

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 711**

51 Int. Cl.:

H02H 3/32 (2006.01)

H02H 3/16 (2006.01)

H02H 3/08 (2006.01)

G01R 31/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2009 E 09354036 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019 EP 2169799**

54 Título: **Detección direccional de un fallo a tierra**

30 Prioridad:

25.09.2008 FR 0805266

25.09.2008 FR 0805265

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

20.04.2020

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS
(100.0%)**

**35, rue Joseph Monier
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**VERNEAU, GUILLAUME y
CUMUNEL, PASCAL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 754 711 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 un fallo a tierra

Campo técnico

5 La invención se refiere a la detección direccional de un fallo a tierra sin medición de tensión de la línea. En particular, la invención es relativa a un procedimiento de detección de un fallo a tierra en una red que, además, permite determinar si el fallo a tierra está localizado hacia arriba o hacia abajo del punto de detección. El procedimiento según la invención se funda en las señales representativas solas de las corrientes de cada fase de la red, cuyo procesamiento tiene como resultado parámetros que permiten la localización direccional.

10 En otro aspecto, la invención se refiere a un dispositivo de detección apto para implementar el procedimiento anterior. En particular, el dispositivo de detección direccional de fallo a tierra comprende unos medios que permiten calcular unos parámetros a partir de las señales de corriente de cada fase, dando la interpretación de dichos parámetros la localización relativa del fallo sin usar valores representativos de la tensión entre fases, ni valores representativos de las tensiones simples.

15 La invención se refiere, por último, a un dispositivo de señalización de fallo y a un relé de disparo que comprenden unos sensores de corriente asociados a cada fase de la red y que proporcionan al dispositivo de detección anterior las señales que permiten la señalización, por ejemplo, por piloto, o el disparo de un dispositivo de corte de la red.

Estado de la técnica

20 Los dispositivos de detección de fallo a tierra se usan, en concreto, en las redes de distribución eléctrica trifásicas de media tensión. La figura 1 representa, de este modo, un esquema de una red 1 de distribución eléctrica que incluye un transformador 2 trifásico cuyo secundario está conectado a una línea principal 3 de distribución; el secundario incluye, por otra parte, un conductor común de neutro 4, generalmente, conectado a tierra por una impedancia. La línea principal 3 alimenta unas líneas de partida 5, 5', 5'', de las que algunas pueden incluir en cabecera un disyuntor u otro dispositivo de corte 6 que las protege. Las líneas de partida 5', o unos tramos de línea 5, pueden comprender un dispositivo 7 de detección de fallo a tierra. El dispositivo 7 puede servir como indicador de paso de fallo, que enciende, por ejemplo, un piloto luminoso 8; se puede asociar o integrar, por otra parte, un dispositivo 7₁ a un relé de protección 9 apto para controlar la apertura de los contactos del disyuntor 6.

30 De manera ideal, la red 1 está equilibrada, es decir, que la corriente homopolar I_0 que circula ahí es nula; por corriente homopolar I_0 , (o "zero sequence current", "corriente de secuencia cero" según la terminología anglosajona), se entiende, con un eventual factor tres de aproximación, la operación de suma vectorial de las diferentes corrientes de fase o también la corriente correspondiente a la resultante instantánea de las corrientes de fase, a veces llamada corriente residual, que corresponde eventualmente a la corriente de fallo a tierra ("ground default current" según la terminología anglosajona) o a la corriente de fuga. Si una de las fases se pone a tierra accidentalmente, este equilibrio desaparece hacia abajo del fallo 10: la detección de un fallo puede consistir, de este modo, tal como se ilustra en la figura 2A, en la medición de la corriente homopolar I_0 , por ejemplo, por un toro 11 que rodea la línea 5 y la comparación de la señal representativa de dicha corriente I_0 con un umbral S_d , comprendiéndose el rebasamiento del umbral como la detección D de un fallo 10. Alternativamente, la corriente de fallo a tierra I_0 se puede obtener por operación de suma de las señales de corriente de cada fase, localizándose, entonces, un sensor de corriente 12 en cada conductor de la línea 5 (véanse figuras 2B y 2C).

40 Sin embargo y, en particular, si las líneas de partida 5 son unos cables enterrados, pueden ponerse de manifiesto unos fuertes valores de capacidad entre los conductores de línea 5_A, 5_B, 5_C y la tierra. De este modo, en caso de presencia de un fallo 10 a tierra en una línea 5, unas capacidades 13 están en el origen de la circulación de importantes corrientes homopolares I_0 en las otras líneas de partida 5', 5'' (que no presentan fallo a tierra), o hacia abajo del fallo 10. Estas (relativamente) fuertes corrientes de fallo I_0 pueden estar en el origen de falsas detecciones por los dispositivos de detección 7 presentes en las líneas vecinas 5' no defectuosas.

45 Por lo tanto, es importante distinguir un fallo 10 localizado hacia abajo del dispositivo de detección 7_i, de un fallo 10 hacia arriba del dispositivo 7_{i+1} que puede detectar, de hecho, un defecto de una partida vecina por enlace capacitivo; esta diferenciación no es realizable por el dispositivo esquematizado en la figura 2A, sobre todo, en el caso de una red 1 con neutro compensado (es decir, que el neutro 4 está puesto a tierra por una bobina de compensación) que genera una corriente residual I_0 de valor insuficiente, en particular, en el caso de cables 5 enterrados. Para unas detecciones direccionales de fallo de este tipo, los dispositivos de detección 7, tal como se ilustra más precisamente en la figura 2B, se basan en la medición de la corriente, pero también de la tensión de la línea 5. El sistema de detección comprende, de este modo, unos sensores de corriente 12A, 12B, 12C que proporcionan las señales representativas de las corrientes I_A , I_B , I_C que circulan en cada una de las fases de la línea 5 y unos sensores de tensión 14A, 14B, 14C, que se presentan, en concreto, en forma de transformadores de tensión, que proporcionan unas señales representativas de las tensiones V_A , V_B , V_C de cada conductor de fase. El dispositivo de detección 7 comprende unos medios 15 que condicionan los datos de dichos sensores 12, 14 y un módulo de procesamiento 16 que, sobre la base de las señales representativas de la corriente homopolar I_0 y de la tensión homopolar V_0 , obtenidas de este modo, permite detectar a la vez la presencia D y la localización relativa L de un fallo 10.

Sin embargo, los transformadores de tensión 14 son a la vez voluminosos y costosos; lo que, es más, no siempre están forzosamente adaptados para una instalación en unas líneas 5 ya existentes. Para una implementación económicamente viable, es preferible que los dispositivos de detección de fallo 7 carezcan de medios de medición 14 o de procesamiento de las tensiones de la red 1.

5 De este modo, tal como se ilustra en la figura 2C, se han desarrollado unos dispositivos de fallo a tierra 17 en los que no se usa la tensión. Por ejemplo, el documento EP 1 475 874 presenta un dispositivo de detección direccional de fallo a tierra para el que el módulo de procesamiento 18 usa, además de la señal representativa de la corriente residual I_0 , la señal representativa de la corriente inversa I_i , comparándose cada una de las señales con un umbral, con el fin de señalar un fallo de tierra hacia abajo de los sensores de corriente 12. Sin embargo, la detección de un fallo hacia arriba
10 necesita una segunda unidad de procesamiento y el paso a componentes complejos hace también pesado el dispositivo de detección 17.

En el documento EP 1 890 165 se ha desarrollado otro enfoque en el que el módulo de procesamiento 19 compara la forma de la corriente homopolar I_0 con las corrientes de fases I_A , I_B , I_C para determinar si el fallo a tierra detectado está hacia abajo o no del dispositivo de detección 17. Esta comparación, sin embargo, se apoya en una red de neuronas
15 19, sistema complejo cuya base de aprendizaje condiciona fuertemente el diagnóstico de detección D y de dirección L (una base de aprendizaje en inadecuación con la red final 1 podrá conducir a unos resultados de detección erróneos). Lo que, es más, la base de aprendizaje necesita unos coeficientes (peso y factores de sesgo de la red de neuronas) fijos, que corresponden a un modo de explotación específico, como el régimen de neutro de la red, el nivel de disparo del detector: cualquier modificación de parámetros de ajuste o de explotación del dispositivo de detección 17 puede
20 necesitar, entonces, un nuevo aprendizaje, complejo de realizar, en concreto, por los equipos a cargo de la instalación o del mantenimiento de unos equipos de este tipo.

De este modo, se pone de manifiesto que los dispositivos de detección direccional de fallo a tierra 7, 17 existentes no están optimizados para una implementación amplia, debido a su complejidad, ya se deba esta al número de sensores 12, 14 a establecer o al sistema 18, 19 de procesamiento de las señales.

25 **Exposición de la invención**

Un dispositivo y un procedimiento según la invención se definen en las reivindicaciones.

De entre otras ventajas, la invención tiene como propósito mitigar unos inconvenientes de los dispositivos y procedimientos de detección direccional de fallo a tierra existentes. En particular, el principio de direccionalidad implementado se funda en el análisis de las amplitudes u otros valores normalizados de las corrientes de fase, sin uso
30 de las tensiones de red, ni de un muestreo importante de las señales representativas de dichas corrientes (típicamente, una frecuencia de muestreo inferior a 1 kHz, por ejemplo, del orden de 500 Hz, es suficiente), lo que permite poder implementarse en unos equipos que no disponen de memoria importante al nivel de software y/o hardware. Alternativamente, siempre sin uso de las diferentes tensiones de la red, el principio de direccionalidad implementado puede fundarse en el análisis de coeficientes de correlación entre la señal representativa de la corriente homopolar y
35 las señales representativas de las corrientes de fase.

En uno de sus aspectos, la invención es relativa a un procedimiento de detección direccional de fallo a tierra en una red multifásica, preferentemente trifásica, que comprende un primer estadio de detección del fallo por comparación de una señal representativa de la corriente homopolar que circula por el tramo de línea vigilado con un umbral de detección. La señal representativa de la corriente homopolar se puede obtener directamente o por cálculo a partir de
40 las señales representativas de las corrientes de cada conductor de fase de dicho tramo. Si el primer estadio detecta la presencia de un fallo a tierra en dicho tramo, el segundo estadio del procedimiento según la invención se dispara.

El segundo estadio se basa en el procesamiento de las señales representativas de una norma de las corrientes de cada fase de dicho tramo, obteniéndose estas señales sobre una duración predeterminada suficiente, por ejemplo, un número entero de semiperíodos de la red; cualquier norma de una corriente alterna conviene para la localización
45 relativa según la invención, pero, de forma preferente, se usan el valor eficaz de la corriente o su amplitud. Según la invención, las señales representativas de la norma de las corrientes de fase se pueden proporcionar directamente, por ejemplo, a partir de un sensor de amplitud o de valor eficaz; alternativamente, estas señales pueden determinarse a partir de señales representativas de las corrientes de fase que, a continuación, se procesan por cualquier medio apropiado para extraer de ello la norma elegida.

50 Ventajosamente, se filtran las señales representativas de las corrientes de fases, en concreto, analógicamente y/o se muestrean; según la invención, es posible usar una frecuencia de muestreo relativamente escasa, en concreto, inferior a 1 kHz, por ejemplo, del orden de 500 Hz.

Después de la adquisición de las señales representativas de la norma de las corrientes de fase, el segundo estadio del procedimiento se prosigue por un procesamiento de dichas señales para permitir interpretar si el fallo detectado
55 en el primer estadio se sitúa hacia arriba o hacia abajo del punto de medición de las corrientes de fase. El procesamiento de las señales comprende según la invención el cálculo de la media de las señales representativas de las normas de las corrientes de fase y la comparación de la media con cada una de las señales: si una sola norma de las corrientes de fase después de la ocurrencia del fallo es superior a la media de las normas calculadas para las tres

fases, entonces, el fallo se sitúa hacia abajo de la detección.

En particular, según una realización particular de la invención, la etapa de interpretación comprende la comparación sucesiva entre la media y cada una de las señales y la suma de las salidas de comparación, que se compara con la unidad: si la suma de los indicadores de comparación que toman el valor 1 en caso de inferioridad es igual a uno, entonces, el fallo está hacia abajo del punto de obtención de las señales.

Alternativamente, el segundo estadio se basa en el procesamiento de las señales representativas de las corrientes de cada fase de dicho tramo y de la corriente de fallo del mismo tramo, obteniéndose estas señales sobre una duración predeterminada suficiente, por ejemplo, un número entero de semiperíodos de la red. Ventajosamente, se filtran las señales representativas de las corrientes de fase, en concreto, analógicamente y/o se muestrean, preferentemente a una frecuencia que permita obtener al menos una veintena de puntos sobre la duración predeterminada, por ejemplo, del orden de 1 kHz para una red a 50 Hz y un semiperíodo. La señal representativa de la corriente homopolar también puede obtenerse, en el presente documento, directamente o por cálculo a partir de las señales representativas de las corrientes de cada conductor de fase de dicho tramo, antes o después de filtrado y/o muestreo.

Después de la adquisición de las señales representativas de diferentes corrientes, el segundo estadio del procedimiento se prosigue por un procesamiento de dichas señales para permitir interpretar si el fallo detectado en el primer estadio se sitúa hacia arriba o hacia abajo del punto de medición de las corrientes de fase. El procesamiento de las señales comprende, según la invención, el cálculo de los coeficientes de correlación lineal normalizados entre la señal representativa de la corriente homopolar del tramo y cada una de las señales representativas de las corrientes de fase; preferentemente, se usan la fórmula de Bravais-Pearson y/o unos coeficientes sin signo. A continuación, se analiza la dispersión de dichos coeficientes, en concreto, por el cálculo de su media y de su desviación estándar.

Si la dispersión de los coeficientes de correlación lineal sin signo es elevada, por ejemplo, con una desviación estándar superior a 0,3 y una media superior a 0,5, entonces, el fallo se sitúa hacia abajo del aparato de detección. De manera inversa, para una menor dispersión, en concreto, una media inferior a 0,5 y una desviación estándar inferior a 0,2, entonces, el fallo se sitúa hacia arriba del aparato de detección.

Preferentemente, la dispersión de los coeficientes se realiza por formulación de una relación comparativa. En particular, si la diferencia entre la desviación estándar multiplicada por raíz de tres y la diferencia entre la media y uno es positiva, entonces, el fallo se sitúa hacia arriba de la detección; se puede usar cualquier otra comparación basada en la desigualdad $3\sigma^2 > (1 - \mu)^2$. Según otra opción, la comparación se realiza gráficamente con respecto a una recta de ecuación $y = \frac{1-x}{\sqrt{3}}$: según si el punto de coordenadas media y desviación estándar está posicionado o no en el semiplano que contiene el origen, el fallo está hacia arriba o hacia abajo.

Las dos opciones que se refieren al segundo estadio del procedimiento y su continuación se pueden usar sucesivamente o de manera alternativa en función de las posibilidades de muestreos. En particular, según un modo de realización preferente, se realiza una etapa preliminar de verificación de las posibilidades de muestreo y, según si la frecuencia es, por ejemplo, superior o inferior a 1 kHz, se usa la opción con cálculo de los coeficientes de correlación o con determinación de las normas. En otro modo de realización, con el fin de afinar el resultado, en un primer momento, la localización se determina por las normas y, si el fallo se considera como localizado hacia abajo, la localización se confirma por una determinación por los coeficientes de correlación.

Según un modo de realización preferente según la invención, el(los) procedimiento(s) de detección direccional está(n) asociado(s) a un accionamiento de un dispositivo de corte para aislar el tramo a partir del punto hacia abajo del que se ha detectado un fallo.

En otro aspecto, la invención está relacionado con un dispositivo de detección direccional de un fallo a tierra de una línea en una red multifásica, preferentemente trifásica, adaptado para el(los) procedimiento(s) anterior(es). El dispositivo de detección direccional según la invención puede asociarse a unos sensores de amplitud, de valor eficaz u otra norma, de la corriente de cada una de las fases de la línea o unos sensores de corriente de cada una de las fases de la línea, por ejemplo, unos toros de detección, que le proporcionan las señales representativas de dichas corrientes. El dispositivo de detección direccional, además, puede formar parte de un indicador de paso de fallo, por ejemplo, por activación de medios de alerta de tipo piloto si se detecta un fallo hacia abajo en los sensores. En un modo de realización particularmente preferente, el dispositivo de detección direccional según la invención está asociado 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 un fallo.

En particular, el dispositivo de detección direccional de un fallo a tierra según la invención comprende unos primeros medios para recibir unas señales representativas de una norma de la corriente de cada fase de la línea a vigilar; los primeros medios pueden recibir dicha señal directamente o comprender unos medios para recibir unas señales representativas de las corrientes de cada fase y unos medios para determinar la norma referida de ello, por ejemplo, la amplitud o el valor eficaz, incluso la norma *manhattan* o la norma infinita. Ventajosamente, los primeros medios de recepción de las señales representativas de las normas de las corrientes de fase están asociados 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 cierto número de valores discretos, por ejemplo, a frecuencia 500 Hz.

5 El dispositivo según la invención comprende unos primeros medios de procesamiento de las señales representativas obtenidas asociados a unos medios de activación de dichos primeros medios de procesamiento, siendo los medios de activación disparados por la detección de la ocurrencia de un fallo a tierra. Preferentemente, la detección de la ocurrencia de un fallo a tierra que acciona los medios de activación se realiza por el dispositivo según la invención que comprende unos medios adaptados, en concreto, unos segundos medios para recibir una señal representativa de la corriente homopolar de dicha línea y unos medios de comparación de la señal representativa de la corriente homopolar con un umbral de detección. Preferentemente, los segundos medios comprenden unos medios que permiten deducir la corriente homopolar de las señales representativas de las corrientes de fase o de su norma, en concreto, por operación de suma.

10 Los primeros medios de procesamiento de las señales del dispositivo según la invención comprenden unos medios para calcular la media aritmética de las señales representativas de las normas de cada una de las fases. Preferentemente, los medios de cálculo están asociados a unos medios de temporización que permiten la adquisición de las señales durante una duración correspondiente a un número entero de semiperíodos de la red.

15 Los primeros medios de procesamiento de las señales están acoplados en la salida a unos primeros medios de interpretación que permiten determinar la posición relativa del fallo a tierra detectado con respecto al punto de obtención de dichas señales. Los primeros medios de interpretación comprenden unos comparadores entre la media calculada y cada una de las señales se han servido para calcular dicha media. Según una característica particular de la invención, los medios de interpretación de la comparación de la media aritmética de las normas de las corrientes de fase con las normas en cuestión incluyen un comparador por fase, que compara la media aritmética y la norma de la fase referida, un sumador que adiciona las salidas lógicas de los comparadores anteriores y un comparador que compara la salida del sumador con el valor uno.

20 Alternativamente o como complemento, el dispositivo de detección direccional de un fallo a tierra según la invención comprende unos terceros medios para recibir unas señales representativas de corrientes de cada fase de la línea a vigilar, así como los segundos medios para recibir una señal representativa de la corriente homopolar de dicha línea, preferentemente unos medios que permiten deducir de las señales representativas de las corrientes de fase, en concreto, por operación de suma, dicha señal representativa de la corriente homopolar. Ventajosamente, los terceros medios de recepción de las señales representativas de las corrientes de fase están asociados a los medios de filtrado de dichas señales, por ejemplo, un filtro analógico; preferentemente, los terceros medios comprenden unos medios de muestreo para obtener un número de valores discretos suficientes, por ejemplo, a frecuencia 1 kHz.

25 El dispositivo según este modo de realización de la invención comprende unos segundos medios de procesamiento de las señales representativas obtenidas asociados a los medios de activación asociados a dichos primeros medios de procesamiento, siendo los medios de activación disparados por la detección de la ocurrencia de un fallo a tierra.

30 Los segundos medios de procesamiento de las señales del dispositivo según la invención comprenden unos medios para calcular los coeficientes de correlación lineal normalizados, ventajosamente sin signo, preferentemente según la fórmula de Bravais-Pearson, entre la señal representativa de la corriente homopolar y cada una de las señales representativas de las corrientes de fase. Preferentemente, los medios de cálculo están asociados a unos medios de temporización que permiten la adquisición de las señales durante una duración correspondiente a un número entero de semiperíodos de la red. Los datos calculados se transmiten a un módulo de cálculo de la media aritmética y de la desviación estándar, acoplado en la salida a unos segundos medios de interpretación que comparan los resultados para determinar si el fallo está hacia arriba o hacia abajo del punto de obtención de las señales representativo de las corrientes de fase; los segundos medios de interpretación pueden ser del tipo gráfico o de cálculo.

35 El dispositivo según la invención puede comprender unos medios de activación de los segundos medios de procesamiento de la señal en función del resultado obtenido por los primeros medios de interpretación.

40 Los primeros y segundos medios de procesamiento, así como los primeros y segundos medios de interpretación, pueden comprender cada uno una unidad independiente o estar agrupados en un mismo módulo apto, entonces, para realizar los dos procedimientos. Además, los primeros y terceros medios de recepción - así como los segundos - pueden ser coincidentes; en este caso, preferentemente, unos medios de determinación de la posibilidad de muestreo están presentes, permitiendo dichos medios elegir la frecuencia de muestreo y, en función de esta, activar los primeros o segundos medios de procesamiento.

50 **Breve descripción de las figuras**

Otras ventajas y características se desprenderán más claramente de la descripción que sigue de modos particulares de realización de la invención, dados a título ilustrativo y en ningún caso limitativos, representados en las figuras adjuntas.

55 La figura 1, ya descrita, representa una red eléctrica en la que se pueden usar unos dispositivos de detección de fallo a tierra.

Las figuras 2A, 2B y 2C, ya descritas, representan unos esquemas de bloques de dispositivos de detección de fallos a tierra según la técnica anterior.

La figura 3 muestra de forma esquemática y filtrada unas señales representativas de las corrientes de fase durante la aparición de un fallo a tierra en una fase, respectivamente hacia arriba y hacia abajo del dispositivo de detección.

Las figuras 4A y 4B ilustran el procedimiento de detección según un modo de realización preferente de la invención.

5 La figura 5 representa un esquema de bloque de un dispositivo de detección de fallo a tierra según un modo de realización preferente de la invención.

Descripción detallada de un modo de realización preferente

10 El dispositivo 20 de detección direccional de fallo 10 según la invención se puede usar en cualquier red multifásica 1, tal como la que se describe en la figura 1, en sustitución de los dispositivos 7, 17 existentes. En el modo de realización y de uso preferente ilustrado de la invención, la línea 5 en la que se establece el dispositivo 20 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 fallo. Sin embargo, es posible desviarse de esta situación ideal y la red puede comprender otro número de fases.

15 Durante la aparición de un fallo a tierra 10 en una de las fases A, la corriente de dicha fase I_A se convierte (de manera ideal) en nula hacia abajo del fallo 10, pero se altera hacia arriba, en particular, viendo aumentar su amplitud. Tal como se ilustra en la figura 3, un sensor de corriente 12A en el conductor con fallo 5A proporciona, de este modo, una señal representativa de la corriente I_A (en punteado) que marca una rotura clara al nivel del fallo 10 y diferente según si el dispositivo según la invención está dispuesto hacia arriba 20_i o hacia abajo 20_{i+1} de dicho sensor 12. La figura 3 muestra, igualmente, que la corriente está alterada puntualmente en las otras dos fases B y C, pero permanece de forma casi constante, aunque su amplitud esté ligeramente modificada. La figura 3 ilustra, por último, la corriente homopolar I_0 detectada en la línea 5, ya sea por un sensor 11 apropiado (véase la figura 2A), ya sea por cálculo desde las tres corrientes de fase I_A , I_B , I_C obtenidas por los sensores 12.

20 Según la invención, la variación diferencial de las normas de la corriente, como, en concreto, la amplitud, se usa. De hecho, tal como se presenta en la figura 3, las amplitudes de las corrientes de fase son casi constantes. Antes del fallo, la amplitud $||I_x||$ cada una de las señales de corriente de fase I_x es idéntica; después del fallo, la amplitud de las señales de corriente de las fases no alteradas $||I_B||$, $||I_C||$ permanece sustancialmente constante; por el contrario, la amplitud de la señal de corriente de la fase con fallo $||I_A||$ está aumentada fuertemente en el caso de un fallo hacia abajo 20_i y se convierte en casi nula para un fallo hacia arriba 20_{i+1}. Más particularmente, en el caso de un fallo hacia abajo 20_i, la media de las amplitudes de las corrientes posteriores al fallo será, entonces, inferior a la de la corriente de la fase con fallo y superior a las amplitudes respectivas de las corrientes de las otras fases; *al contrario*, en el caso de un fallo 10 que tiene lugar hacia arriba del dispositivo 20_{i+1}, la media de las amplitudes de las corrientes posteriores al fallo será superior a la de la corriente de la fase A en fallo e inferior a las amplitudes respectivas de las corrientes de las otras dos fases B, C.

25 Según la invención, se calcula, por lo tanto, la media de las señales representativas de las amplitudes de las corrientes de cada fase, luego, su posición con respecto a sus diferentes componentes se determina para localizar el fallo 10 con respecto a los sensores 12 que proporcionan unas señales representativas de las amplitudes de las corrientes de la línea 5, preferentemente filtradas. La localización como tal depende del número de veces en que la media es superior a las señales usadas para calcularla: si la media de las amplitudes es una sola vez superior a las amplitudes, el fallo está hacia arriba. Preferentemente, las señales se analizan sobre una duración suficiente T_{adq} , con, en concreto, una adquisición de las señales superior a un semiperíodo de la red, por ejemplo, un período o cualquier número entero de semiperíodos.

30 Aunque se ha presentado con la amplitud de la corriente, el procedimiento según la invención puede aplicarse, igualmente, con cualquier norma representativa de la variación de la señal representativa de la corriente de fase. En concreto, la amplitud puede sustituirse por el valor eficaz ("*Root Mean Square Value*", "*Raíz del Radio Cuadrático Medio*", según la terminología anglosajona) o por la norma euclidiana (es decir, la norma 2) o también por la norma 1 (igualmente, conocida con el nombre de "*Taxicab norm*", "*Norma de Taxi*" o "*Manhattan norm*", "*Norma de Manhattan*"), incluso la norma infinita (o norma sup). La señal representativa del valor normalizado de la corriente de cada fase puede obtenerse por un sensor de corriente convencional 12, luego, determinarse por unos medios apropiados. Según la invención, sin embargo, es posible limitar el número de calculadores y, de este modo, usar un sensor de amplitud (o de valor eficaz) instantáneo en cada línea de fase 5.

35 De este modo, en el procedimiento según la invención esquematizado en la figura 4, una vez detectado el fallo D, por ejemplo, por un procedimiento similar al descrito en relación con la figura 2A, las señales representativas de las amplitudes de las corrientes de fase $||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$ se adquieren para una duración de adquisición T_{adq} . Alternativamente, tal como se ilustra, igualmente, en la figura 4A, es posible usar directamente las señales representativas de las corrientes de fase, preferentemente filtradas I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} , en concreto, en el caso en que estas se han medido, por otra parte, por ejemplo, para determinar la corriente homopolar. Dichas señales adquiridas sobre una duración de adquisición T_{adq} se muestrean, entonces, preferentemente: de hecho, es preferible trabajar sobre unos valores discretos a intervalos de tiempo regulares; según la invención, no es necesario que la frecuencia de muestreo sea elevada y de cinco a diez valores de amplitud sobre una duración del orden de un semiperíodo o de un período de red 1 es suficiente - una frecuencia de muestreo del orden de 500 a 1000 Hz para una corriente trifásica a 50 Hz

está, por ejemplo, adaptada para el procedimiento según la invención. La norma de dichas señales muestreadas filtradas $\|I_{Af}^*\|$, $\|I_{Bf}^*\|$, $\|I_{Cf}^*\|$ se determina, a continuación, por las fórmulas apropiadas para la norma elegida.

5 En un modo de realización, se realiza una etapa de verificación de la posibilidad de aumentar la frecuencia de muestreo. Si el resultado de esta etapa es positivo y es realizable un muestreo, por ejemplo, superior a 1 kHz, el procedimiento puede proseguirse *P1* por una alternativa descrita más adelante para más precisión y según los medios de procesamiento disponibles.

10 Una vez las tres normas $\|I_A\|$, $\|I_B\|$, $\|I_C\|$ obtenidas, se calcula su media aritmética *M*, luego, se compara con cada una de las normas tomadas individualmente: si una sola norma $\|I_A\|$ es inferior a la media *M*, el fallo 10 se considera como localizado hacia arriba. Preferentemente, esta última etapa de interpretación se realiza por operación de suma de los resultados de comparadores cuyas salidas son binarias, es decir, igual a 1 si la media es superior y nula si la media es inferior: la suma de los resultados se compara con la unidad y se asocia a un fallo hacia arriba si hay igualdad.

15 El procedimiento según la invención puede establecerse en un relé de protección 9, en un indicador de fallo con sistema de alerta 8, por aplicación en un dispositivo de detección direccional de fallo a tierra 20 adaptado. Un dispositivo 20 según un modo de realización preferente de la invención está esquematizado en la figura 5. Según el tipo de sensor 12 al que está asociado, puede comprender unos medios 22 que permiten obtener unas señales representativas de corriente de fase proporcionadas por los sensores, por ejemplo, unos toros de detección, ventajosamente con un filtrado por medios 24 adaptados, como un filtro analógico. En el modo de realización preferente, las señales filtradas I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} están, además, condicionados por muestreo y los medios de obtención de las señales representativas 22 comprenden un módulo de muestreo 26, que funciona, en concreto, a menos de 1 kHz, que proporciona, de este modo, unas señales muestreadas filtradas I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* a unos medios de cálculo 28 de su norma, amplitud, valor eficaz u otro, siendo dichas normas procesadas, a continuación, dentro de un módulo de procesamiento 30.

25 El módulo de muestreo 26 puede comprender unos medios que permiten modificar la frecuencia y/o verificar que es realizable una frecuencia superior a 1 kHz; alternativamente, un segundo módulo de muestreo 26' que puede funcionar a más de 1 kHz está presente asociado a unos medios de selección. Los medios 26, 26' de muestreo se pueden acoplar a un módulo de procesamiento alternativo 30' descrito más adelante cuando funcionan a frecuencia elevada.

30 El módulo de procesamiento 30 se activa en función de la detección de un fallo a tierra 10. Para este fin, el módulo de procesamiento 30 está conectado a un dispositivo de detección de fallo 32 cualquiera; en particular, el dispositivo de detección de fallo 32 está asociado a unos medios 34 de obtención de una señal representativa de la corriente homopolar I_0 y comprende un módulo de comparación de la corriente homopolar I_0 con un umbral de detección S_D : si se rebasa el umbral, entonces, se detecta un fallo *D* y se activa el módulo de procesamiento 30. Los medios de obtención de la corriente homopolar I_0 pueden estar conectados a un sensor apropiado 11 (véase la figura 2A) o preferentemente determinar dicha corriente por procesamiento de las señales relativas a las corrientes de fase I_A , I_B , I_C (no ilustrado), ventajosamente filtradas I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} (no ilustrado), eventualmente muestreadas (figura 5), incluso directamente desde su amplitud $\|I_{Af}^*\|$, $\|I_{Bf}^*\|$, $\|I_{Cf}^*\|$ (no ilustrado).

35 Preferentemente, los medios de cálculo de las normas 28 forman parte del módulo de procesamiento 30, de modo que no se activen más que después de la ocurrencia *D* de un fallo a tierra 10. Alternativamente, estos diferentes elementos 22, 28 para proporcionar unas señales representativas de la norma de las corrientes a partir de señales representativas de las corrientes se pueden omitir según la naturaleza de los sensores 12: las señales proporcionadas por unos sensores 12 de amplitud instantánea se pueden usar directamente en un módulo de procesamiento 30.

40 El módulo de procesamiento 30 incluye, a continuación, sucesivamente un dispositivo de cálculo 36 de media aritmética *M* de los tres datos de entradas $\|I_{Af}^*\|$, $\|I_{Bf}^*\|$, $\|I_{Cf}^*\|$, un dispositivo de comparación 38 con cuatro entradas, estos tres valores y la media calculada y que está conectado a unos medios de interpretación 40 cuya salida es una señal *L* de detección direccional de fallo a tierra hacia abajo o hacia arriba de los sensores 12 según el resultado de la interpretación.

45 Los medios 36 de cálculo de la media *M* están asociados a unos medios de temporización, con el fin de asegurar que las señales representativas de las normas de las corrientes de fase $\|I_{Af}^*\|$, $\|I_{Bf}^*\|$, $\|I_{Cf}^*\|$ se han adquirido sobre una duración suficiente T_{adq} , por ejemplo, un semiperíodo o un período de la red 1, incluso más. Ventajosamente, en el caso en que estas señales se determinen a partir de señales representativas de corriente de fase I_{Af} , I_{Bf} , I_{Cf} , los medios de determinación 28 también ellos están asociados a estos medios de temporización, que, por ejemplo, se pueden acoplar directamente al dispositivo de activación 32.

50 Los medios de comparación 38 comparan cada uno de los valores de norma con su media y dan ventajosamente una señal binaria según el sentido de la comparación a los medios de interpretación 40. Según el número de resultados nulos, los medios de interpretación proporcionan su señal *L* de localización relativa; en un modo de realización preferente, los medios de interpretación 40 o los medios de comparación 38 comprenden unos medios de operación de suma de los resultados binarios de la comparación, en este orden, entre la media y cada norma, siendo el fallo calificado de hacia arriba si la suma es igual a 1 y de hacia abajo para una suma igual a dos.

Si el muestreo se puede realizar a frecuencia suficiente, para más precisión, es preferible usar, según la invención,

los coeficientes de correlación entre las diferentes curvas para determinar si el fallo 10 está localizado hacia arriba o hacia abajo de los sensores 12 que proporcionan unas señales representativas de las corrientes de la línea 5, preferentemente filtradas. De hecho, se constata ahí que, después de ocurrencia del fallo a tierra, en el caso de un fallo 10 que tiene lugar hacia abajo del dispositivo 20_i, la semejanza entre la corriente homopolar I₀ y la corriente I_A de la fase en fallo es importante, al contrario de la semejanza, media, entre la corriente homopolar I₀ y las corrientes I_B, I_C de las otras fases; de este modo, los coeficientes de correlación normalizados con la corriente homopolar I₀ deberían estar, en valor absoluto, cercanos a la unidad para la fase A y medios, por ejemplo, cercanos a 0,5, para las otras fases. De manera inversa, en el caso de un fallo 10 que tiene lugar hacia arriba del dispositivo 20_{i+1}, después de su ocurrencia, la semejanza de la corriente homopolar I₀ con la corriente I_A de la fase en fallo es escasa, mientras que la semejanza entre la corriente homopolar I₀ y las corrientes I_B, I_C de las otras fases permanece media; de este modo, los coeficientes de correlación normalizados sin signo con la corriente homopolar I₀ deberían permanecer medios, por ejemplo, cercanos a 0,5, para las fases B y C y estar cercano a cero para la fase A. Preferentemente, en el presente documento, también, las señales se analizan sobre una duración suficiente T_{adq}, con, en concreto, adquisición de las señales superior a un semiperíodo de la red, por ejemplo, un período o cualquier número entero de semiperíodos.

El coeficiente de correlación lineal normalizado usado en el procedimiento según la invención se obtiene preferentemente por la fórmula de Bravais-Pearson y sin 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 forma que se obtiene un número definido de valores discretos representativos de la corriente. Ventajosamente, el número N de valores proporcionado por el muestreo está adaptado para la duración de adquisición T_{adq} para optimizar la reproducibilidad y la fiabilidad de los resultados de la fórmula de Bravais-Pearson, es decir, preferentemente más de 20 valores en el caso de una duración de adquisición T_{adq} igual a un semiperíodo de red, con, por ejemplo, una frecuencia de muestreo del orden del kilohercio para una red 1 trifásica a 50 Hz.

De este modo, en el procedimiento según la invención esquematizado en la figura 4, una vez detectado el fallo D, por ejemplo, por un procedimiento similar al descrito en relación con la figura 2A, las señales representativas de las corrientes de fase, preferentemente filtradas, se adquieren sobre una duración de adquisición T_{adq}, luego, se muestrean; paralelamente, la corriente homopolar I₀ se calcula para la misma duración. Los coeficientes de correlación, en el presente documento, sin signo, entre las señales representativas de las corrientes de fases filtradas muestreadas I_{Af}^{*}, I_{Bf}^{*}, I_{Cf}^{*} y la señal representativa de la corriente homopolar I₀ se calculan por la fórmula de Bravais-Pearson según la ecuación (1), en la que r_{XY} designa el índice de correlación lineal sin signo entre las dos variables X, Y de las que respectivamente N valores puntuales x, y se conocen.

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

De este modo, se obtienen tres coeficientes de correlación lineal normalizados sin signo r_A, r_B, r_C. Tal como se ha indicado más arriba, según si el fallo 10 está hacia arriba o hacia abajo, los coeficientes r_A están más cercanos a 1 o a 0. Según la invención, para evaluar esta proximidad, se usan la media aritmética μ y la desviación estándar σ de la distribución de los coeficientes de correlación. De hecho, un par media/desviación estándar (μ, σ) a valores elevados (por ejemplo, μ > 0,5 y σ > 0,3) corresponde a un fallo hacia abajo, contrariamente a un par media/desviación estándar (μ, σ) a valores escasos (por ejemplo, μ < 0,5 y σ < 0,2) que corresponde a un fallo hacia arriba.

Más particularmente, se constata que, para un fallo 10 hacia abajo de la detección 20_i, se verifica la siguiente relación (2), mientras que para un fallo hacia arriba 10, 20_{i+1}, lo inverso es verdadero, es decir: 3σ² < (1 - μ)².

$$(2) \quad \sqrt{3} \times \sigma > (1 - \mu)$$

En un procedimiento preferente según la invención, una vez calculadas la media y la desviación estándar, la comparación según la relación (2) o cualquier relación que se derive directamente de ella, se efectúa y, según el resultado, se da la interpretación direccional L en cuanto a la posición del fallo, ya sea señalizada en el exterior, ya sea transmitida a un relé 9 para cortar un disyuntor 6 hacia arriba o cualquier otro uso.

Para aligerar esta etapa de cálculo del procedimiento según la invención, es posible determinar gráficamente la localización relativa hacia abajo o hacia arriba del fallo 10 posicionando el punto de coordenadas (μ, σ) en un gráfico

(x, y) en que se traza una recta de ecuación (3): si el punto está situado en el semiplano que contiene el origen (0,0), se trata de un fallo hacia arriba.

$$(3) \quad y = \frac{1-x}{\sqrt{3}}$$

5 Para aplicar este procedimiento según la invención, se puede realizar un dispositivo de detección direccional de fallo a tierra adaptado; según un modo de realización preferente de la invención esquematizado en la figura 5, el dispositivo anterior 20 se completa por los medios indicados. En particular, el módulo de muestreo 26' funciona ventajosamente a más de 1 kHz, que proporciona, de este modo, unas señales muestreadas filtradas a procesar I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* ; los dos módulos 26, 26' de muestreo pueden ser coincidentes y comprender unos medios de selección de la frecuencia. Las señales representativas de las corrientes de fases muestreadas filtradas I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* se transmiten a un segundo módulo de procesamiento 30' que comprende, además, una cuarta entrada para la señal representativa de la corriente homopolar I_0 . El segundo módulo de procesamiento 30' puede ser coincidente con el módulo de procesamiento 30 anterior.

15 El módulo de procesamiento 30' incluye, de este modo, sucesivamente un dispositivo de cálculo 28' de coeficientes de correlación normalizados sin signo r a partir de las cuatro señales de entrada I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* , I_0 , un dispositivo de cálculo 36' de la media aritmética μ y de la desviación estándar σ de los tres datos de entradas r_A , r_B , r_C , un dispositivo de comparación 38' con dos entradas μ , σ y que está conectado a unos segundos medios de interpretación 40' cuya salida es una señal L de detección direccional de fallo a tierra hacia abajo o hacia arriba de los sensores 12 según el resultado de la interpretación. El dispositivo de cálculo de los coeficientes de correlación 28' puede integrarse en el dispositivo de cálculo 28 de la norma de las señales o componer una entidad independiente; los dispositivos de cálculo 20 36' y de comparación 38', respectivamente los segundos medios de interpretación 40, relativos a los coeficientes de correlación pueden, de la misma forma, integrarse o no en los dispositivos de cálculo 36 y de comparación 38, respectivamente en los primeros medios de interpretación 40, relativos a las normas.

25 Los medios de cálculo de coeficientes de correlación normalizados sin signo 28' usan preferentemente la fórmula (1) de Bravais-Pearson y están asociados a unos medios de temporización, con el fin de asegurar que las señales representativas de las corrientes de fase I_{Af}^* , I_{Bf}^* , I_{Cf}^* se han adquirido sobre una duración suficiente T_{adq} , por ejemplo, un semiperíodo o un período de la red 1, incluso más.

30 Los medios de comparación 38' que proporcionan el valor al módulo de interpretación 40' pueden usar diferentes funciones. En particular, los medios de comparación 38' pueden comprender una comparación gráfica por unos dos valores de entradas con respecto a un semiplano delimitado por la recta de ecuación (3); los medios 38' pueden determinar la diferencia entre el triple del cuadrado de la desviación estándar y el cuadrado de la diferencia entre uno y la media, para compararla con cero; cualquier otra opción es posible.

35 El dispositivo de la figura 5 puede estar asociado ventajosamente a un relé de protección 9 para unas redes eléctricas o a un indicador de paso de fallo para unas líneas 5 de media tensión subterráneas conectadas en red 1, disparando la salida del módulo de interpretación el corte de un disyuntor 6, el encendido de un piloto 8 o cualquier otro medio de seguridad y/o de alerta.

40 De este modo, según la invención, un procedimiento y un dispositivo de detección direccional 20 de un fallo a tierra 10 de una línea de una red multifásica 1 se han realizado sin medición de tensión, lo que aligera tanto los dispositivos como su implementación. Lo que, es más, el muestreo usado para un procesamiento de las señales según la invención puede ser restringido, en concreto, de frecuencia comprendida entre 500 y 1000 Hz, que presenta, de este modo, unas facilidades en términos de memoria y de procesador para dicho dispositivo. El procedimiento se puede adaptar, por otra parte, en función de las posibilidades de muestreo.

45 Por otra parte, incluso cuando los medios de muestreo 26 son suficientes para una frecuencia superior a 1 kHz, es posible usar los dos cálculos para acelerar la localización. En efecto, el método que usa las normas necesita menos cálculos: la rapidez en la determinación preliminar de la localización L puede ser ventajosa. Sin embargo, si los primeros medios de interpretación 40 no diagnostican un fallo hacia arriba, puede ser preferible validar el resultado por una segunda determinación P2 más larga y que necesita más memoria por medio de los coeficientes de correlación: unos medios adaptados 42 activan, entonces, los medios de muestreo 26' y/o directamente los segundos medios de procesamiento 28' para confirmar la localización hacia abajo.

50 Aunque la invención se haya descrito con referencia a una red de distribución trifásica en la que el neutro está puesto a tierra por impedancia compensada, no se limita a ello: la invención puede referirse a otros tipos de redes multifásicas; en particular, cualquier régimen de neutro es apropiado. Por otra parte, aunque se describe con determinación y procesamiento de la corriente homopolar instantánea I_0 , el procedimiento según la invención puede usar la variación de dicha corriente I_0 con respecto a su valor determinado sobre un período previo: esta variante se revela particularmente interesante en el caso de redes que presentan un ligero desequilibrio entre fases, cuya corriente homopolar I_0 es, por lo tanto, no nula en situación de fuera de fallo.

55 De hecho, los diferentes circuitos, módulos y funciones presentados en el marco del modo de realización preferente de la invención pueden realizarse en componentes analógicos, digitales o en una forma programable que opera con

5 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 visualizables, en concreto, en unos pilotos o unas pantallas o de señales mecánicas que actúan con unos actuadores. Asimismo, los sensores de corriente pueden ser diferentes de los transformadores descritos, como unos sensores de efecto Hall o unas magnetorresistencias.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (20) de detección direccional de un fallo a tierra (10) en una red multifásica (1), **caracterizado porque** incluye:
- unos primeros medios para recibir unas señales representativas de una norma de la corriente ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) de cada una de las fases;
 - unos segundos medios (34) para recibir una señal representativa de la corriente homopolar (I_0) del conjunto de las fases,
 - unos primeros medios (30) de procesamiento de las señales representativas de la norma de la corriente ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) que comprenden unos medios (36) de cálculo de la media (M) de las normas ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) sobre una duración predeterminada (T_{adq});
 - unos medios de activación (32) de dichos primeros medios de procesamiento (30) en función de una señal (D) de detección de la ocurrencia de un fallo a tierra en la red (1), estando dichos medios de activación (32) asociados a los segundos medios (34),
 - unos primeros medios (40) de interpretación de los resultados del procesamiento de las señales para determinar si el fallo está hacia arriba o hacia abajo del dispositivo (20), que comprenden unos medios de comparación de dicha media (M) con dichas normas ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$), si una sola norma de las corrientes de fase después de la ocurrencia del fallo es superior a la media de las normas calculadas para las tres fases, considerándose el fallo hacia abajo de la detección, si una sola norma es inferior a la media (M), considerándose el fallo (10) como localizado hacia arriba.
2. Dispositivo de detección direccional (20) según la reivindicación 1, en el que los medios (36) de cálculo de la media (M) de las normas están asociados a unos medios de adquisición de las señales durante una duración (T_{adq}) correspondiente a un número entero de semiperíodos de la red (1).
3. Dispositivo de detección direccional (20) según una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que los primeros medios de recepción de las señales representativas de la norma de la corriente ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) de cada una de las fases comprenden unos medios de recepción de las señales representativas de la corriente (I_A , I_B , I_C) de cada una de las fases y unos medios de cálculo (28) de una norma de cada una de las señales representativas y los primeros medios de recepción de señales representativas de las corrientes de cada fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) comprenden unos medios de muestreo (26).
4. Dispositivo (20) de detección direccional según la reivindicación 1 que comprende, además:
- unos terceros medios (22) para recibir unas señales representativas de la corriente (I_A , I_B , I_C) de cada una de las fases;
 - unos segundos medios (30') de procesamiento de las señales (I_0 , I_A , I_B , I_C) representativas de corriente que comprenden unos medios (28') de cálculo de los coeficientes de correlación normalizados (r_A , r_B , r_C) entre la señal representativa de la corriente homopolar (I_0) y cada una de las señales representativas de corrientes de fase (I_A , I_B , I_C) sobre una duración predeterminada (T_{adq}) y unos medios (36') de cálculo de la media (μ) y de la desviación estándar (σ) entre el valor absoluto de los coeficientes de correlación calculados (r_A , r_B , r_C);
 - unos medios de activación de dichos segundos medios de procesamiento (30') en función de una señal (D) de detección de la ocurrencia de un fallo a tierra en la red (1);
 - unos segundos medios (40') de interpretación de los resultados del procesamiento de las señales para determinar si el fallo está hacia arriba o hacia abajo del dispositivo que comprenden unos medios de comparación de dicha media (μ) y de dicha desviación estándar (σ).
5. Dispositivo de detección direccional (20) según la reivindicación 4, en el que los medios de cálculo de los coeficientes de correlación (28') están asociados a unos medios de adquisición de las señales durante una duración (T_{adq}) correspondiente a un número entero de semiperíodos de la red (1) y los terceros medios de recepción (22) de señales representativas de las corrientes de cada fase (I_A , I_B , I_C) comprenden unos medios de muestreo (26') adaptados para proporcionar un número de valores suficiente durante la duración predeterminada (T_{adq}).
6. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 5 que comprende, además, unos medios (32) de detección de la aparición de un fallo a tierra (10) en la red (1) conectados a los medios de activación de los medios de procesamiento de las señales (30) que comprenden un comparador de la señal representativa de la corriente homopolar (I_0) con un umbral de detección (S_d).
7. Indicador de paso de fallo 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 vigilar y que comprende un dispositivo de detección direccional de fallo (20) según una de las reivindicaciones 1 a 6 conectado a dichos sensores de corriente (12_A , 12_B , 12_C) para recibir las señales representativas de corriente de fase (I_A , I_B , I_C).
8. Relé (9) de protección a tierra que comprende al menos un indicador de fallo según la reivindicación 7 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 (20) del indicador.

9. Procedimiento de detección direccional (D, L) de un fallo a tierra (10) en una red multifásica (1) que comprende el disparo, como continuación a la obtención de una señal (D) indicadora de la presencia de dicho fallo a tierra (10), de la determinación direccional (L) del fallo (10), comprendiendo dicha determinación direccional las etapas sucesivas de:

- 5 - obtención de señales representativas de una norma de cada una de las corrientes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) sobre una duración (T_{adq}) de al menos un semiperíodo de la red;
- procesamiento de las señales representativas de la norma de las corrientes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$), que comprende el cálculo de la media aritmética (M) de las señales representativas de la norma de cada una de las corrientes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) sobre la duración predeterminada (T_{adq});
- 10 - interpretación de los resultados del procesamiento de las señales, para indicar si el fallo detectado (D) se sitúa hacia abajo o hacia arriba del sitio en que las señales representativas de las normas de las corrientes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) se han obtenido, por una comparación entre dicha media (M) y dichas señales representativas de la norma de cada una de las corrientes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$).

10. Procedimiento de detección direccional según la reivindicación 9, en el que la etapa de obtención de señales representativas de la norma de cada una de las corrientes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) sobre una duración (T_{adq}) comprende la obtención de señales representativas de cada una de las corrientes de fase (I_A , I_B , I_C) y el cálculo de su norma.

11. Procedimiento de detección direccional según una de las reivindicaciones 9 o 10, en el que la etapa de proporcionar las señales representativas de las normas de las corrientes de fase ($||I_A||$, $||I_B||$, $||I_C||$) incluye un muestreo de la corriente a frecuencia inferior a 1 kHz.

12. Procedimiento de detección direccional según la reivindicación 10, en el que la etapa de proporcionar las señales representativas de las corrientes de fase (I_A , I_B , I_C) incluye un muestreo de la corriente a frecuencia superior a 1 kHz y que comprende, además, las etapas sucesivas de:

- 25 - obtención de una señal representativa de la corriente homopolar (I_0) que circula en la red sobre la misma duración (T_{adq});
- cálculo de los coeficientes de correlación normalizados sin signo (r_A , r_B , r_C) entre las señales de corriente homopolar (I_0) y de cada una de las corrientes de fase (I_A , I_B , I_C) sobre la duración predeterminada (T_{adq});
- cálculo de la media aritmética (μ) y de la desviación estándar (σ) de dichos coeficientes de correlación (r_A , r_B , r_C);
- 30 - interpretación de los resultados del procesamiento de las señales para indicar si el fallo detectado (D) se sitúa hacia abajo o hacia arriba del sitio en que las señales representativas de las corrientes de fase (I_A , I_B , I_C) se han obtenido por una comparación que usa dicha media (μ) y dicha desviación estándar (σ).

13. Procedimiento de detección direccional según la reivindicación 12, en el que la etapa de interpretación comprende la comparación con cero de la diferencia entre el triple del cuadrado de la desviación estándar (σ) y el cuadrado de la diferencia entre la media (μ) y uno, alternativamente, la comparación gráfica de la media (μ) y de la desviación estándar

35 (σ) con una recta de ecuación $y = \frac{1-x}{\sqrt{3}}$.

14. Procedimiento de protección de una línea de corriente (5) durante la aparición de un fallo a tierra (10) que comprende el accionamiento de un dispositivo de corte (6) de dicha línea (5) si un fallo a tierra (10) se ha detectado por un procedimiento según una de las reivindicaciones 9 a 13 hacia abajo de dicho dispositivo de corte (6).

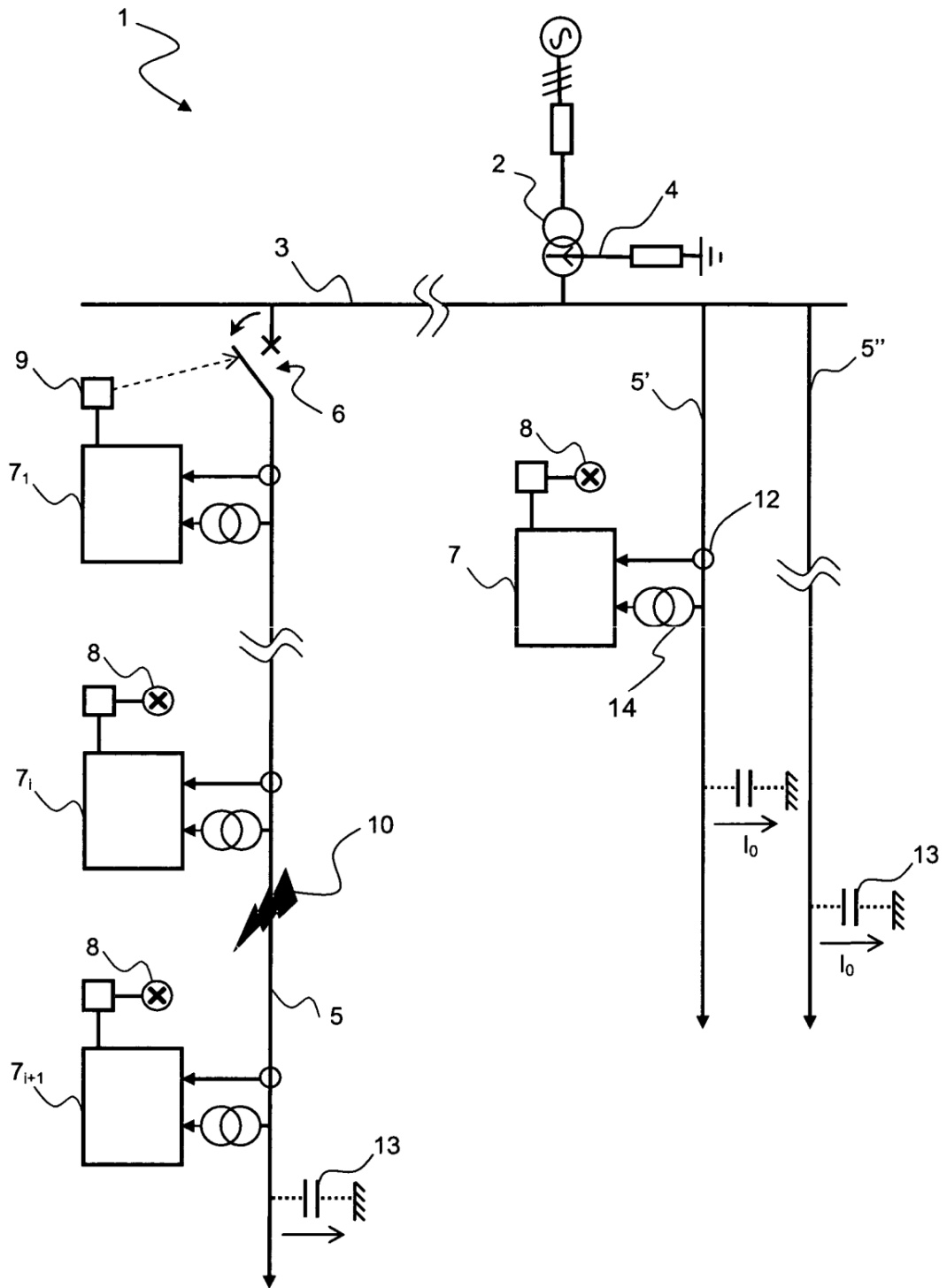
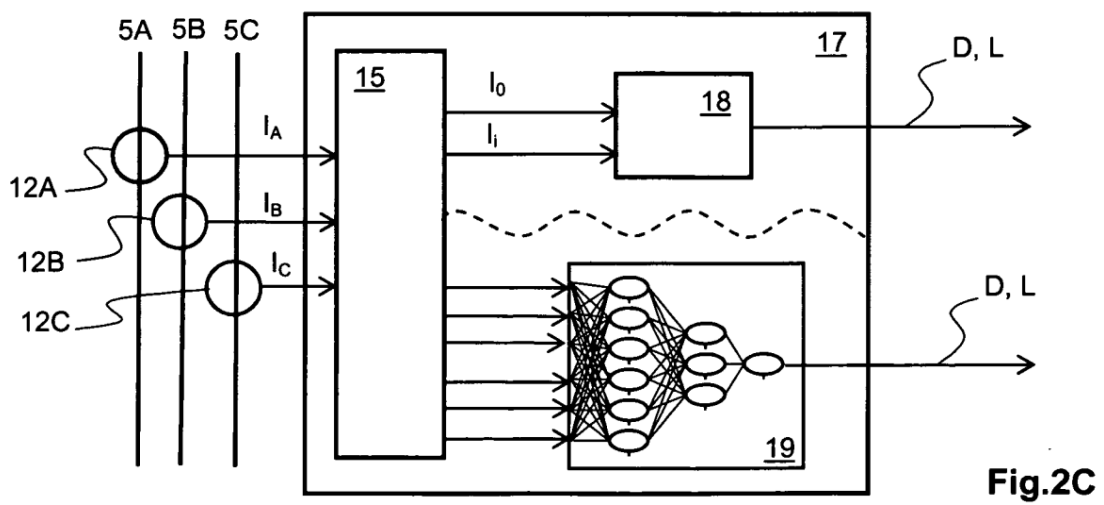
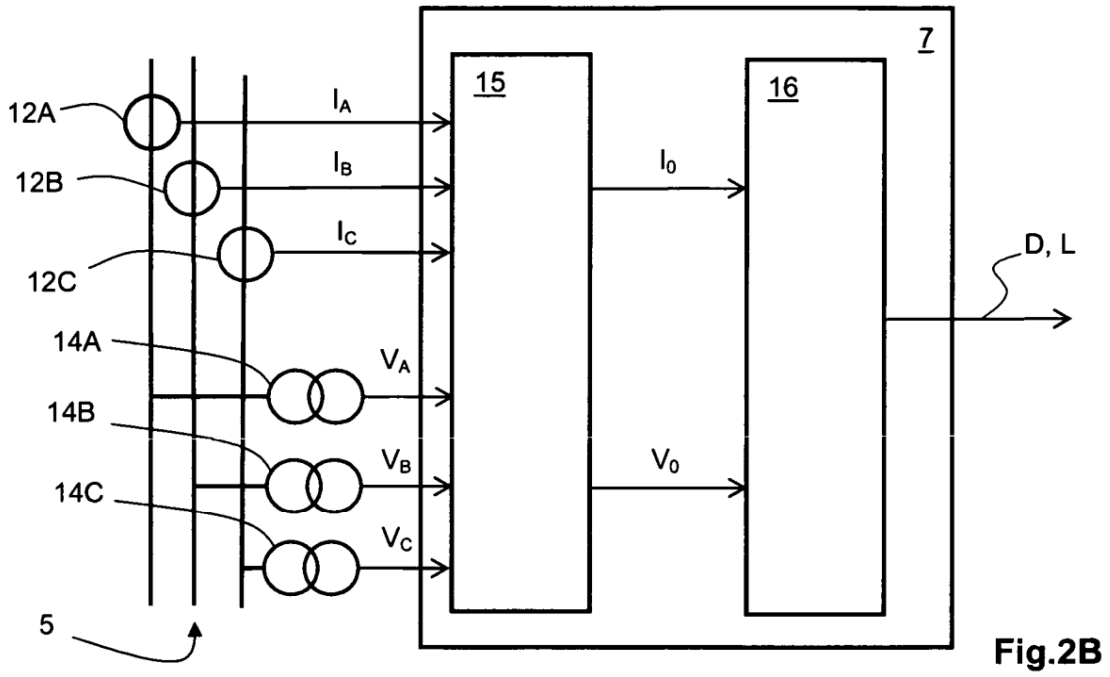
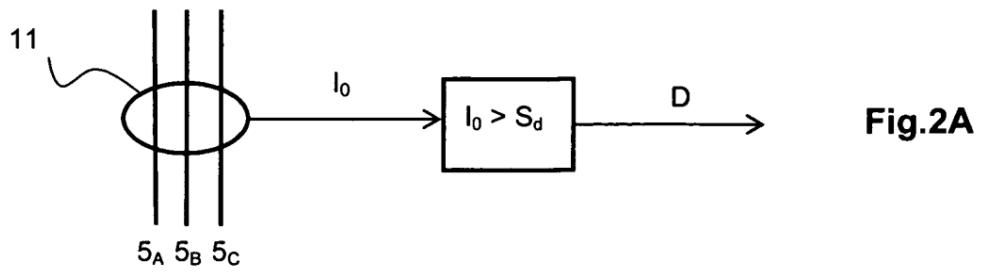


Fig.1



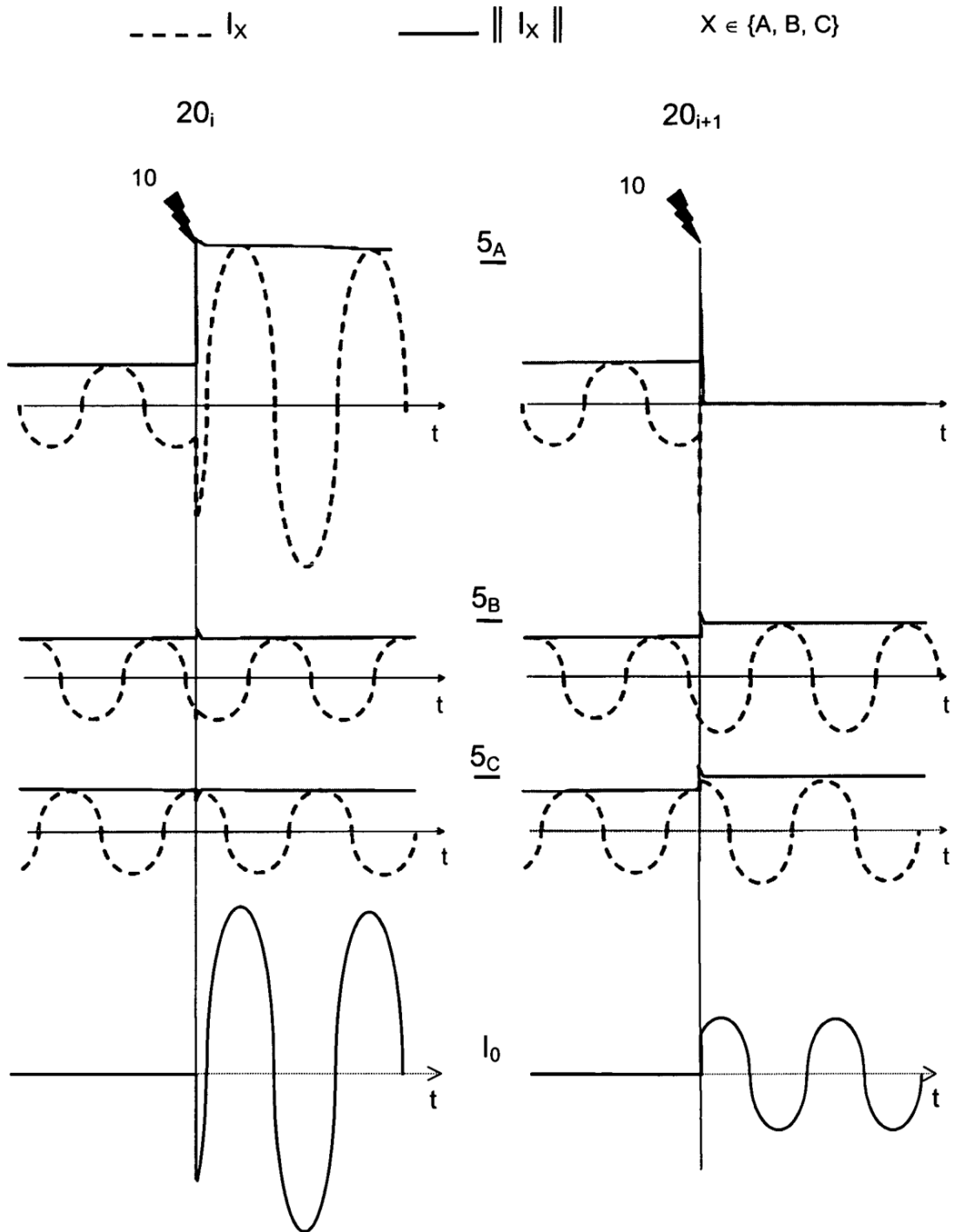


Fig.3

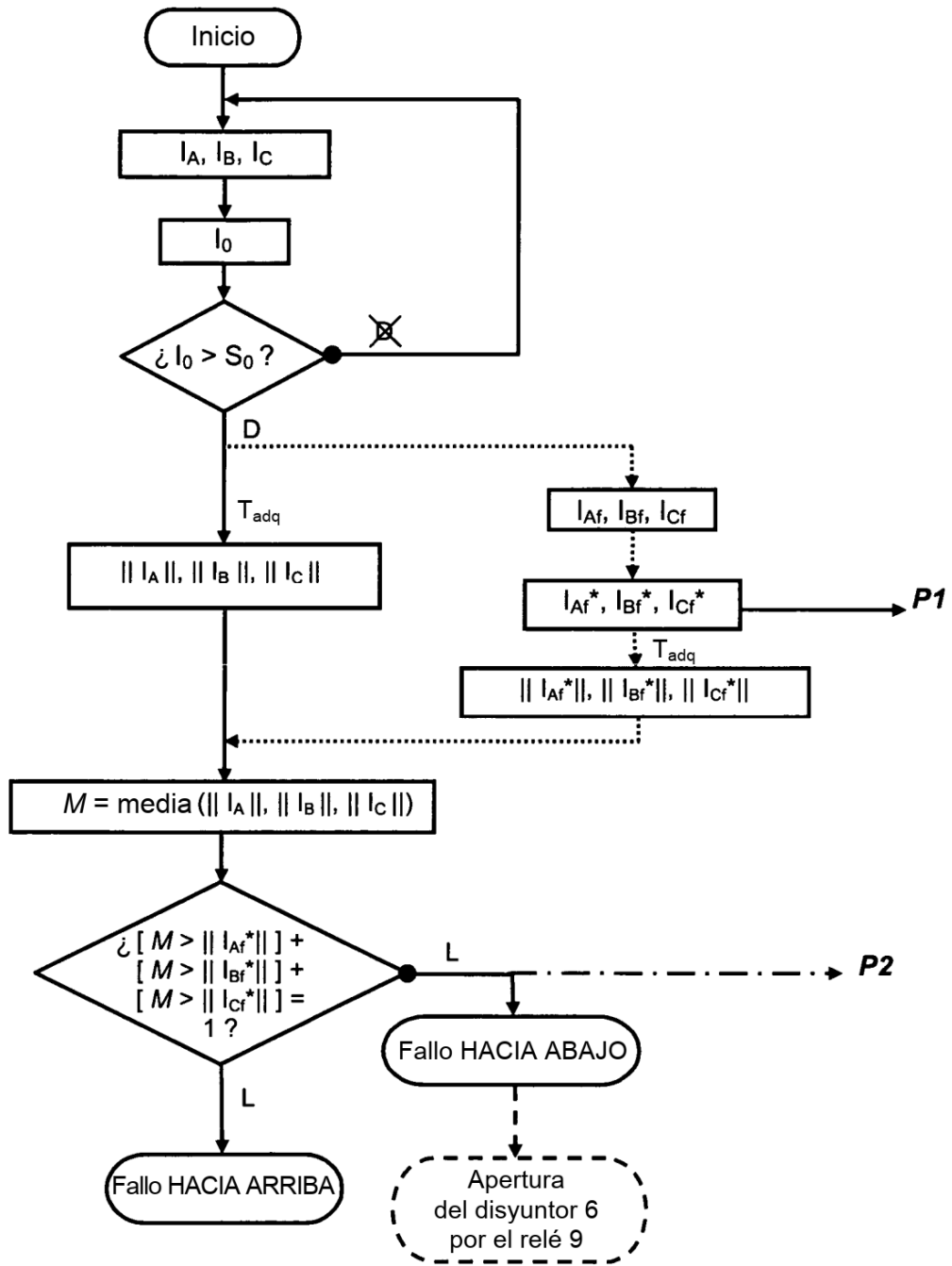


Fig.4A

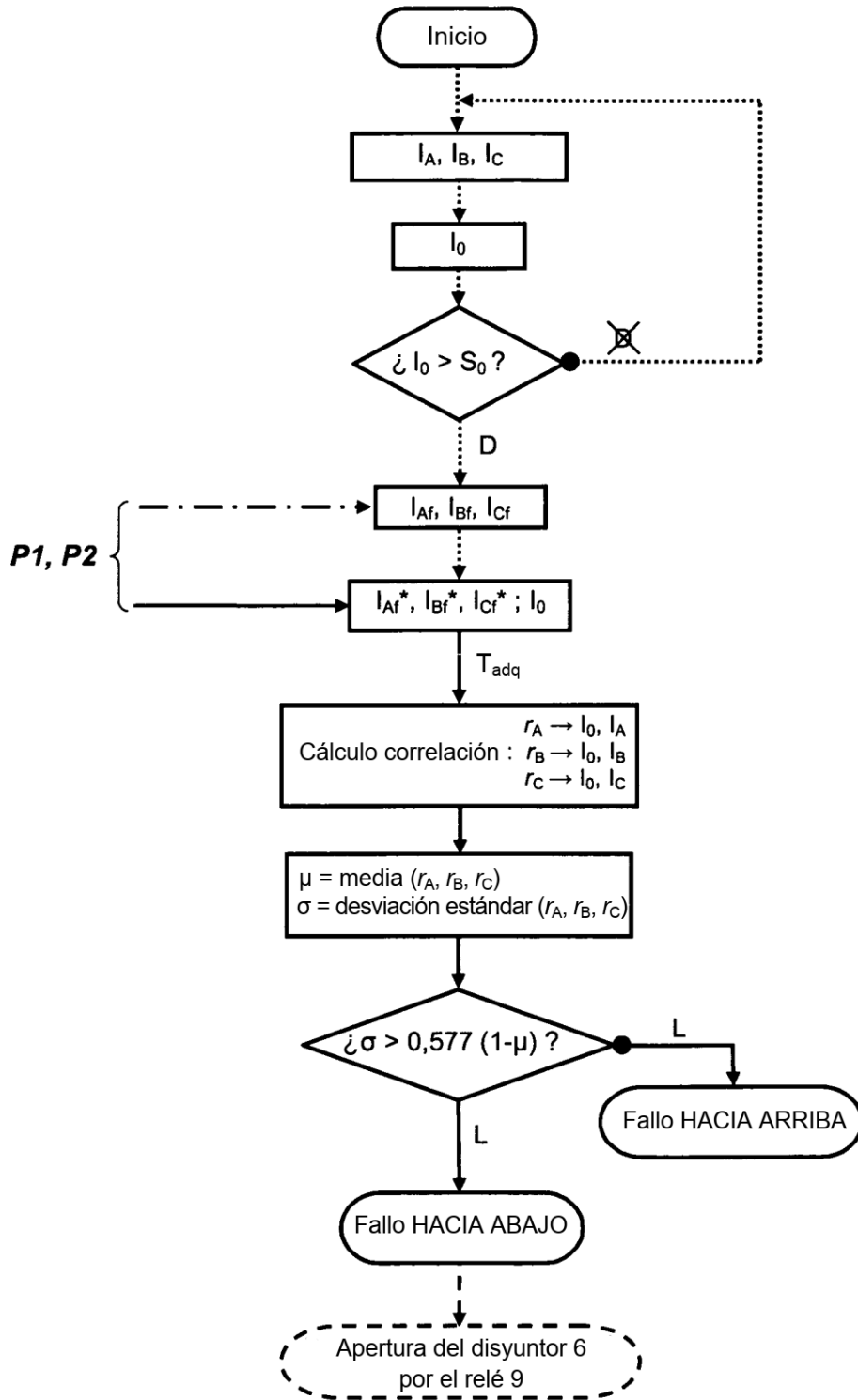


Fig.4B

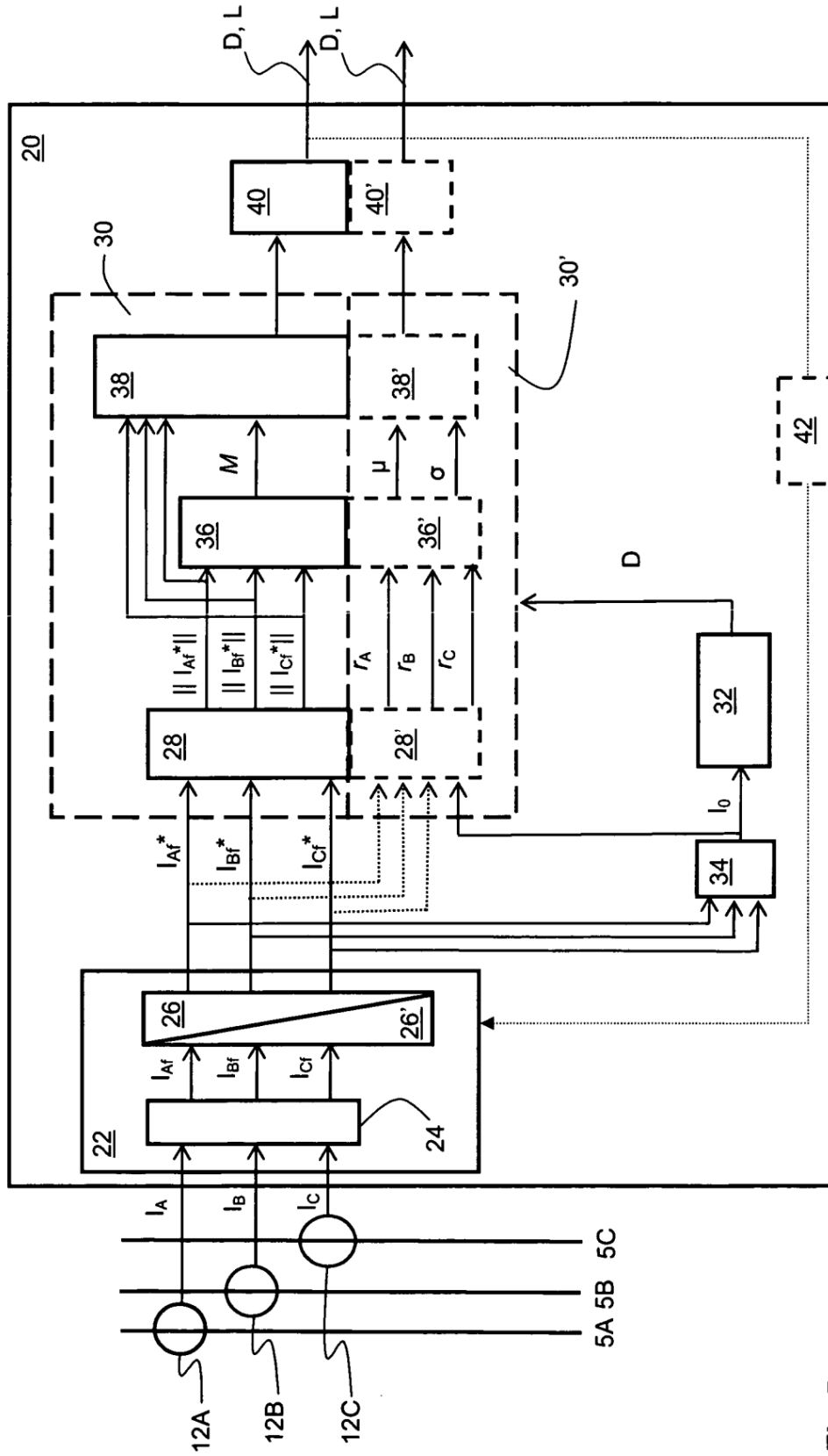


Fig.5