una

bobina de compensación, o de un neutro aislado por ejemplo), o bien porque el suelo es en sí mismo de naturaleza resistiva.

5 Deben realizarse unas medidas más finas de la corriente ("*sensitive earth fault*") para estas fugas muy resistentes, y se implementa por lo tanto una detección a través de la tensión. Por ejemplo, el documento EP 1 603 211 se refiere a un equipo de comunicación instalado en los extremos de las líneas: la detección de la rotura del conductor se realiza mediante simple detección de la pérdida de tensión de línea. Unos estudios más teóricos indican la posibilidad de utilizar la tensión inversa y/o la tensión homopolar en la red de MT 4; sin embargo, los problemas inherentes a la medida de la tensión sobre unos conductores de fase de media tensión anteriormente mencionados se mantienen por completo.

10 La detección y la localización de este tipo de fugas resistivas en una red de media tensión, principalmente en el caso de roturas de conductores, está poco desarrollada en razón de la utilización de medidas complejas de implementar.

15 Se propone una alternativa en el documento EP 2 533 060 (citado en el título del artículo 54(3) CBE), con la detección y la localización de una fuga a tierra resistente y/o de la rotura de conductor en una red de media tensión por medio de informaciones relativas a las tensiones en la red de baja tensión. Esto implica sin embargo el acceso a la red de BT, lo que puede ser problemático cuando se trata de una subestación de MT/MT intermedia o de derivación, sin transformador MT/BT.

Exposición de la invención

20 Entre otras ventajas, la invención viene a paliar estos inconvenientes de los dispositivos y procedimientos existentes de detección direccional de fuga resistente a tierra. En particular, el principio de direccionalidad implementado reposa en el análisis de los coeficientes de correlación entre las variaciones de la señal representativa de la corriente homopolar y las de las señales representativas de las corrientes de fase, sin utilización de las diferentes tensiones de la red, mientras se permite gestionar la detección y la localización de fugas a tierra sensibles.

25 Bajo uno de sus aspectos, la invención se refiere a un procedimiento de detección direccional de fuga a tierra en una red multifásica, preferentemente trifásica, en la que unas señales representativas de la corriente homopolar y de cada una de las fases que circulan en el tramo de la línea supervisado se depositan en memoria durante un periodo de almacenamiento predeterminado, al menos igual a un periodo de la red. Preferentemente, el almacenamiento se realiza de manera deslizante, es decir que en el periodo de almacenamiento fijado, los últimos valores medidos sustituyen a los primeros valores correspondientes a medida que se miden, de manera que los valores en memoria sean representativos de la corriente de carga más próxima al instante de medición. Ventajosamente, las señales representativas de las corrientes de fase se filtran, principalmente de modo analógico, y/o se muestrean, preferentemente a una frecuencia que permita obtener al menos una treintena de puntos en la duración predeterminada, por ejemplo del orden de 1,5 kHz al menos para una red a 50 Hz y un periodo.

30 El procedimiento de detección direccional comprende una primera etapa de detección de la fuga por comparación de una señal representativa de la corriente homopolar que circula en el tramo de línea supervisado con un umbral de detección. La señal representativa de la corriente homopolar puede obtenerse directamente, o por cálculo a partir de las señales representativas de las corrientes de cada conductor de fase de dicho tramo.

35 Si la primera etapa detecta la presencia de una fuga a tierra en dicho tramo, el almacenamiento de los valores se detiene, de manera que los valores memorizados sean representativos de la corriente de carga en el momento de la fuga, sin haber sido alterados por este último. Además, se desencadena la segunda etapa del procedimiento según un modo de realización preferido de la invención. La segunda etapa se basa en el tratamiento de las señales representativas de las corrientes de cada fase de dicho tramo y de la corriente de fuga del mismo tramo, obteniéndose estas señales en una duración predeterminada suficiente, por ejemplo un número entero de periodos de la red, inferior o igual a la duración de almacenamiento de los valores memorizados; las señales representativas de las corrientes de fase y homopolar se obtienen de la misma manera que para la memorización, con los mismos filtrado y muestreo.

40 Tras la adquisición de las señales representativas de las diferentes corrientes, la segunda etapa del procedimiento se prosigue por un tratamiento de dichas señales para permitir interpretar si la fuga detectada en la primera etapa se sitúa aguas arriba o aguas abajo del punto de medida de las corrientes de fase. El tratamiento de las señales comprende, según la invención, el cálculo de la variación de las señales representativas de la corriente homopolar de cada una de las corrientes de fase, el cálculo de los coeficientes de correlación lineal normalizados entre la señal representativa de la variación de la corriente homopolar del tramo y cada una de las variaciones de las señales representativas de las corrientes de fase; preferentemente, se utiliza la fórmula de Bravais-Pearson y/o unos coeficientes con signo. Se analiza a continuación la dispersión de dichos coeficientes, principalmente mediante el cálculo de su media y de su desviación típica.

45 55 Preferentemente, la dispersión de los coeficientes se realiza mediante formulación de una relación comparativa. En particular, si la diferencia entre la desviación típica y el valor absoluto de la media multiplicada por dos tercios de la raíz cuadrada de dos es positiva, entonces la fuga está aguas abajo de la detección; se puede utilizar cualquier otra

comparación en base a la desigualdad $3 \cdot \sigma > 2 \cdot \sqrt{2} \cdot |\mu|$. Según otra opción, la comparación se realiza gráficamente con relación a dos semi-rectas de ecuación $y = \left| \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2} \cdot x \right|$: según que el punto de coordenadas de la media y de la desviación típica se sitúe o no en el semi-plano que contiene el eje de las abscisas, la fuga está aguas arriba o aguas abajo.

- 5 Según un modo de realización preferido del procedimiento según la invención, dicho procedimiento de detección direccional se asocia con un accionamiento de un dispositivo de corte para aislar el tramo a partir del punto aguas abajo del que se ha detectado una fuga.

Según otro aspecto, la invención se refiere a un dispositivo de detección direccional de una fuga resistente a tierra de una línea en una red trifásica, preferentemente trifásica, adaptada para el procedimiento anterior. El dispositivo de detección direccional según la invención se puede asociar a unos sensores de corriente de cada una de las fases de la línea, por ejemplo a unos toros de detección, que le proporcionan las señales representativas de dichas corrientes. El dispositivo de detección direccional puede además formar parte de un indicador de cambio a fuga, por ejemplo mediante la activación de medios de alerta de tipo piloto si se detecta una fuga aguas abajo de los sensores. En un modo de realización particularmente preferido, el dispositivo de detección direccional según la invención se asocia a un relé de protección de la línea, provocando los medios de alerta el accionamiento de un dispositivo de corte de la línea que permite aislar el tramo en el que se ha detectado una fuga.

En particular, el dispositivo de detección direccional de una fuga resistente a tierra según la invención comprende unos primeros medios para recibir unas señales representativas de la corriente de cada fase de la línea a supervisar así como unos segundos medios para recibir una señal representativa de la corriente homopolar de dicha línea, comprendiendo estos segundos medios preferentemente unos medios que permiten deducir unas señales representativas de las corrientes de fase, principalmente por suma, de dicha señal representativa de la corriente homopolar. Ventajosamente, los primeros medios de recepción de las señales representativas de las corrientes de fase se asocian a unos medios de filtrado de dichas señales, por ejemplo un filtro analógico; preferentemente, los primeros medios comprenden unos medios de muestreo para obtener un número de valores discretos suficientes, por ejemplo a una frecuencia superior a 1,5 kHz.

El dispositivo según la invención comprende además unos medios de almacenamiento de los valores de las señales representativas de la corriente homopolar y de la corriente de cada una de las fases durante una duración de almacenamiento predeterminada, superior a un periodo de la red y correspondiente preferentemente a un número entero de periodos. Los medios de almacenamiento están ventajosamente adaptados para una memorización deslizante, es decir para almacenar los valores sobre la última duración considerada, sustituyendo los primeros valores almacenados por los últimos a medida de su adquisición.

El dispositivo según la invención comprende unos medios de tratamiento de las señales representativas obtenidas asociadas a unos medios de activación de dichos medios de tratamiento, siendo desencadenados los medios de activación por la detección de la aparición de una fuga a tierra. Preferentemente, la detección de la aparición de una fuga a tierra que acciona los medios de activación se realiza mediante el dispositivo según la invención que comprende unos medios adaptados, principalmente unos medios de comparación de la señal representativa de la corriente homopolar con un umbral de detección. La detección de la aparición de una fuga a tierra implica igualmente la detención de la memorización de los datos, comprendiendo los medios de almacenamiento unos medios de desactivación correspondientes, de manera que los valores memorizados se refieran al estado de la red antes de la aparición de la fuga.

Los medios de tratamiento de las señales del dispositivo según la invención comprenden unos medios para calcular los coeficientes de correlación lineal normalizados con signo, preferentemente según la fórmula de Bravais-Pearson, entre la señal representativa de la variación de la corriente homopolar y cada una de las señales representativas de las variaciones de las corrientes de fase. Los medios de cálculo se asocian con unos medios de temporización que permiten la adquisición de las señales durante una duración correspondiente a un número entero de periodos de la red e inferior, preferentemente igual, a la duración de almacenamiento. Los datos calculados se transmiten a un módulo de cálculo de la media aritmética y de la desviación típica, conectado en la salida a unos medios de interpretación que comparan los resultados para determinar si la fuga está aguas arriba o aguas abajo del punto de obtención de las señales representativas de las corrientes de fase; los medios de interpretación pueden ser de tipo gráfico o de cálculo.

Breve descripción de las figuras

Surgirán más claramente otras ventajas y características de la descripción que sigue de modos particulares de realización de la invención, dados a título ilustrativo y en ningún caso limitativo, representados en las figuras adjuntas.

- 55 La figura 1, ya descrita, representa una red eléctrica en la que pueden utilizarse unos dispositivos de detección de fuga a tierra.

La figura 2 muestra de manera esquemática y filtrada unas señales representativas de las corrientes de fase y homopolar, así como su variación, durante la aparición de una fuga a tierra en una fase, respectivamente aguas arriba y aguas abajo del dispositivo de detección.

La figura 3 ilustra el procedimiento de detección según un modo de realización preferido de la invención.

5 La figura 4 representa un esquema de bloques de un dispositivo de detección de fuga a tierra según un modo de realización preferido de la invención.

Descripción detallada de un modo de realización preferido

10 El dispositivo 10 de detección direccional de fuga 7 según la invención se puede utilizar en cualquier red trifásica 1, tal como la descrita en la figura 1, en lugar de los dispositivos 8 existentes. En el modo de realización y de utilización preferido ilustrado de la invención, la línea 5 en la que se implementa el dispositivo 10 comprende tres conductores de fase 5_A, 5_B, 5_C y la red está equilibrada, es decir que la corriente homopolar I_0 es nula en ausencia de fuga. Sin embargo, es posible desviarse de esta situación ideal, y la red puede comprender otro número de fases.

15 Durante la aparición de una fuga a tierra 7 en una de las fases A, la corriente de dicha fase I_A se hace idealmente nula aguas debajo de la fuga 7 y ve aumentar su amplitud aguas arriba; sin embargo, si la fuga a tierra 7 es muy resistente, las variaciones de la corriente inducidas por la fuga 7 son muy reducidas, hasta 20 a 40 veces menor que la corriente de carga, y pueden estar enmascaradas por las corrientes capacitivas. Tal como se ilustra en la figura 2, un sensor de corriente 12A en el conductor en fuga 5A proporciona entonces una señal representativa de la corriente I_A que no marca una ruptura neta en la fuga 7, porque la corriente de fuga es reducida y es difícilmente perceptible.

20 Sin embargo, la invención muestra que es posible liberarse de este problema de escala restando la corriente de carga medida antes de la fuga de la corriente de fuga I_A : tal como se ilustra en la figura 2, se hace visible una ruptura neta en la señal proporcionada por el sensor 12A. Lo que es más, la variación de la corriente ΔI_A en la fase en fuga difiere según que el dispositivo según la invención se disponga aguas arriba 10_{i+1} , o aguas abajo 10_i de dicho sensor 12.

25 La figura 2 muestra igualmente:

- la corriente I y su variación de corriente ΔI , que se altera puntualmente en las otras dos fases B y C, pero en unas proporciones menos importantes que en la fase A;
- la corriente homopolar I_0 detectada en la línea 5, o bien mediante un sensor apropiado 12, o bien mediante cálculo a partir de las tres corrientes de fase I_A , I_B , I_C obtenidas por los sensores 12A, 12B, 12C y su variación.

30 Según la invención, los coeficientes de correlación entre las diferentes curvas se utilizan para determinar si la fuga 7 se localiza aguas arriba o aguas abajo de los sensores 12 que suministran unas señales representativas de las corrientes de la línea 5. De hecho, se constata en este caso que, después de la aparición de la fuga resistente a tierra, en el caso de una fuga 7 que tenga lugar aguas abajo del dispositivo 10_i , la semejanza entre la variación de la corriente homopolar I_0 y la de la corriente I_A de la fase en fuga es grande, al contrario de la semejanza, reducida, entre la variación de la corriente homopolar I_0 y la de las corrientes I_B , I_C de las otras fases; de ese modo, los coeficientes de correlación normalizados con el de la corriente homopolar I_0 deberían ser, en valor absoluto, próximos a la unidad para la fase A y reducidos, por ejemplo próximos a $\pm 0,1$, para las otras fases. A la inversa, en el caso de una fuga 7 que tenga lugar aguas arriba del dispositivo 10_{i+1} , después de su aparición, la semejanza de la variación de la corriente homopolar I_0 con la de la corriente I_A de la fase en fuga es reducida mientras que la semejanza de la variación de la corriente homopolar I_0 y la de las corrientes I_B , I_C de las otras fases permanecen media; de ese modo, los coeficientes de correlación normalizados con signo con la variación de la corriente homopolar I_0 deberían permanecer medios, por ejemplo próximos a $\pm 0,5$, para las fases B y C y ser próximos a cero para la fase A.

45 El coeficiente de correlación lineal normalizado utilizado en el procedimiento según la invención se obtiene preferentemente mediante la fórmula de Bravais-Pearson y con signo: de hecho, los sensores 12 proporcionan una señal de corriente alterna que circula en cada una de las fases 5_A, 5_B, 5_C que se prefiere muestrear de manera que se obtenga un número definido de valores discretos representativos de la corriente. Ventajosamente, el número N de valores proporcionados por el muestreo se adapta a la duración de la adquisición T_{adq} para optimizar la reproducibilidad y la fiabilidad de los resultados de la fórmula de Bravais-Pearson, es decir preferentemente más de 30 valores en el caso de una duración de adquisición T_{adq} igual a un periodo de la red, con, por ejemplo, una frecuencia de muestreo del orden de 1,5 kHz para una red 4 trifásica a 50 Hz.

55 De la misma manera, el cálculo de las variaciones respectivas de las corrientes de fase y de la corriente homopolar ΔI se realiza punto por punto, con, para cada valor medido, la sustracción del valor de la corriente de carga antes de la fuga en el mismo instante sobre la senoide de la señal. Se prefiere no utilizar una ventana de memoria fija para las corrientes de referencia, aunque este parámetro se utilice clásicamente para, por ejemplo, las funciones de medida y/o de medición de la calidad que requieren la sustracción de valores de referencia. De hecho, la mayor parte de las redes 4 presentan unas fluctuaciones en términos de carga y de frecuencia: la frecuencia de 50 Hz (o

60 Hz) continúa siendo el valor medio con relación a la frecuencia real que no es fija. De ese modo, un muestreo sobre N puntos puede implicar unas medidas desfasadas en algunos microsegundos sobre la senoide con relación a los instantes de referencia tomados en una ventana fija, sobre todo si está alejada del punto de medida, lo que generaría unas desviaciones sobre el cálculo de la variación de la corriente ΔI .

5 Según la invención, los valores de referencia representativos de la corriente de carga justo antes de la fuga se almacenan por tanto según el principio de memoria deslizante, en una ventana de una duración al menos equivalente a T_{adq} : en tanto que no haya fuga detectada en ella, los valores representativos de la señal medidos por los sensores 12 sustituyen a los primeros valores memorizados para el mismo instante sobre la senoide, con el fin de conservar las muestras inmediatamente anteriores a la fuga, lo que minimiza los posibles desfases ocasionados por una fluctuación de la frecuencia y/o de la carga.

De ese modo, en el procedimiento según la invención esquematizado en la figura 3, las señales representativas de las corrientes de fase, preferentemente filtradas, se adquieren sobre una duración de adquisición T_{adq} , y posteriormente se muestrean; en paralelo, se calcula la corriente homopolar I_0 para la misma duración, o puede medirse directamente por medio de un toro dedicado 12. Los valores se almacenan en una duración de adquisición T_{adq} en una memoria apropiada, siendo deslizante dicho almacenamiento, es decir que, en tanto no se detecta ninguna fuga, el último valor medido/adquirido sustituye al precedente.

Una vez detectada D la fuga 7, por ejemplo comparando la corriente homopolar I_0 (o su variación) con un umbral S_0 , los valores almacenados en la memoria I_{0_MEM} , I_{A_MEM} , I_{B_MEM} , I_{C_MEM} se conservan sin ser ya sustituidos más, y las señales representativas de las corrientes de fase, preferentemente filtradas como antes de la fuga, se adquieren durante una duración de adquisición T_{adq} , y posteriormente se muestrean; en paralelo, se calcula la corriente homopolar I_0 para la misma duración. Estas muestras I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* , I_0 forman parte a continuación del objeto de una sustracción término a término de los valores I_{A_MEM} , I_{B_MEM} , I_{C_MEM} , I_{0_MEM} almacenados en una memoria deslizante, con el fin de determinar las variaciones de las señales filtradas muestreadas de las corrientes de fase y de la corriente homopolar. Los coeficientes de correlación con signo de las variaciones de las señales ΔI_{Af}^* , ΔI_{Bf}^* , ΔI_{Cf}^* , y ΔI_0 se calculan mediante la fórmula de Bravais-Pearson según la ecuación (1), en la que r_{XY} designa el índice de correlación lineal con signo entre las dos variables X, Y de las que son conocidos respectivamente N valores puntuales x, y.

$$(1) \quad r_{XY} = \frac{\sum_{k=1}^N \left(x_k - \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right) \times \left(y_k - \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N \left(x_k - \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right)^2} \times \sqrt{\sum_{k=1}^N \left(y_k - \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right)^2}}$$

Se obtienen así tres coeficientes de correlación lineal normalizados con signo r_A , r_B , r_C . Tal como se ha indicado más arriba, según que la fuga 7 esté aguas arriba o abajo, los coeficientes r_A están más próximos a 1 o a 0. Según la invención, para evaluar esta proximidad, se utiliza la media aritmética μ y la desviación típica σ de la distribución de los coeficientes de correlación. De hecho, un par media/desviación típica (μ , σ) con una media elevada y una desviación típica reducida (por ejemplo $\mu > 0,7$ y $\sigma < 0,5$) corresponde a una fuga aguas arriba, contrariamente a un par media/desviación típica (μ , σ) con una media elevada y una desviación típica reducida (por ejemplo $\mu < 0,5$ y $\sigma > 0,5$) que corresponde a una fuga aguas abajo. Ha de tomarse nota que el coeficiente de correlación está aquí con signo, contrariamente al utilizado en el documento FR 2 936 319: las variaciones debidas a la corriente de fuga son reducidas y la información proporcionada por el signo no puede ignorarse.

Más particularmente, se constata que, para una fuga 7 aguas abajo de la detección 10_i, se verifica la relación siguiente (2), mientras que para una fuga aguas arriba 7, 10_{i+1}, lo inverso es verdad, es decir: $3 \cdot \sigma > 2 \cdot \sqrt{2} \cdot |\mu|$.

$$(2) \quad \sigma > \left| \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \mu}{3} \right|$$

En un procedimiento preferido según la invención, una vez calculadas la media y la desviación típica, se efectúa la comparación según la relación (2), o cualquier otra relación que se deduzca directamente, y, según el resultado, se realiza la interpretación direccional L en cuanto a la posición de la fuga, o bien se señala al exterior, o bien se transmite a un relé 9 para cortar un disyuntor 6 aguas arriba, o cualquier otra utilización.

45

Para aligerar esta etapa de cálculo del procedimiento según la invención, es posible determinar gráficamente la localización relativa aguas abajo o aguas arriba de la fuga 7 posicionando el punto de coordenadas (μ, σ) sobre un gráfico (x, y) en el que se trazan dos semi-rectas de ecuación (3): si el punto se sitúa en el semi-plano que contiene el eje de las abscisas $(x, 0)$, se trata de una fuga aguas arriba.

5
$$(3) \quad y = \left| \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2} \cdot x \right|$$

El procedimiento según la invención se puede poner en práctica en un relé de protección 9, en un indicador de fuga con sistema de alarma, mediante la implementación en un dispositivo de detección direccional de fuga a tierra 10 adaptado.

10 Se esquematiza en la figura 4 un dispositivo 10 según un modo de realización preferido de la invención. Comprende unos medios 14 que permiten obtener unas señales representativas de las corrientes de fase suministradas por unos sensores 12A, 12B, 12C adaptados, por ejemplo unos toros de detección, ventajosamente con un filtrado por unos medios 16 adaptados tal como un filtro analógico. En el modo de realización preferido, las señales, filtradas I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} , se acondicionan además mediante muestreo y los medios de obtención de las señales representativas 14 comprenden un módulo de muestreo 18, que funciona ventajosamente a más de 1,5 kHz, suministrando de ese modo unas señales muestreadas filtradas a tratar I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* .

15 El dispositivo 10 según la invención comprende además unos medios 14' que permiten obtener una señal representativa de la corriente homopolar I_0 . Estos medios pueden conectarse directamente a un toro 12 de detección de la corriente afectada que rodea la línea 5 (de puntos); alternativamente, los medios 14' relativos al valor de la corriente homopolar I_0 determinan dicha corriente mediante tratamiento de las señales relativas a las corrientes de fase I_A , I_B , I_C (no ilustradas), ventajosamente filtradas I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} (no ilustradas), eventualmente muestreadas I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* (trazos continuos).

20 El dispositivo 10 según la invención comprende además unos medios de almacenamiento 20 adaptados para guardar en la memoria de manera deslizando en una ventana de duración predeterminada los valores procedentes de las señales muestreadas filtradas de una corriente de fase I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* y de la señal representativa de una corriente homopolar I_0 ; las señales así almacenadas se memorizan bajo la forma de valores de referencia I_{A_MEM} , I_{B_MEM} , I_{C_MEM} , I_{0_MEM} .

25 Además de su introducción en los medios de determinación 14' de la señal representativa de la corriente homopolar I_0 y de los medios de almacenamiento 20, las señales representativas de las corrientes de fase muestreadas filtradas I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* se transmiten a un módulo de tratamiento 30 que comprende una cuarta entrada para la señal representativa de la corriente homopolar I_0 , otras cuatro entradas para los valores memorizados de los medios de almacenamiento 20, y que se activa en función de la detección D de una fuga a tierra 10. Con este fin, el módulo de tratamiento 30 se conecta a un dispositivo de detección de fuga 25 cualquiera, preferentemente en este caso un módulo de comparación de la corriente homopolar I_0 con un umbral de detección S_d ; si el umbral se sobrepasa, entonces se detecta una fuga D y se activa el módulo de tratamiento 30.

30 El módulo de tratamiento 30 incluye sucesivamente un dispositivo de cálculo 32 de las variaciones respectivas de las señales de entrada I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* , I_0 , con relación a las señales de entrada memorizadas I_{A_MEM} , I_{B_MEM} , I_{C_MEM} , I_{0_MEM} , un dispositivo 34 de cálculo de coeficientes de correlación normalizados r a partir de las cuatro señales de entrada ΔI_{Af}^* , ΔI_{Bf}^* , ΔI_{Cf}^* , ΔI_0 , un dispositivo de cálculo 36 de la media aritmética μ y de la desviación típica σ de los tres datos introducidos r_A , r_B , r_C , un dispositivo de comparación 38 con dos entradas (μ, σ) y que se une a unos medios de interpretación 40 cuya salida es una señal L de detección direccional de fuga a tierra aguas abajo o aguas arriba de los sensores 12 según el resultado de la interpretación.

35 Los medios de cálculo 32 de las variaciones respectivas de las señales de entrada I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* , I_0 , con relación a las señales de entrada memorizadas I_{A_MEM} , I_{B_MEM} , I_{C_MEM} , I_{0_MEM} , realizan estas diferencias término a término para cada muestra de la ventana de duración de adquisición T_{adq} . Estos medios suministran a la salida las variaciones de las señales filtradas muestreadas de las corrientes de fase ΔI_{Af}^* , ΔI_{Bf}^* , ΔI_{Cf}^* y la variación de la señal representativa de la corriente homopolar ΔI_0 .

40 Los medios 34 de cálculo de coeficientes de correlación normalizados con signo utilizan preferentemente la fórmula (1) de Bravais-Pearson y se asocian a unos medios de temporización con el fin de asegurar que las variaciones de las señales filtradas muestreadas de las corrientes de fase ΔI_{Af}^* , ΔI_{Bf}^* , ΔI_{Cf}^* y la variación de la señal representativa de la corriente homopolar ΔI_0 se han adquirido sobre una duración suficiente T_{adq} , por ejemplo un periodo de la red 1, o incluso más.

45 Los medios de comparación 38 que suministran el valor al módulo de interpretación 40 pueden utilizar diferentes funciones. En particular, los medios de comparación 38 pueden comprender una comparación gráfica mediante los dos valores introducidos con relación a un semi-plano delimitado mediante las semi-rectas de la ecuación (3); los medios 38 pueden determinar la diferencia entre nueve octavos del cuadrado de la desviación típica y el cuadrado de la media, para compararla con cero; es posible cualquier otra opción.

El dispositivo 10 de la figura 4 puede asociarse ventajosamente con un relé de protección 9 para unas redes eléctricas, o a un indicador del cambio a fuga para unas líneas 5 de media tensión subterráneas conectadas en la red 1, la salida del módulo de interpretación dispara el corte de un disyuntor 6, el encendido de un piloto o cualquier otro medio de seguridad y/o de alarma.

- 5 De ese modo, según la invención, un procedimiento y un dispositivo de detección direccional 10 de una fuga a tierra 7 de una línea 5 de una red trifásica 1 se han realizado sin medición de la tensión, lo que aligera tanto los dispositivos como su puesta en práctica, permitiendo detectar y localizar fugas a tierra sensibles sobre una red cargada. De hecho, aunque el modo de realización esté particularmente adaptado para la detección direccional de una fuga a tierra sensible, principalmente cuando la amplitud de la corriente de fuga es inferior al 10 % de la corriente de carga, se aplica por supuesto en los otros casos en lugar del procedimiento descrito en el documento 10 FR 2 936 319, a pesar de que sea más pesado de poner en práctica.

- Aunque la invención se haya descrito con referencia a una red de distribución trifásica en la que el neutro se pone a tierra mediante impedancia compensada, no está limitada a ello: se pueden relacionar con la invención otros tipos de redes polifásicas; en particular, es apropiado cualquier régimen de neutro. Por otro lado, aunque se ha descrito con 15 determinación y tratamiento de la corriente homopolar instantánea I_0 para la detección de la fuga, el procedimiento según la invención puede utilizar la variación de dicha corriente I_0 con relación a su valor determinado en un período previo: esta variante se convierte en particularmente interesante en el caso de redes que presenten un ligero desequilibrio entre fases, en cuyo caso la corriente homopolar I_0 es por tanto no nula en una situación sin fuga.

- De hecho, los diferentes circuitos, módulos y funciones presentados en el marco del modo de realización preferido 20 de la invención pueden realizarse en componentes analógicos, digitales o bajo una forma programable que funcione con unos microcontroladores o unos microprocesadores, y las señales representativas descritas pueden tener unas formas de señales eléctricas o electrónicas, de valores de datos o de información en unas memorias o unos registros, de señales ópticas que pueden visualizarse principalmente en unos pilotos o unas pantallas, o de señales mecánicas que actúan con unos accionadores. Igualmente, los sensores de corriente pueden ser diferentes de los 25 transformadores descritos, tal como unos sensores de efecto Hall o unas magnetorresistencias.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (10) de detección direccional de una fuga a tierra (7) en una red multifásica que incluye:
 - unos primeros medios (14) para recibir unas señales representativas de la corriente (I_A , I_B , I_C) de cada una de las fases;
 - 5 - unos segundos medios (14') para recibir una señal representativa de la corriente homopolar (I_0) del conjunto de las fases;
 - unos medios (30) de tratamiento de las señales representativas de la corriente, que incluyen unos medios (34) de cálculo de los coeficientes de correlación normalizados (r_A , r_B , r_C) y unos medios (36) de cálculo de la media (μ) y de la desviación típica (σ) entre los coeficientes de correlación calculados;
 - 10 - unos medios de activación de dichos medios de tratamiento (30) en función de una señal (D) de detección de la aparición de una fuga a tierra en la red (1);
 - unos medios de interpretación de los resultados del tratamiento de las señales que comprenden unos medios de comparación de dicha media (μ) y de dicha desviación típica (σ) para determinar si la fuga está aguas arriba o aguas abajo del dispositivo (10);
- 15 **caracterizado porque** el dispositivo (10) comprende además unos medios de almacenamiento (20) de valores de las señales representativas de la corriente homopolar y de cada una de las fases (I_{0_MEM} , I_{A_MEM} , I_{B_MEM} , I_{C_MEM}) durante una duración de almacenamiento (T_{adq}) anterior a la señal (D) de detección de la aparición de una fuga a tierra (7), y los medios de tratamiento de las señales (30) comprenden unos medios de determinación de la variación de dicha señal representativa de la corriente homopolar y de cada una de las fases (ΔI_0 , ΔI_A , ΔI_B , ΔI_C) con relación a los valores almacenados (I_{0_MEM} , I_{A_MEM} , I_{B_MEM} , I_{C_MEM}) durante una duración predeterminada inferior o igual a la duración de almacenamiento, estando adaptados los medios (34) de cálculo del coeficiente de correlación normalizado para calcular el coeficiente de correlación (r_A , r_B , r_C) entre la variación de la señal representativa de la corriente homopolar (ΔI_0) y la variación de cada una de las señales representativas de la corriente de fase (ΔI_A , ΔI_B , ΔI_C).
- 20
- 25 2. Dispositivo de detección direccional (10) según la reivindicación 1 en el que la duración de almacenamiento corresponde a un número entero de períodos de la red (1) y la duración determinada es igual a la duración de almacenamiento (T_{adq}).
- 30 3. Dispositivo de detección según una de las reivindicaciones 1 o 2 en el que los medios de almacenamiento (20) están adaptados para almacenar los valores en un periodo deslizante y que comprenden unos medios de desactivación en función de una señal (D) de detección de la aparición de una fuga a tierra en la red (1).
- 35 4. Dispositivo de detección direccional (10) según una de las reivindicaciones 1 a 3 que comprende además unos medios (18) de detección de la aparición de una fuga a tierra en la red unidos a unos medios de activación de los medios de tratamiento de las señales (30) y a los medios de almacenamiento (20) que comprenden un comparador de la señal representativa de la corriente homopolar (I_0) con un umbral de detección (S_0).
- 40 5. Dispositivo de detección direccional (20) según una de las reivindicaciones 1 a 4 en el que los primeros medios de recepción (14) de señales representativas de las corrientes de cada fase (I_A , I_B , I_C) comprenden unos medios de muestreo (18) adaptados para suministrar un número de valores suficiente durante la duración predeterminada y la duración de almacenamiento (T_{adq}).
- 45 6. Indicador de cambio a fuga a tierra que comprende unos sensores de corriente (12_A , 12_B , 12_C) dispuestos en cada conductor de fase (5_A , 5_B , 5_C) de una red eléctrica (1) a supervisar y que comprende un dispositivo de detección direccional de fuga (10) según una de las reivindicaciones 1 a 5 conectado a dichos sensores de corriente (12_A , 12_B , 12_C) para recibir las señales representativas de la corriente de fase (I_A , I_B , I_C).
7. Relé (9) de protección a tierra que comprende al menos un indicador de fuga según la reivindicación 6 y unos medios de accionamiento de un dispositivo de corte (6) en función de los resultados de los medios de interpretación (40) del dispositivo de detección direccional (10) del indicador.
8. Procedimiento de detección direccional (D, L) de una fuga a tierra (7) en una red multifásica (1) en la que las señales representativas de la corriente homopolar (I_{0_MEM}) y de cada una de las corrientes de fase (I_{A_MEM} , I_{B_MEM} , I_{C_MEM}) se memorizan durante una duración (T_{adq}) de al menos un periodo de la red, comprendiendo la activación, tras la obtención de una señal (D) indicadora de la presencia de dicha fuga a tierra (10), de la determinación direccional (L) de la fuga (10), comprendiendo dicha determinación direccional las etapas sucesivas de:
 - obtención de señales representativas de cada una de las corrientes de fase (I_A , I_B , I_C) durante una duración predeterminada (T_{adq}) inferior o igual a la duración de memorización;
 - obtención de una señal representativa de la corriente homopolar (I_0) que circula en la red durante la misma duración predeterminada (T_{adq});
 - 55 - tratamiento de las señales representativas de las corrientes de fase y de fuga a tierra (I_0 , I_A , I_B , I_C);
 - interpretación de los resultados del tratamiento de las señales para indicar si la fuga detectado (D) se sitúa aguas abajo o aguas arriba del lugar en el que se han obtenido las señales representativas de las corrientes de

fase (I_A, I_B, I_C);

caracterizado porque dicha etapa de tratamiento de las señales incluye:

- 5 - el cálculo de la variación de la corriente homopolar (I_0) y de cada una de las corrientes de fase (I_A, I_B, I_C) durante la duración predeterminada (T_{adq}) con relación a los valores memorizados ($I_{0_MEM}, I_{A_MEM}, I_{B_MEM}, I_{C_MEM}$);
- el cálculo de los coeficientes de correlación normalizados (r_A, r_B, r_C) entre las variaciones de las señales de la corriente homopolar (ΔI_0) y cada una de las corrientes de fase ($\Delta I_A, \Delta I_B, \Delta I_C$) durante la duración predeterminada (T_{adq});
- 10 - el cálculo de la media aritmética (μ) y de la desviación típica (σ) de dichos coeficientes de correlación (r_A, r_B, r_C);
- realizándose dicha interpretación mediante una comparación que utiliza dicha media (μ) y dicha desviación típica (σ).

9. Procedimiento de detección direccional según la reivindicación 8 en el que la memorización de los valores representativos ($I_{0_MEM}, I_{A_MEM}, I_{B_MEM}, I_{C_MEM}$) se obtiene de manera deslizante en tanto que la señal indicadora de la presencia de fuga (D) no se haya obtenido.

15 10. Procedimiento de detección direccional según la reivindicación 8 o 9 en el que la señal (D) indicadora de la presencia de una fuga a tierra (7) se obtiene mediante la recepción de una señal representativa de la corriente homopolar (I_0) que circula en la red (1) y el resultado de la comparación de la señal de la corriente homopolar (I_0) con un umbral de detección de fuga (S_0).

20 11. Procedimiento de detección direccional según una de las reivindicaciones 8 a 10 en el que la etapa de interpretación comprende la comparación con cero de la diferencia entre el cuadrado del triple de la desviación típica (σ) y ocho veces el cuadrado de la media (μ).

12. Procedimiento de detección direccional según una de las reivindicaciones 8 a 10 en el que la etapa de interpretación comprende la comparación gráfica de la media (μ) y de la desviación típica (σ) con dos semi-rectas de

$$\text{ecuación } y = \left| \frac{2\sqrt{2}}{3} \cdot x \right|.$$

25 13. Procedimiento de detección direccional según una de las reivindicaciones 8 a 12 en el que la etapa de suministrar unas señales representativas de las corrientes de fase (I_A, I_B, I_C) incluye un muestreo de la corriente a una frecuencia superior a 1,5 kHz.

14. Procedimiento de detección direccional según una de las reivindicaciones 8 a 13 en el que el cálculo de los coeficientes de correlación normalizados (r_A, r_B, r_C) se realiza según la fórmula de Bravais-Pearson.

30 15. Procedimiento de protección de una línea de corriente (5) durante la aparición de una fuga a tierra (7) que comprende el accionamiento de un dispositivo de corte (6) de dicha línea (5) si se ha detectado una fuga a tierra (7) mediante un procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 14 aguas abajo de dicho dispositivo de corte (6).

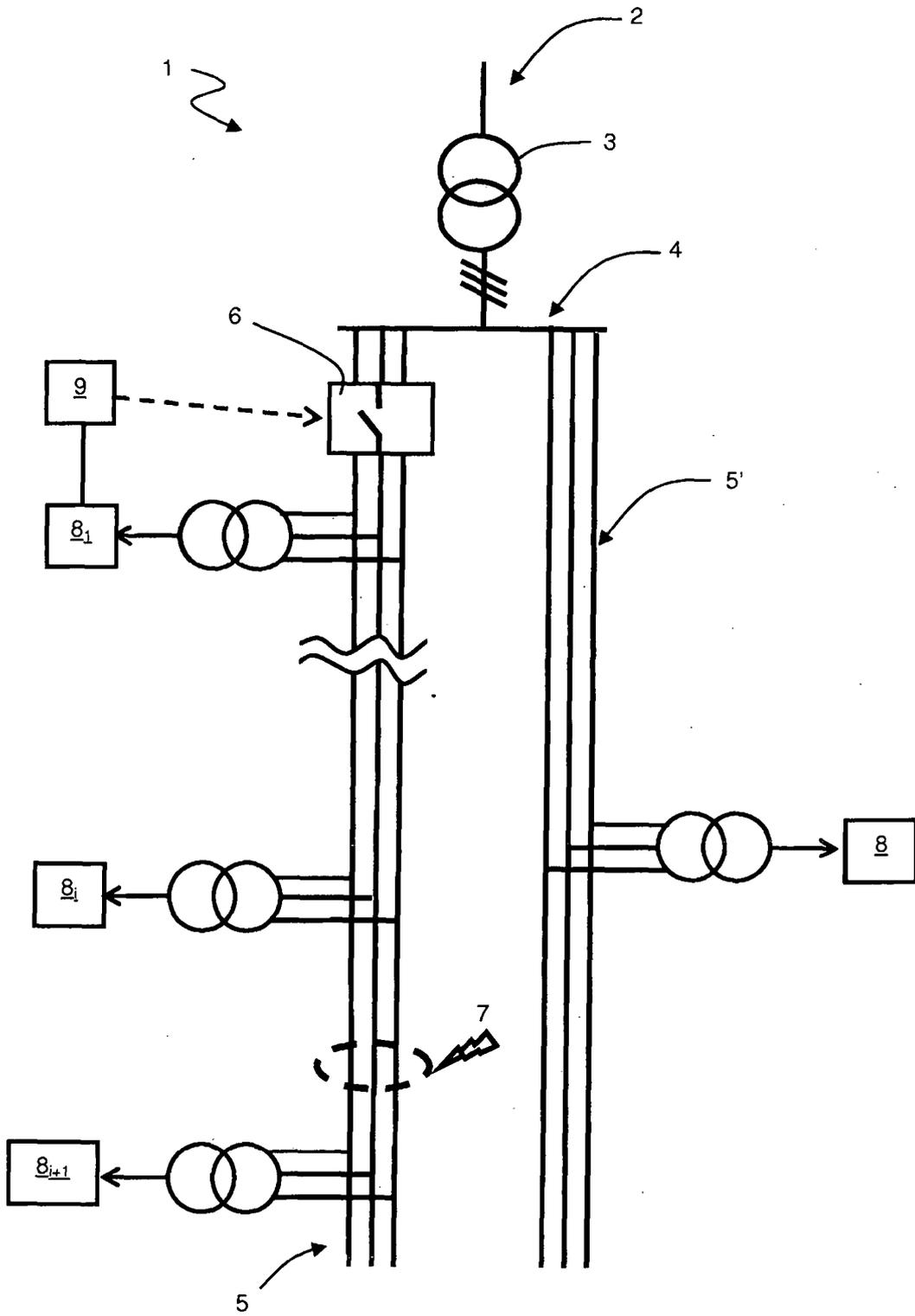


Fig. 1

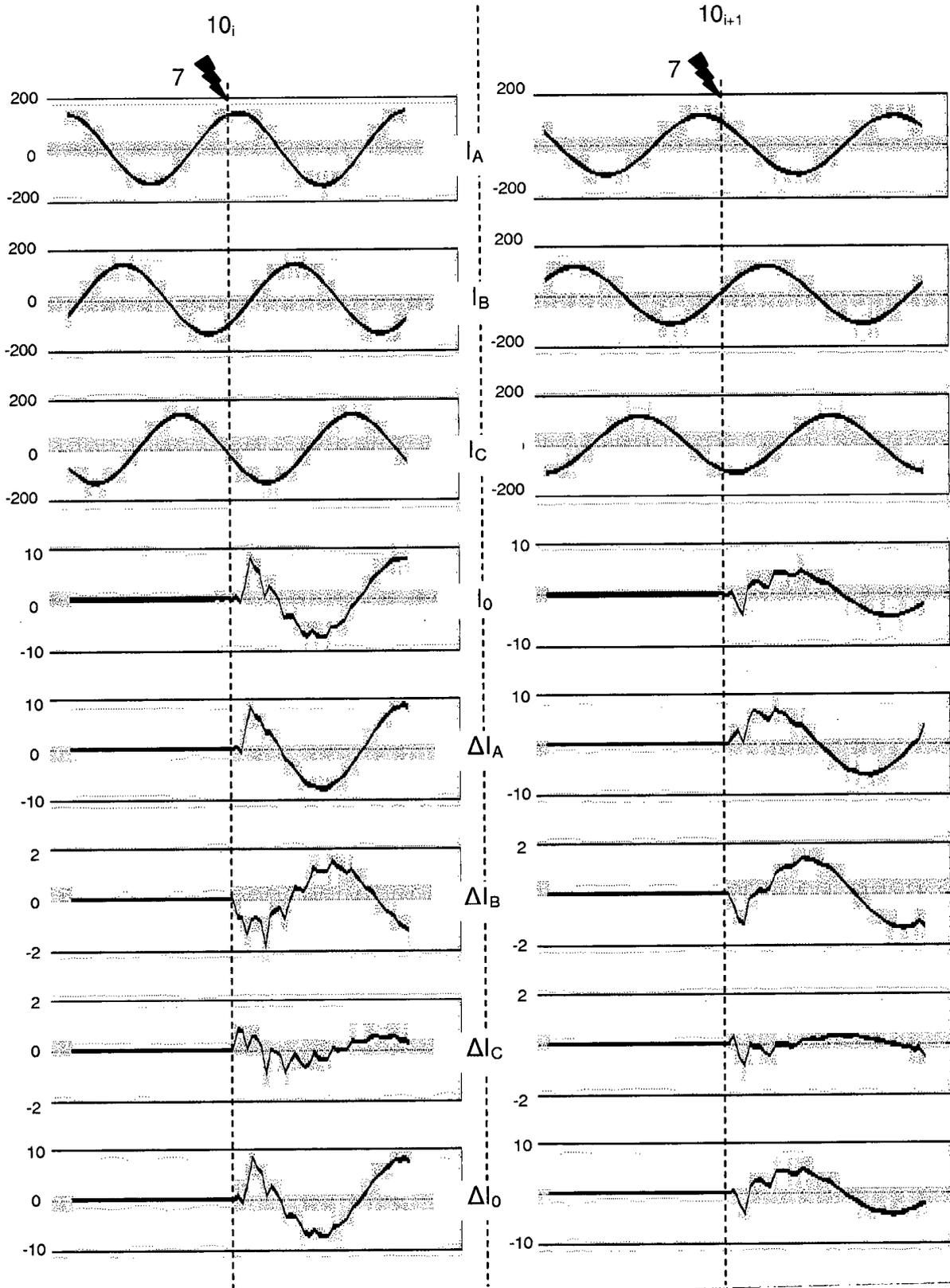


Fig.2

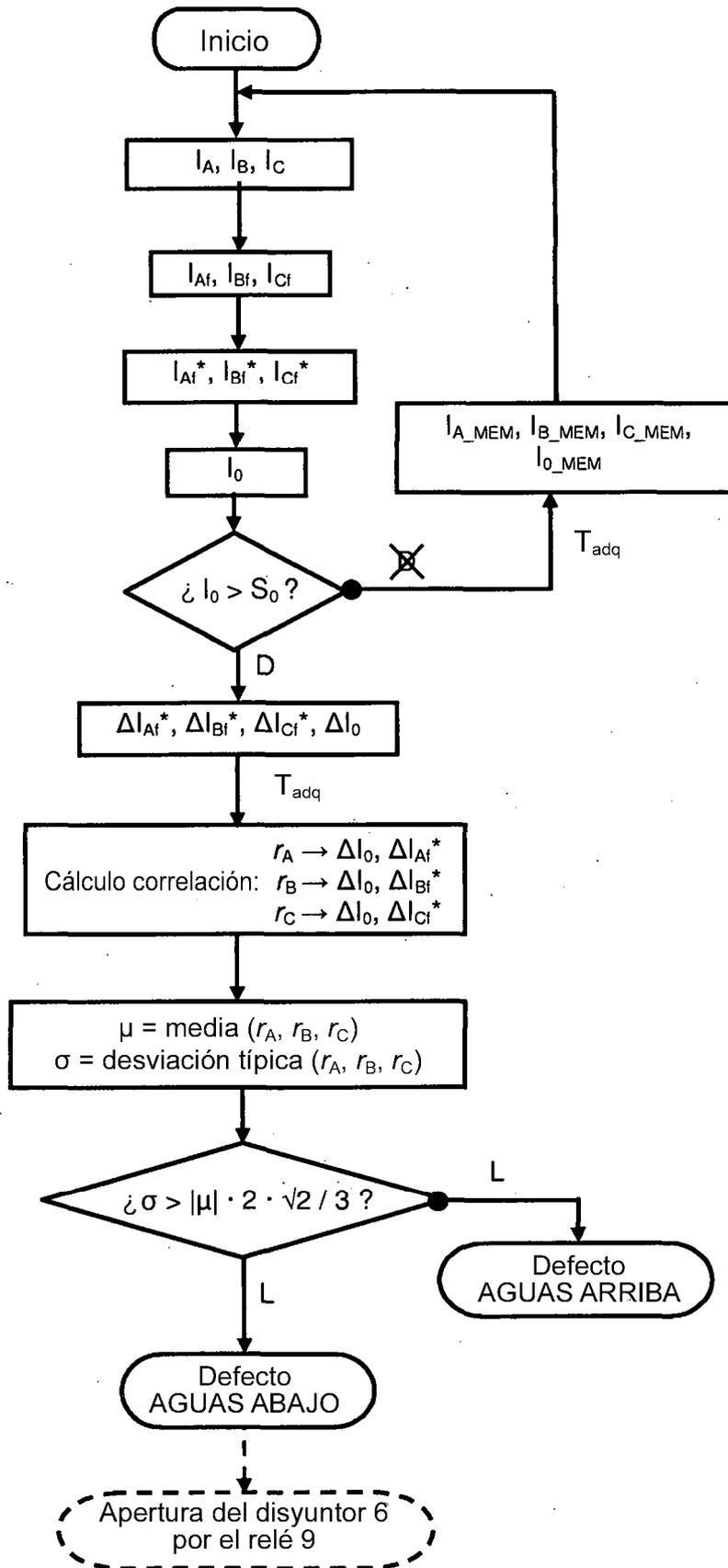


Fig.3

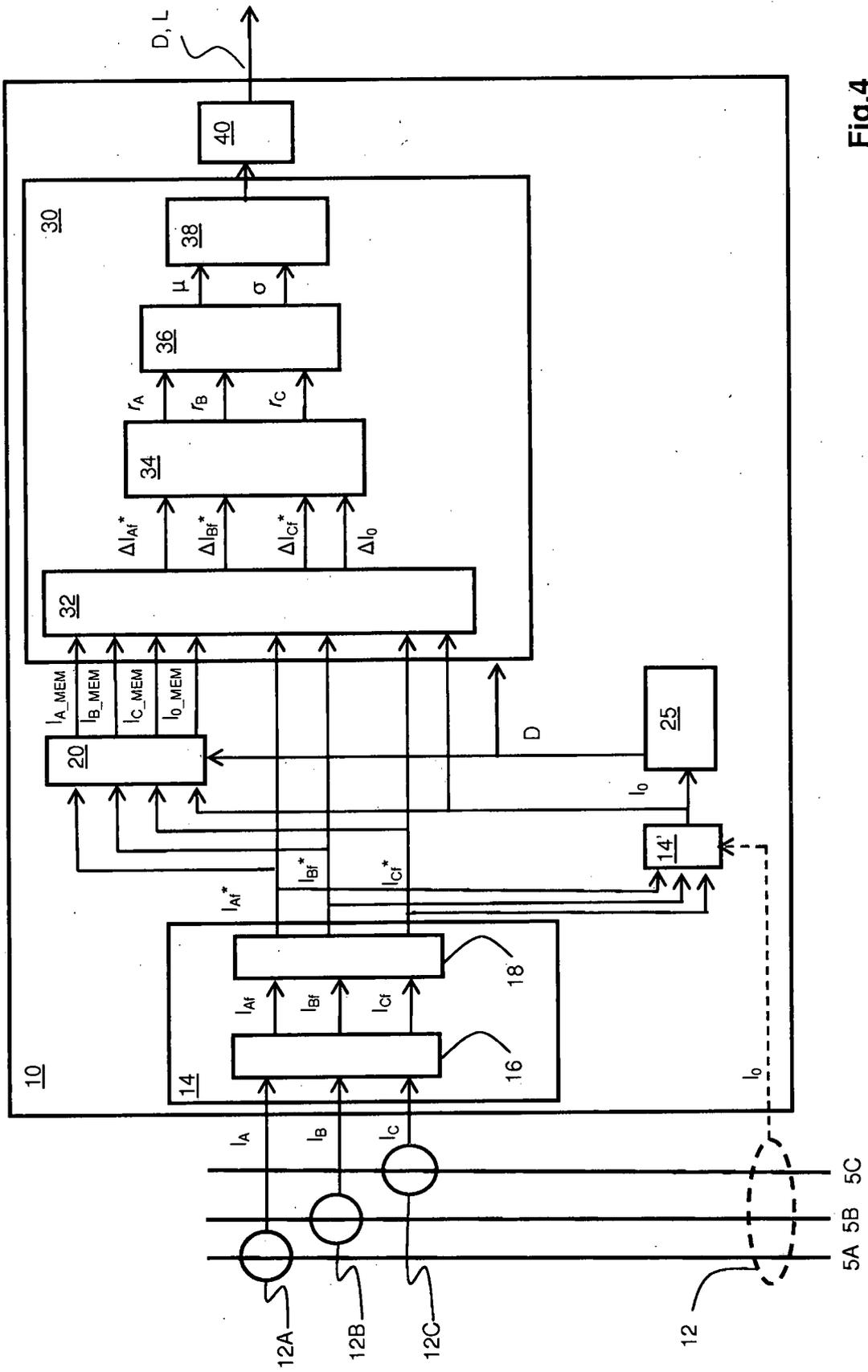


Fig.4