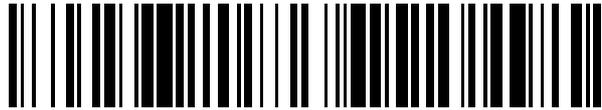


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 535 750**

51 Int. Cl.:

**H02H 3/38** (2006.01)

**H02H 3/42** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2013 E 13191328 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.02.2015 EP 2741390**

54 Título: **Detección direccional de un defecto, particularmente en una red de neutro compensado o aislado**

30 Prioridad:

**06.12.2012 FR 1261709**

**06.12.2012 FR 1261712**

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

**14.05.2015**

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS**

**(100.0%)**

**35 rue Joseph Monier**

**92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**CUMUNEL, PASCAL y**

**VERNEAU, GUILLAUME**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 535 750 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 defecto, particularmente en una red de neutro compensado o aislado

**Campo técnico**

5 La invención corresponde a la detección direccional de un defecto a tierra, particularmente en una red de neutro compensado, y en el caso particular de neutro aislado. En particular, la invención se refiere a un procedimiento de detección de un defecto a tierra en una red que permite además determinar si el defecto está localizado aguas arriba o aguas abajo del punto de detección. El procedimiento según la invención se basa en el análisis de la señal en régimen estable después del defecto.

10 Bajo otro aspecto, la invención corresponde a un dispositivo de detección adecuado para implementar el procedimiento anterior. En particular, el dispositivo de detección direccional de defectos a tierra comprende unos medios que permiten interpretar las señales de corriente y de tensión después de las perturbaciones transitorias generadas por un defecto con el fin de darle una localización relativa.

15 La invención corresponde finalmente a un dispositivo de señalización de defectos y a un relé de disparo que comprende unos sensores de la corriente y de la tensión homopolares de la red y que proporcionan al anterior dispositivo de detección 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**

20 Los dispositivos de detección de defectos en las redes trifásicas permiten desencadenar la protección de las cargas y/o ayudar a la localización de dichos defectos. Por ejemplo, la figura 1 representa un esquema de una red 1 de distribución eléctrica en media tensión que comprende un transformador 2 trifásico, cuyo secundario puede comprender un conductor común de neutro generalmente conectado a tierra mediante una impedancia 3 (en el caso de una red de neutro aislado, no existe una conexión física entre el punto de neutro de la red y tierra). El secundario está conectado por otro lado, a una línea principal de distribución que alimenta unas líneas 4, 4', 4'' de salida, de las que algunas pueden comprender en cabeza un disyuntor u otro dispositivo 5 de corte que las protegeja.

25 Las líneas 4, 4', 4'' de salida, compuestas de líneas aéreas y/o de cables subterráneos, pueden estar sujetas a diversos defectos, 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. Un dispositivo 6 de detección de defectos instalado en las líneas 4' de salida, o unos tramos de la línea 4, pueden servir de indicador de paso del defecto, encendiendo por ejemplo un piloto luminoso 7; un dispositivo 6<sub>1</sub> puede asociarse o integrarse por otro lado en un relé de protección 8 adecuado para controlar la apertura de los contactos del disyuntor 5.

30 Entre estos defectos, los más frecuentes son los defectos monofásicos, localizados fuera de la estación de origen, en los que una fase está en contacto con tierra, o la rotura de un cable aéreo en caso de intemperie particularmente. Ahora bien, entre los conductores de la línea 4 y la tierra, en particular si las líneas de salida 4 son unos cables enterrados, pueden aparecer fuertes valores de capacidad 9, en el origen de la circulación de importantes corrientes I<sub>0</sub> homopolares en el caso de defectos 10 a tierra. Para evitar una falsa detección de un dispositivo 6 de detección de defectos a tierra provocada por un fallo de una salida vecina mediante el enlace capacitivo 9, se han desarrollado unos dispositivos y procedimientos para distinguir si un defecto 10 está localizado aguas abajo del dispositivo de detección 6<sub>i</sub>, o aguas arriba del dispositivo 6<sub>i+1</sub>.

35 Además, la puesta a tierra 3 del secundario del transformador 2 puede por sí misma ser de tal naturaleza que limite la amplitud de un defecto 10 a tierra: en las redes de distribución de MT, se habla de defecto a tierra resistente (o tierra sensible) cuando el nivel de la corriente de defecto es reducido (y por tanto difícilmente detectable) o bien porque la resistencia del defecto es elevada, o bien porque la puesta a tierra 3 del neutro en el transformador de la estación de origen limitará esta corriente de defecto (caso de una bobina de compensación o de un neutro aislado por ejemplo), o bien porque el terreno es en sí mismo de naturaleza resistiva. Se deben realizar unas mediciones más finas de la corriente ("*sensitive earth fault*") para estos defectos muy resistivos.

40 Los documentos EP 1475 874, EP 1 890 165, FR 2 936 319 o WO 2006/136520 proponen unos dispositivos y procedimientos para detectar y localizar la dirección de defectos a tierra, que sin embargo se basan en un muestreo grande durante el periodo transitorio del defecto. El documento FR 2 936 378 propone por su parte una determinación con un muestreo reducido que sin embargo no está adaptado para los cables tripolares, dado que la corriente de cada una de las fases no está disponible en este caso. Por otro lado, en todos los casos, la identificación de la presencia de un defecto 10 se basa en la detección de sobrentensidades en al menos una fase de la red 1 y esto durante una duración mínima del defecto, lo que puede ser inapropiado para los defectos a tierra sensibles, o incluso en el caso de redes de neutro compensado o aislado. El documento DE 199 01 789 propone detectar y localizar la dirección de defectos a tierra en base al signo de un producto efectuado entre un valor procedente de la tensión homopolar y un valor procedente de la corriente homopolar.

El aparato así como los dispositivos de detección de defectos pueden optimizarse.

### **Exposición de la invención**

5 Entre otras ventajas, la invención viene a paliar unos inconvenientes de los dispositivos y procedimientos de detección direccional de defectos a tierra existentes. En particular, el principio de direccionalidad realizado se basa en el análisis de los parámetros de la corriente homopolar en el régimen estable después del defecto, que permanece pese a todo, adaptado para las redes en régimen de neutro compensado y/o aislado, y que no necesita un muestreo grande de las señales representativas (típicamente, es suficiente una frecuencia de muestreo inferior a 1 kHz, por ejemplo del orden de 500 o 600 Hz), lo que le permite poder ser implementado en unos equipos que no dispongan de gran memoria en el software y/o hardware.

10 Bajo uno de sus aspectos, la invención se refiere a un procedimiento de detección direccional de un defecto a tierra en una red multifase, particularmente de neutro compensado o aislado, que utiliza las señales representativas de la tensión y de la derivada de la corriente homopolar de la red, y una evaluación del desfase entre las dos señales, particularmente comparándolas en  $\pi$ , después de que el procedimiento haya sido desencadenado a continuación de la obtención de una señal indicadora de la presencia de un defecto a tierra. El procedimiento según la invención  
15 comprende preferentemente una etapa preliminar para generar dicha señal indicadora de la presencia del defecto, que comprende la obtención de una señal representativa de la tensión homopolar de la red y su comparación con un umbral; si se prevé esta etapa, entonces la señal representativa de la tensión homopolar se pueden utilizar igualmente para la detección direccional.

20 El procedimiento según la invención comprende así la obtención de señales representativas de la tensión homopolar, respectivamente de la derivada con relación al tiempo de la corriente homopolar, que puede ser el resultado del procesamiento directo de las señales representativas proporcionadas por unos sensores dedicados, o de una etapa de cálculo de dichas señales a partir de la tensión, respectivamente de la corriente, obtenidas para cada fase de la red. Preferentemente, estas señales se filtran, y/o se muestrean a una frecuencia inferior a 1 kHz, particularmente del orden de 600 Hz.

25 Para evaluar el desfase entre las dos señales, el procedimiento puede comprender la determinación del ángulo entre las señales representativas de la tensión y de la derivada de la corriente homopolar, y preferentemente de su complementario a  $180^\circ$ ; el ángulo así determinado se compara con un parámetro fijo, particularmente un intervalo angular centrado sobre  $180^\circ$ , lo que lo convierte en comparar su complementario con un umbral. A continuación del resultado de la comparación, el procedimiento según este modo de realización de la invención indica si el defecto  
30 está aguas arriba o aguas abajo del punto de obtención de las señales, y particularmente: si el ángulo es próximo a  $180^\circ$ , el defecto se considera como aguas arriba.

Siendo, en el caso de un régimen de neutro aislado, el desfase entre las señales representativas de la tensión y de la derivada de la corriente homopolar de 0 o de  $180^\circ$ , el procedimiento comprende preferentemente la determinación del signo del producto entre las señales representativas de la tensión y de la derivada de la corriente homopolar para  
35 indicar si el defecto está aguas arriba o aguas abajo del punto de obtención de las señales. Particularmente, el procedimiento según este modo de realización de la invención comprende el cálculo del producto entre las señales representativas de la tensión y de la derivada de la corriente homopolar, y la comparación de este producto con cero: si el producto es negativo, el defecto se considera como aguas arriba.

40 Según un modo de realización preferido del procedimiento según la invención, dicho procedimiento de detección direccional se asocia a un accionamiento de un dispositivo de corte para aislar el tramo a partir del punto aguas abajo del cual se ha detectado un defecto.

La invención tiene por otro lado por objeto un dispositivo de detección direccional de un defecto a tierra, adaptado para una red de media tensión multifase, y particularmente cuando la red es de neutro compensado o aislado. El dispositivo de detección direccional según la invención se puede asociar a unos sensores de corriente y de tensión  
45 que le proporcionan las señales representativas correspondientes. El dispositivo de detección direccional puede además formar parte de un indicador de paso del defecto, por ejemplo mediante la activación de los medios de alerta de tipo piloto si se detecta un defecto 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  
50 en el que se ha detectado un defecto.

El dispositivo según la invención comprende un primer módulo adecuado para suministrar una señal representativa de la tensión homopolar de la red; preferentemente, el primer módulo comprende unos medios para recibir la señal representativa de la señal de cada una de las fases y unos medios de suma para proporcionar dicha tensión homopolar. El primer módulo puede comprender unos medios de muestreo, particularmente a frecuencia inferior a  
55 1 kHz, y/o unos medios de filtrado tal como un filtro analógico.

El dispositivo según la invención comprende un segundo módulo adecuado para proporcionar una señal representativa de la derivada con relación al tiempo de la corriente homopolar. Preferentemente, el segundo módulo comprende unos medios para recibir una señal representativa de la corriente homopolar y un bloque de derivación;

los medios para recibir una señal representativa de la corriente homopolar pueden comprender unos medios para recibir la señal representativa de la corriente de cada una de las fases y unos medios de suma para proporcionar dicha corriente homopolar. El segundo módulo puede comprender unos medios de muestreo, particularmente a frecuencia inferior a 1 kHz, y/o unos medios de filtrado tal como un filtro analógico.

- 5 El dispositivo según la invención comprende además unos medios de activación del segundo módulo en función de una señal de detección de la aparición de un defecto. Preferentemente, el dispositivo comprende unos medios para proporcionar dicha señal de detección, unidos a un primer módulo y que comprenden un comparador de la señal representativa de la tensión homopolar con un umbral de detección.

10 El dispositivo según la invención comprende finalmente un módulo de localización unido al primer y al segundo módulos, que comprende unos medios de evaluación con relación a  $\pi$  del desfase entre la tensión homopolar y la derivada de la corriente homopolar. En particular, los medios de evaluación del desfase comprenden unos medios de determinación del ángulo entre la tensión homopolar y la derivada de la corriente homopolar, y unos medios para comparar dicho ángulo con un parámetro fijo, que es en particular una zona de valores centrada en  $180^\circ$ ; preferentemente, el dispositivo comprende entonces unos medios de determinación del complementario a  $180^\circ$  de dicho ángulo, y los medios de comparación están adaptados para comparar dicho complementario con un umbral. En el caso de que la red sea de neutro aislado, los medios de evaluación del desfase se pueden simplificar y comprender unos medios de determinación del signo del producto entre la tensión homopolar y la derivada de la corriente homopolar, preferentemente unos medios de cálculo de dicho producto y unos medios para comparar este producto con cero.

20 **Breve descripción de las figuras**

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

25 La figura 1, ya descrita, representa una red eléctrica en la que se pueden utilizar unos dispositivos de detección de defectos tierra.

La figura 2A muestra de manera esquemática y filtrada unas señales representativas de las corrientes, derivadas de la corriente y tensiones homopolares, así como el ángulo relativo, durante la aparición de un defecto a tierra respectivamente aguas abajo y aguas arriba del dispositivo de detección; la figura 2B ilustra el caso particular de la red de neutro aislado.

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

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

**Descripción detallada de un modo de realización preferido**

35 Se describirá la invención para una red 1 trifásica equilibrada de neutro compensado o aislado, en la que cada línea 4, 4', 4'' comprende tres conductores de fase 4<sub>A</sub>, 4<sub>B</sub>, 4<sub>C</sub> subterráneos, el secundario del transformador 2 está conectado a tierra mediante una bobina de Petersen 3, o no está conectado (ausencia de la impedancia 3 en la figura 1), y la corriente  $I_0$  homopolar es nula en ausencia de defecto. Por corriente  $I_0$  homopolar (o "zero sequence current" según la terminología anglosajona), se entiende, con un factor eventual próximo a tres, la suma vectorial de las diferentes corrientes de fase, o incluso la corriente que corresponde a la resultante instantánea de las corrientes de fase, a veces denominada corriente residual, que corresponde eventualmente a la corriente de defecto a tierra ("ground default current" según la terminología anglosajona) o la corriente de fuga. Se ha de tomar nota que es posible desechar esta situación, particularmente con una corriente/una tensión homopolar no nula, y la red puede comprender además otro número de fases; por otro lado, el régimen del neutro puede no estar compensado.

45 Durante la aparición de un defecto 10 a tierra en una de las fases, la corriente de dicha fase se convierte idealmente en nula aguas abajo del defecto 10 y ve incrementarse su amplitud aguas arriba: hay por tanto una aparición de una corriente y de una tensión  $I_0$ ,  $V_0$  homopolares aguas abajo del defecto 10. Sin embargo, tal como se ilustra en la figura 2A, se observa la aparición frecuente de una corriente igualmente aguas arriba del defecto por enlace capacitivo 9; además, después de un período transitorio muy breve, del orden de 20 a 40 ms, la bobina de compensación 3 del punto neutro lleva rápidamente la corriente  $I_0$  de defecto a menos de 30 A de pico, es decir 20 A rms, valor que puede ser difícil de detectar. En particular, si la compensación de la red es bastante fina, el período transitorio es demasiado corto para una detección fiable, y la corriente  $I_0$  homopolar permanece muy reducida en el régimen estable, aguas abajo o aguas arriba: la detección de la aparición de dicho defecto 10 necesitaría una comparación con un umbral muy bajo, conduciendo a unos falsos positivos, o el defecto 10 simplemente no es identificado por la protección 6, 8.

55 En el caso de un neutro aislado ilustrado en la figura 2B, se produce el mismo fenómeno, con una corriente transitoria que haya podido alcanzar 170 A de cresta pero en un período demasiado corto para una detección fiable:

las únicas corrientes capacitivas que circulan a continuación, debidas a los conductores, son del orden de 2 a 4 A/km en subterránea y 0,08 A/km en aérea, generando una corriente  $I_0$  homopolar inferior también a 30 A de cresta.

5 Se ha de tener en cuenta que en los dos casos, la tensión  $V$  después del defecto 10 permanece notable por su parte, no siendo perfecta la compensación generada por la bobina 3, y el aislamiento del neutro no influye en la tensión  $V$ : en la práctica, después de la fase transitoria, y antes del disparo de la protección 8 aguas arriba de la salida 4, esta tensión continúa siendo del orden de varios kilovoltios (al menos el 20% de la tensión de línea), o bien suficiente para la detección en régimen estable. La invención se propone por tanto utilizar la medición de la tensión  $V_0$  homopolar para la detección  $D$  del defecto a tierra, comparando el valor con un umbral  $S_0$ . La tensión  $V_0$  homopolar se puede medir directamente mediante un sensor 12 apropiado, o calcularse a partir de la medición de las tensiones de fase  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$  realizada por otro lado mediante un equipo de protección del tipo VIPS (“Voltage Presence Indicator System”) localizado en el transformador 2.

15 Por otro lado, aunque la corriente  $I_0$  homopolar sea muy reducida en régimen estable después del defecto 10, la invención se propone utilizar este estado para la localización relativa del defecto 10. De hecho, las figuras 2 muestran igualmente que, dependiendo de que el defecto esté aguas arriba o aguas abajo del punto de detección, después de las perturbaciones transitorias, el desfase entre la tensión y la corriente es diferente: el desfase de  $I_0$  está adelantado en  $\pi/2$  sobre  $V_0$  aguas abajo del defecto 10, mientras que el desfase es diferente a  $\pi/2$  aguas arriba. Se utiliza según la invención un procesamiento de los datos relativos de la tensión  $V_0$  homopolar y de la corriente  $I_0$  detectada por unos sensores adaptados 14 en régimen estable.

20 En particular, la invención utiliza la señal correspondiente a la derivada  $dI_0/dt$  de la corriente homopolar en régimen post transitorio, lo que permite:

- “ampliar” la señal  $I_0$  de reducida amplitud (debido a la compensación por la bobina 3 del punto neutro, o a la única generación de la circulación de corrientes capacitivas debido a un régimen aislado del neutro), multiplicándola por la pulsación angular  $\omega$  de la red 1, para una mejor percepción;
- 25 - situar directamente esta señal  $dI_0/dt$  con relación al eje de la tensión  $V_0$  homopolar: únicamente en el caso de un defecto aguas arriba, los dos valores están sobre el mismo eje, cerca de los errores de desfase introducidos por los sensores 12, 14.

30 En el caso de que el neutro esté aislado, la figura 2B muestra además que el desfase de  $I_0$  está retrasado en  $\pi/2$  aguas arriba del defecto 10: se hace posible entonces situar directamente esta señal  $dI_0/dt$  con relación a la tensión  $V_0$  homopolar: debido al desfase de  $90^\circ$  introducido por la derivación, según que el defecto esté aguas arriba o aguas abajo, las dos señales  $dI_0/dt$  y  $V_0$  están en fase o en oposición de fase. Comprendido ahí el caso en el que está presente un ligero desfase debido a unos sensores o unas imprecisiones de las cadenas de medición, esta situación corresponde a un cambio de signo en el producto entre las dos señales  $\Pi = V_0 \times \frac{dI_0}{dt}$ , lo que es muy simple de implementar.

35 Debido a la detección en régimen estable, es posible utilizar un muestreo más bajo, particularmente inferior a 1 kHz, por ejemplo de 12 puntos por periodo (correspondiente a una frecuencia de muestreo  $f_{muest} = 600$  Hz para una red 1 de frecuencia  $F = 50$  Hz), lo que aligera los cálculos y disminuye el coste de los equipos comparado con el muestreo a alta frecuencia, típicamente de 2500 a 3000 Hz, necesario para una medición en régimen transitorio al comienzo del defecto 10.

40 De ese modo, en un procedimiento según un modo de realización preferido según la invención esquematizado en la figura 3, en un primer momento, se adquiere una señal representativa de la tensión  $V_0$  homopolar, preferentemente filtrada  $V_{0f}$ . La adquisición de la señal se puede efectuar directamente, a través de un sensor 12 dedicado, o por intermedio de una suma de tres valores de las tensiones de fase  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ , señales también preferentemente filtradas y muestreadas  $V_{Af}^*$ ,  $V_{Bf}^*$ ,  $V_{Cf}^*$ . La señal de tensión homopolar se compara con un umbral  $S_0$ : si el umbral no se ha sobrepasado, no se considerará presente ningún defecto 10 en la línea 4 y el procedimiento de localización no es activado; si no, se considera un defecto 10 como detectado  $D$ .

45 Además de que cualquier medio apropiado puede dar una indicación en cuanto a la detección  $D$ , una vez detectado el defecto 10, se determina la derivada con relación al tiempo de las señales representativas de las corrientes  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  de fase, por ejemplo mediante derivación por software o material de las señales proporcionadas por unos sensores de corriente 14A, 14B, 14C. Preferentemente, las señales representativas de las derivadas de las corrientes se filtran y muestrean, pudiendo ser el orden de estas etapas diferente al indicado (por ejemplo, el filtrado puede tener lugar antes de la derivada). Se suman las tres señales de manera que se obtenga una señal representativa de la derivada  $dI_{0f}^*/dt$  de la corriente homopolar muestreada filtrada. Alternativamente, la corriente  $I_0$  homopolar se podría medir directamente por medio de un núcleo dedicado 14, posteriormente muestrearse, filtrarse y derivarse: una medición directa de ese tipo de la corriente homopolar es más precisa y permite evitar acumular los errores de los sensores durante la suma de las mediciones de cada corriente de línea.

Para obtener una medición fiable, se prefiere medir la señal durante dos periodos. Preferentemente, se utiliza la misma duración para la adquisición de la tensión homopolar, pero esto no es indispensable.

Debido al desfase introducido por la derivación de la corriente  $I_0$  homopolar, la señal  $dI_0/dt$  está en oposición de fase ( $180^\circ$ ) con la tensión  $V_0$  en el caso de un defecto situado aguas arriba de la detección, puesto que en este caso la corriente es de origen capacitivo 9. El procedimiento comprende de ese modo una etapa de determinación del desfase entre la derivada  $dI_0/dt$  de la corriente homopolar y la tensión  $V_0$  con el fin de identificar si es igual a  $180^\circ$  o no.

Más precisamente, la etapa de determinación del desfase comprende clásicamente una etapa de determinación del ángulo  $\beta$  entre la derivada  $dI_0/dt$  de la corriente homopolar y la tensión  $V_0$  homopolar, o de su complementario  $\alpha = 180 - \beta$ . Esta determinación se puede realizar por cualquier método conocido: medición gráfica o por software o cálculo de los pasos de las señales por cero, respectivamente al mínimo o al máximo, o representación elíptica, o incluso cálculo del fasor, etc., o cualquier combinación. El complementario  $\alpha$  del ángulo  $\beta$  entre la derivada  $dI_0/dt$  de la corriente homopolar y la tensión  $V_0$  homopolar se compara entonces con un umbral de ángulo  $S_\alpha$ : bajo el umbral  $S_\alpha$ , el ángulo  $\alpha$  puede ser considerado como nulo a las imprecisiones debidas a los sensores, y el defecto se localiza L como aguas arriba del punto de medición; si el ángulo  $\alpha$  es superior al umbral, la localización L indicará el defecto como aguas abajo del punto de medición.

El umbral  $S_\alpha$  se puede determinar en función de la precisión  $P_c$  de los sensores 12, 14 utilizados, y de la frecuencia  $f_{muest}$  de muestreo mantenida. De hecho, en el caso de un muestreo de  $x$  puntos por periodo, cada muestra cubre un sector angular de  $360^\circ/x$ , correspondiente a la precisión de  $\pm 360^\circ/2x$ : de ese modo, la amplitud del sector angular alrededor de  $180^\circ$  entre las señales consideradas se puede considerar como  $\theta \leq \max\left(P_c, \frac{360 \times F}{2 \times f_{ech}}\right) = S_\alpha$ , con F la frecuencia de la red 1, es decir un defecto aguas arriba corresponde a  $\beta \in [180 - S_\alpha, 180 + S_\alpha]$ , o  $|\alpha| \leq \theta_{max}$ .

Es posible que los sensores de corriente 14 y de tensión 12 sean de tal naturaleza que introduzcan ellos mismos unos desfases (en este caso clásicamente de  $\pm 90^\circ$  en el caso de puente inductivo o capacitivo), o que las señales I y V se obtengan por medio de otros equipos que introducen también un desfase: el principio descrito se puede adaptar fácilmente ajustando el umbral  $S_\alpha$  de manera apropiada.

En el caso particular en el que el régimen de neutro sea aislado, ilustrado en línea discontinua en la figura 3, debido al desfase introducido por la derivación de la corriente  $I_0$  homopolar, la señal  $dI_0/dt$  está en oposición de fase ( $180^\circ$ ) con la tensión  $V_0$  en el caso de un defecto situado aguas arriba de la detección, puesto que en este caso la corriente es de origen capacitivo 9, pero permanece en fase (desfase de  $0^\circ$ ) cuando el defecto 10 está aguas abajo de la detección 6i. El procedimiento se puede simplificar porque la etapa de determinación del desfase comprende también una etapa de cálculo del producto  $\Pi$  entre la derivada  $dI_0/dt$  de la corriente homopolar y la tensión  $V_0$  homopolar, pudiendo realizarse este cálculo por cualquier método conocido: multiplicador de amplificador operacional, circuito integrado dedicado o multiplicación por software. El producto  $\Pi$  así calculado se compara entonces con cero: es superior a cero en el caso de un defecto aguas abajo, e inferior en el caso de un defecto aguas arriba; alternativamente, solo se considera el signo del producto  $\Pi$ : si el producto es positivo, la localización L indicará que el defecto está aguas abajo del punto de medición. Para esta simple prueba de determinación de su signo, el producto  $\Pi$  se puede calcular "a favor de la corriente", es decir sobre todas las muestras procedentes de los estados precedentes, o tomarse en consideración sobre su valor medio durante una duración preferentemente superior a un periodo de la red 1, por ejemplo del orden de 20 ms. En el caso de que los sensores induzcan ellos mismos un desfase, clásicamente de  $\pm 90^\circ$  en el caso de los puentes inductivo o capacitivo, se efectúa la corrección de la señal representativa en el primer o segundo módulos.

El procedimiento según la invención se puede realizar en un relé 8 de protección, en un indicador 6 de defecto con un sistema 7 de alarmas, mediante la implementación de un dispositivo de detección direccional de defectos a tierra 100 adaptado.

Un dispositivo 100 según un modo de realización preferido de la invención se esquematiza en la figura 4. Comprende un primer módulo 20 que permite obtener una señal representativa de la tensión  $V_0$  homopolar a partir de informaciones proporcionadas por los sensores de tensión 12A, 12B, 12C adaptados, por ejemplo los del VIPS. El primer módulo 20 comprende preferentemente, en un orden indiferenciado, unos medios 24 de filtrado de las señales  $V_A, V_B, V_C$  tal como un filtro analógico y unos medios 26 de muestreo, que funcionan ventajosamente a menos de 1 kHz; las señales muestreadas filtradas  $V_{Af}^*, V_{Bf}^*, V_{Cf}^*$  son procesadas mediante unos medios 28 de suma que permiten determinar la tensión  $V_{0f}^*$  homopolar. Alternativamente, pueden adaptarse los medios 28 de suma para procesar directamente las señales recibidas a través de los sensores 12A, 12B, 12C, sucediéndole el filtrado y el muestreo.

Alternativamente, si la red está provista de un sensor 12 adaptado, la señal representativa de la tensión  $V_0$  homopolar puede ser recibida directamente por el primer módulo 20 del dispositivo 100 según la invención, cuyos módulos 24, 26 de filtrado y de muestreo están adaptados entonces para procesar la señal.

El primer módulo 20 es así apto para proporcionar un valor  $V_0$  de la tensión homopolar, y el dispositivo según la invención comprende unos medios 30 de detección del defecto, particularmente un módulo de comparación de la tensión  $V_0$  homopolar obtenida en el primer módulo 20 con un umbral  $S_0$ . Si se sobrepasa el umbral, entonces se detecta un defecto D: el dispositivo 100 puede estar provisto de medios para indicar el defecto, por ejemplo un indicador luminoso o sonoro, unos relés de contacto o un enlace de comunicación.

Además, los medios 30 de detección del defecto están adaptados para activar un segundo módulo 40 del dispositivo 100 según la invención que permite obtener una señal representativa de la derivada con relación al tiempo de la corriente  $I_0$  homopolar. El segundo módulo 40 comprende un bloque de derivación 42 para determinar la derivada con relación al tiempo de las señales representativas de las corrientes de fase  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  proporcionadas por los sensores 14A, 14B, 14C adaptados, por ejemplo unos núcleos tóricos de detección. En el modo de realización ilustrado, las derivadas  $dI_A/dt$ ,  $dI_B/dt$ ,  $dI_C/dt$  son filtradas por unos medios 44 adaptados como un filtro analógico, a continuación las señales filtradas  $dI_A/dt$ ,  $dI_B/dt$ ,  $dI_C/dt$  están condicionadas mediante muestreo a través de unos medios 46 de muestreo, que funcionan ventajosamente a menos de 1 kHz. Las señales muestreadas filtradas  $dI_{Af}^*/dt$ ,  $dI_{Bf}^*/dt$ ,  $dI_{Cf}^*/dt$  son procesadas mediante unos medios 48 de suma del segundo módulo 40 para determinar la derivada  $dI_{0f}^*/dt$  de la corriente homopolar.

Se ha de tomar nota que los diferentes medios de procesamiento del segundo módulo 40 se pueden organizar de modo diferente: particularmente, los medios de suma 48 pueden estar adaptados para procesar directamente las señales recibidas desde los sensores 14A, 14C, 14B, pudiendo entonces sucederle el bloque 42 de derivación; igualmente, el filtrado y el muestreo se pueden disponer de modo diferente.

Alternativamente, si la red está provista de un sensor 14 adaptado, la señal representativa de la corriente  $I_0$  homopolar puede ser recibida directamente por el segundo módulo 40 del dispositivo 100 según la invención, cuyos medios 42, 44, 46 de derivación, de filtrado y de muestreo están adaptados entonces para procesar directamente la señal representativa de la corriente  $I_0$  homopolar.

Los resultados de los procesamientos de los primer y segundo módulos 20, 40 se comunican a un módulo 50 de localización relativa del defecto 10. El módulo 50 de localización comprende unos medios de evaluación del desfase, y particularmente unos primeros medios 52 de cálculo del ángulo  $\beta$  entre los dos valores proporcionados, a saber la tensión  $V_0$  homopolar y la derivada  $dI_0/dt$  de la corriente homopolar; ventajosamente, los primeros medios están adaptados para calcular el complementario  $\alpha$ , diferencia entre  $\pi$  y  $\beta$ , de dicho ángulo. El módulo 50 comprende a continuación unos medios 54 de comparación para determinar la localización relativa, por ejemplo unos medios que permitan comparar con un umbral  $S_\alpha$  el valor del ángulo complementario  $\alpha$ , y comunicarlo.

Cuando el dispositivo según la invención está destinado a una utilización en una red de neutro compensado, alternativamente, los medios de evaluación del desfase del módulo 50 de localización pueden comprender unos segundos medios 52' de cálculo del producto  $\Pi$  entre los dos valores proporcionados, a saber la tensión  $V_0$  homopolar y la derivada  $dI_0/dt$  de la corriente homopolar, y posteriormente unos medios 54' de comparación para determinar la localización relativa, por ejemplo unos medios que permitan comparar con cero dicho producto, y comunicarlo.

Es posible eventualmente prever las dos alternativas de determinación del desfase en el seno de un mismo módulo 50 para un mismo aparato 100, por ejemplo con un sistema de selección para una u otra de las vías según el destino final del dispositivo de localización 100 en el emplazamiento.

El dispositivo 100 de la figura 4 puede estar ventajosamente asociado a un relé 8 de protección para unas redes eléctricas, o a un indicador de paso del defecto para unas líneas 4 de media tensión subterráneas o aéreas conectadas en la red 1, disparando la salida del módulo 50 de localización el corte de un disyuntor 5, el encendido de un piloto o cualquier otro medio de seguridad y/o de alarma.

El procedimiento y dispositivo según la invención permite por lo tanto:

- una detección direccional del defecto a tierra en una red 1 de media tensión, comprendido en ella un neutro compensado y un neutro aislado, en base a unas informaciones de tensión homopolar y de corriente homopolar;
- una detección direccional del defecto a tierra sin necesidad de muestreo a alta frecuencia debido a la utilización de las características de la red 1 en régimen estable después del defecto, y no en régimen transitorio;
- una detección direccional del defecto a tierra que esté liberado de las problemáticas de umbral de regulación, de nivel de corriente capacitivo según las salidas 4, y evitar "perder" unos defectos en caso de compensación precisa de la red 1, debido a su iniciación en un umbral de tensión homopolar, y no sobre la corriente homopolar;
- una detección direccional del defecto a tierra que permite una amplificación de los datos comunicados por la corriente aprovechando la derivada de la corriente homopolar y no la corriente propiamente dicha;
- una detección direccional del defecto a tierra que permite la simplificación de los cálculos y el procesamiento de las señales, debido a la utilización de la derivada de la corriente homopolar lo que permite alinear esta magnitud directamente en el eje de la tensión homopolar en el caso de un defecto aguas arriba del dispositivo, evitando el recurso al cálculo de los fasores de corrientes y tensiones o del ángulo de polarización para definir un plano de disparo aguas arriba/aguas abajo;

- una detección direccional del defecto a tierra tanto más simple de implementar en el caso de una red de neutro aislado debido a la utilización de un único producto entre la derivada de la corriente homopolar y la tensión homopolar, y la verificación de su signo.

5 Aunque en su modo de implementación general, la invención se haya descrito con referencia a una red de distribución trifásica en la que el neutro está puesto a tierra mediante impedancia compensada, no está limitada a ello: pueden considerarse por la invención otros tipos de redes multifase; en particular, es apropiado cualquier régimen de neutro.

10 Por otro lado, aunque se ha descrito con determinación y procesamiento de la tensión  $V_0$  homopolar instantánea para la detección del defecto, el procedimiento según la invención puede utilizar la variación de dicha tensión  $V_0$  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, cuya tensión homopolar  $V_0$  es por tanto no nula en una situación sin defecto.

15 De hecho, los diferentes circuitos, módulos y funciones presentes en el marco del modo de realización preferido de la invención se pueden realizar con componentes analógicos, digitales o bajo una forma programable que opere 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 visualizables particularmente sobre unos pilotos o unas pantallas, o señales mecánicas que actúan con unos accionadores. Igualmente, los sensores de corriente pueden ser diferentes a los tóricos descritos, tal como unos sensores de efecto Hall o de efecto Faraday, o unas magnetorresistencias; la tensión se  
20 puede detectar mediante transformadores de potencial, divisores capacitivos, divisores resistivos, incluso mediante unos sensores de efecto Pockels.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (100) de detección direccional de un defecto (10) a tierra en una red (1) de media tensión multifase que comprende:
  - 5 - un primer módulo (20) adecuado para suministrar una señal representativa de la tensión ( $V_0$ ) homopolar del conjunto de las fases;
  - un segundo módulo (40) adecuado para proporcionar una señal representativa de la derivada con relación al tiempo de la corriente ( $I_0$ ) homopolar.
  - unos medios de activación del segundo módulo (40) en función de una señal (D) de detección de la aparición de un defecto a tierra en la red (1);
  - 10 - un módulo (50) de localización que comprende unos medios de evaluación con relación a  $\pi$  del desfase entre la tensión ( $V_0$ ) homopolar proporcionada por el primer módulo (20) y la derivada ( $dI_0/dt$ ) de la corriente homopolar proporcionada por el segundo módulo (40).
  
2. Dispositivo (100) de detección direccional según la reivindicación 1, en el que los medios de evaluación del desfase comprenden unos medios (52) de determinación del ángulo ( $\beta$ ) entre la tensión ( $V_0$ ) homopolar proporcionada por el primer módulo (20) y la derivada ( $dI_0/dt$ ) de la corriente homopolar proporcionada por el segundo módulo (40), respectivamente del complementario ( $\alpha$ ) a  $180^\circ$  de dicho ángulo ( $\beta$ ), y unos medios (54) de comparación de dicho ángulo ( $\beta$ ), respectivamente de dicho complementario ( $\alpha$ ), con un parámetro fijo para determinar si el defecto está aguas arriba o aguas abajo del dispositivo (100).
  
3. Dispositivo (100) de detección direccional según una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que los medios de evaluación con relación a  $\pi$  del desfase entre la tensión ( $V_0$ ) homopolar proporcionada por el primer módulo (20) y la derivada ( $dI_0/dt$ ) de la corriente homopolar proporcionada por el segundo módulo (40) comprenden, para una red de media tensión de neutro aislado, unos medios (52') de cálculo del producto ( $\Pi$ ) entre la tensión ( $V_0$ ) homopolar proporcionada por el primer módulo (20) y la derivada ( $dI_0/dt$ ) de la corriente homopolar proporcionada por el segundo módulo (40), y unos medios (54') de comparación de dicho producto ( $\Pi$ ) con cero.
  
4. Dispositivo (100) de detección direccional según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el primer módulo (20) comprende unos medios para recibir la señal representativa de la tensión ( $V_A, V_B, V_C$ ) de cada una de las fases de la red (1) y unos medios (28) de suma para proporcionar dicha tensión ( $V_0$ ) homopolar.
  
5. Dispositivo (100) de detección direccional según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el segundo módulo (40) comprende unos medios para recibir una señal representativa de una corriente (I) de la red (1) y un bloque (42) de derivación adaptado para proporcionar la derivada ( $dI/dt$ ) con relación al tiempo de una señal representativa de una corriente (I).
  
6. Dispositivo (100) de detección direccional según la reivindicación 5, en el que los medios para recibir una señal representativa de una corriente están adaptados para recibir la señal representativa de la corriente ( $I_A, I_B, I_C$ ) de cada una de las fases de la red (1) y en el que el segundo módulo (40) comprende unos medios (48) de suma para proporcionar una señal representativa de la corriente ( $I_0$ ) homopolar.
  
7. Dispositivo (100) de detección direccional según una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además unos medios (30) de detección de la aparición de un defecto a tierra en la red unidos al primer módulo (20) y a los medios de activación del segundo módulo (40), comprendiendo dichos medios (30) de detección un comparador de la señal representativa de la tensión ( $V_0$ ) homopolar con un umbral ( $S_0$ ) de detección.
  
8. Indicador (6) de paso del defecto a tierra que comprende unos sensores de corriente y de tensión (12, 12A, 12B, 12C, 14, 14A, 14B, 14C) dispuestos sobre una línea (4, 4A, 4B, 4C) de una red eléctrica (1) a supervisar y que comprende un dispositivo (100) de detección direccional de defectos, según una de las reivindicaciones 1 a 7, conectado a dichos sensores (12, 12A, 12B, 12C, 14, 14A, 14B, 14C) para recibir las señales representativas de corriente y de tensión.
  
9. Relé (9) de protección a tierra que comprende al menos un indicador de paso del defecto según la reivindicación 8 y unos medios de accionamiento de un dispositivo (5) de corte en función de los resultados del módulo (50) de localización del dispositivo (100) de detección direccional del indicador.
  
10. Procedimiento de detección (D, L) direccional de un defecto (10) a tierra en una red (1) multifase que comprende el disparo, a continuación de la obtención de una señal (D) indicadora de la presencia de dicho defecto (10) a tierra, de la determinación direccional (L) del defecto (10), comprendiendo dicha detección direccional las etapas sucesivas de:
  - obtención de señales representativas de la tensión ( $V_0$ ) homopolar y de la derivada ( $dI_0/dt$ ) con relación al tiempo de la corriente homopolar;
  - evaluación con relación a  $180^\circ$  del desfase entre las señales representativas de la tensión ( $V_0$ ) homopolar y de la derivada ( $dI_0/dt$ ) con relación al tiempo de la corriente homopolar.

11. Procedimiento de detección direccional según la reivindicación 10, en el que la evaluación del desfase comprende las etapas de:
- determinación del ángulo ( $\beta$ ) entre las señales representativas de la tensión ( $V_0$ ) homopolar y de la derivada ( $dl_0/dt$ ) con relación al tiempo de la corriente homopolar, respectivamente del complementario ( $\alpha$ ) a  $180^\circ$  de dicho ángulo ( $\beta$ );
  - comparación de dicho ángulo ( $\beta$ ), respectivamente del complementario ( $\alpha$ ), con un parámetro fijo para indicar si el defecto detectado (D) se sitúa aguas abajo o aguas arriba del sitio en el que se han obtenido las señales representativas.
12. Procedimiento de detección direccional según la reivindicación 10, en el que la red es de neutro aislado, y en el que la evaluación con relación a  $180^\circ$  del desfase entre las señales representativas de la tensión ( $V_0$ ) homopolar y de la derivada ( $dl_0/dt$ ) con relación al tiempo de la corriente homopolar comprende las etapas de cálculo del producto ( $\Pi$ ) entre las señales representativas de la tensión ( $V_0$ ) homopolar y de la derivada ( $dl_0/dt$ ) con relación al tiempo de la corriente homopolar y la comparación con cero de dicho producto ( $\Pi$ ).
13. Procedimiento de detección direccional según una de las reivindicaciones 10 a 12, en el que la señal (D) indicadora de la presencia de un defecto (10) a tierra se obtiene mediante la comparación de la señal de la tensión ( $V_0$ ) homopolar con un umbral ( $S_0$ ) de detección del defecto.
14. Procedimiento de detección direccional según una de las reivindicaciones 10 a 13, en el que la obtención de las señales representativas de la tensión ( $V_0$ ) homopolar y de la derivada ( $dl_0/dt$ ) con relación al tiempo de la corriente homopolar comprende un muestreo a una frecuencia inferior a 1 kHz.
15. Procedimiento de protección de una línea (5) de corriente durante la aparición de un defecto (10) a tierra que comprende el accionamiento de un dispositivo (6) de corte de dicha línea (5) si se ha detectado un defecto (10) a tierra, mediante un procedimiento según una de las reivindicaciones 10 a 14, aguas abajo de dicho dispositivo (6) de corte.

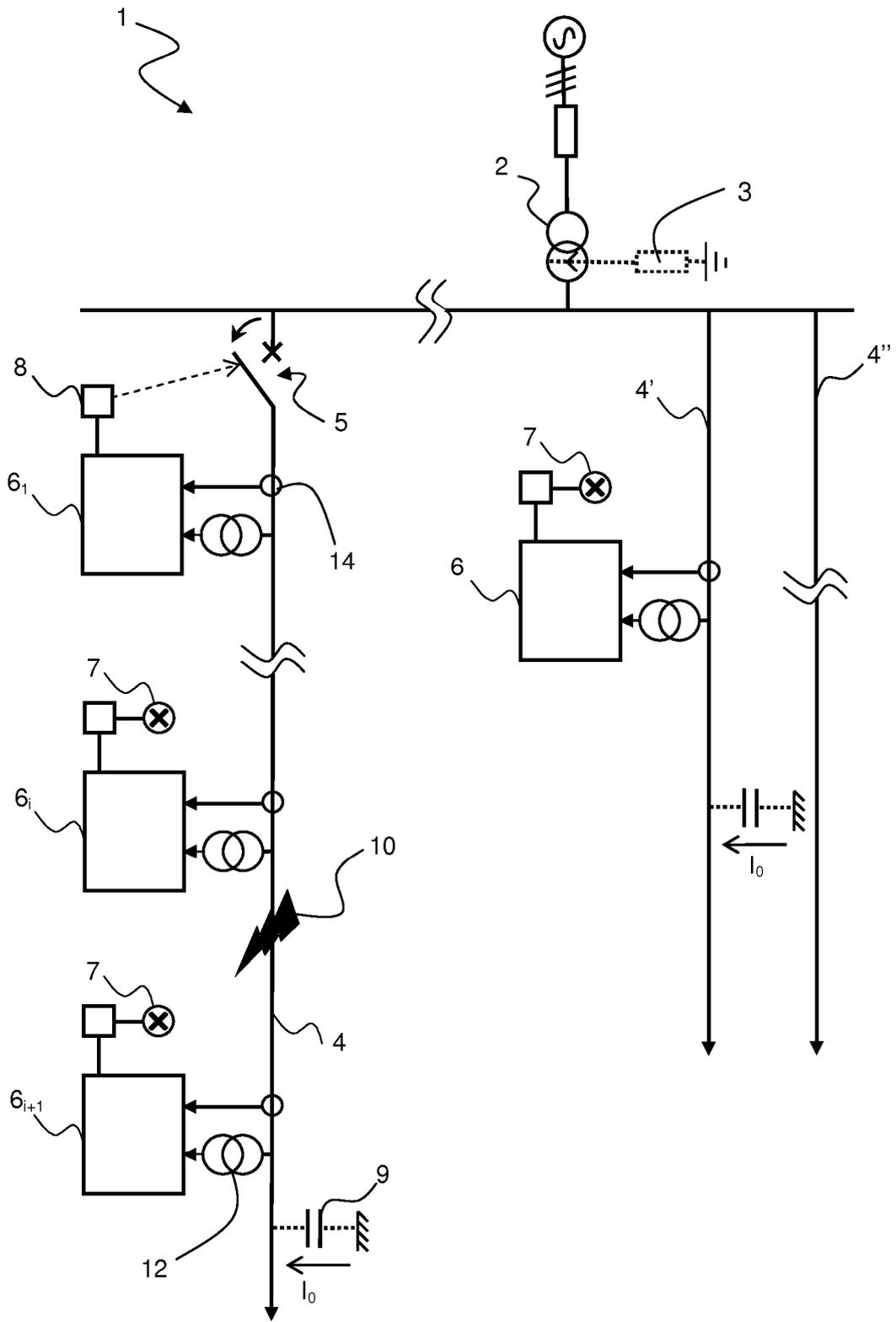


Fig.1

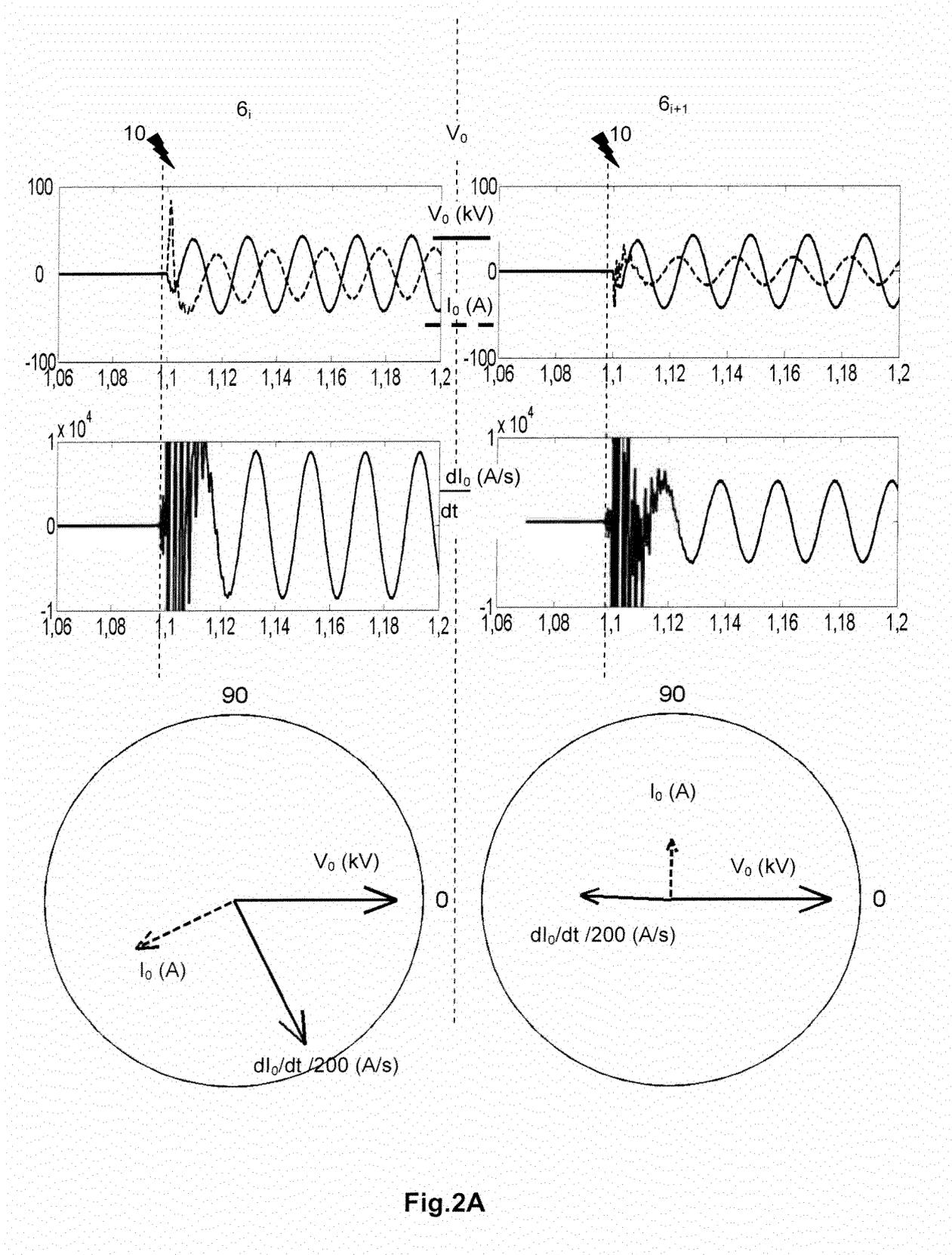


Fig.2A

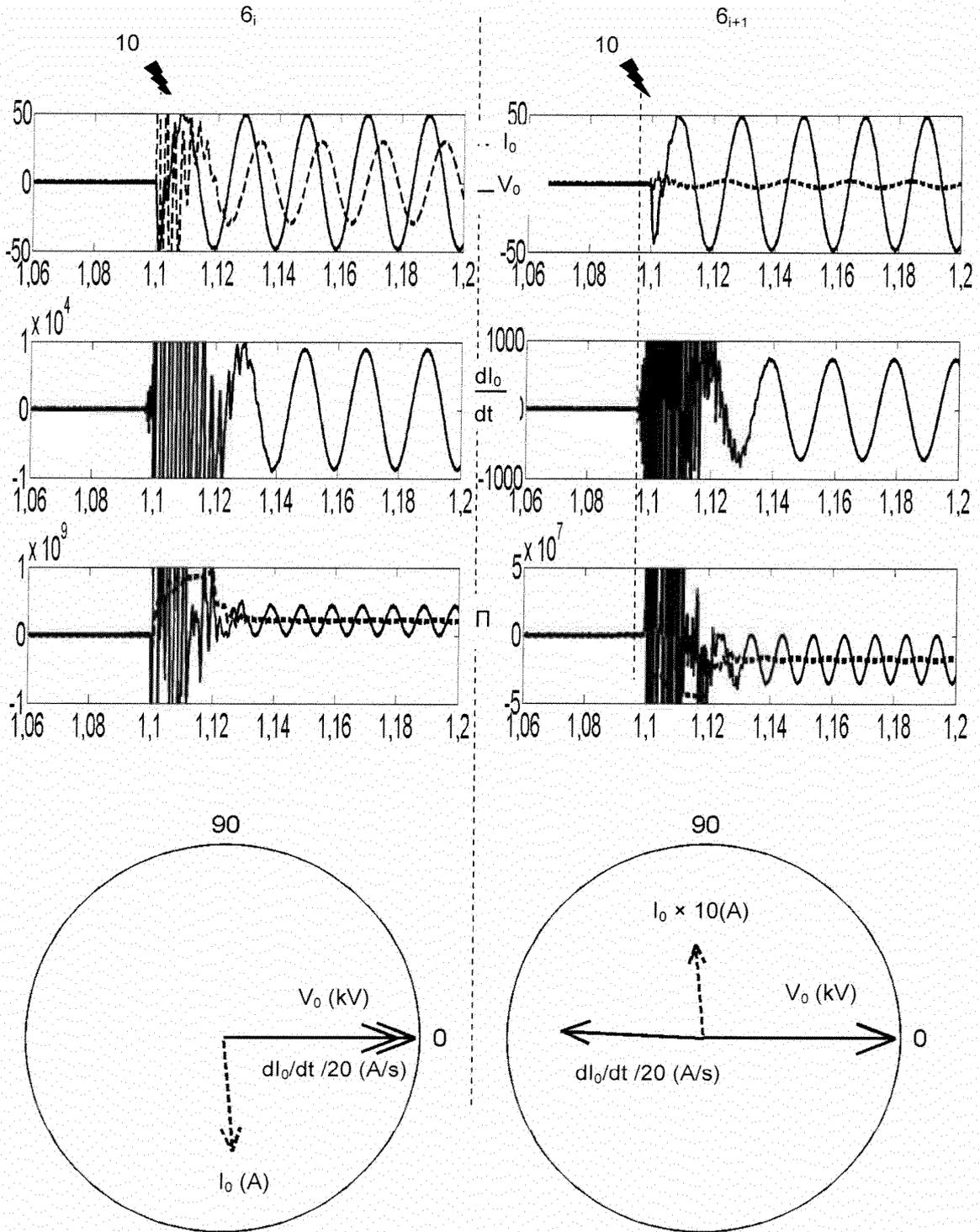


Fig.2B

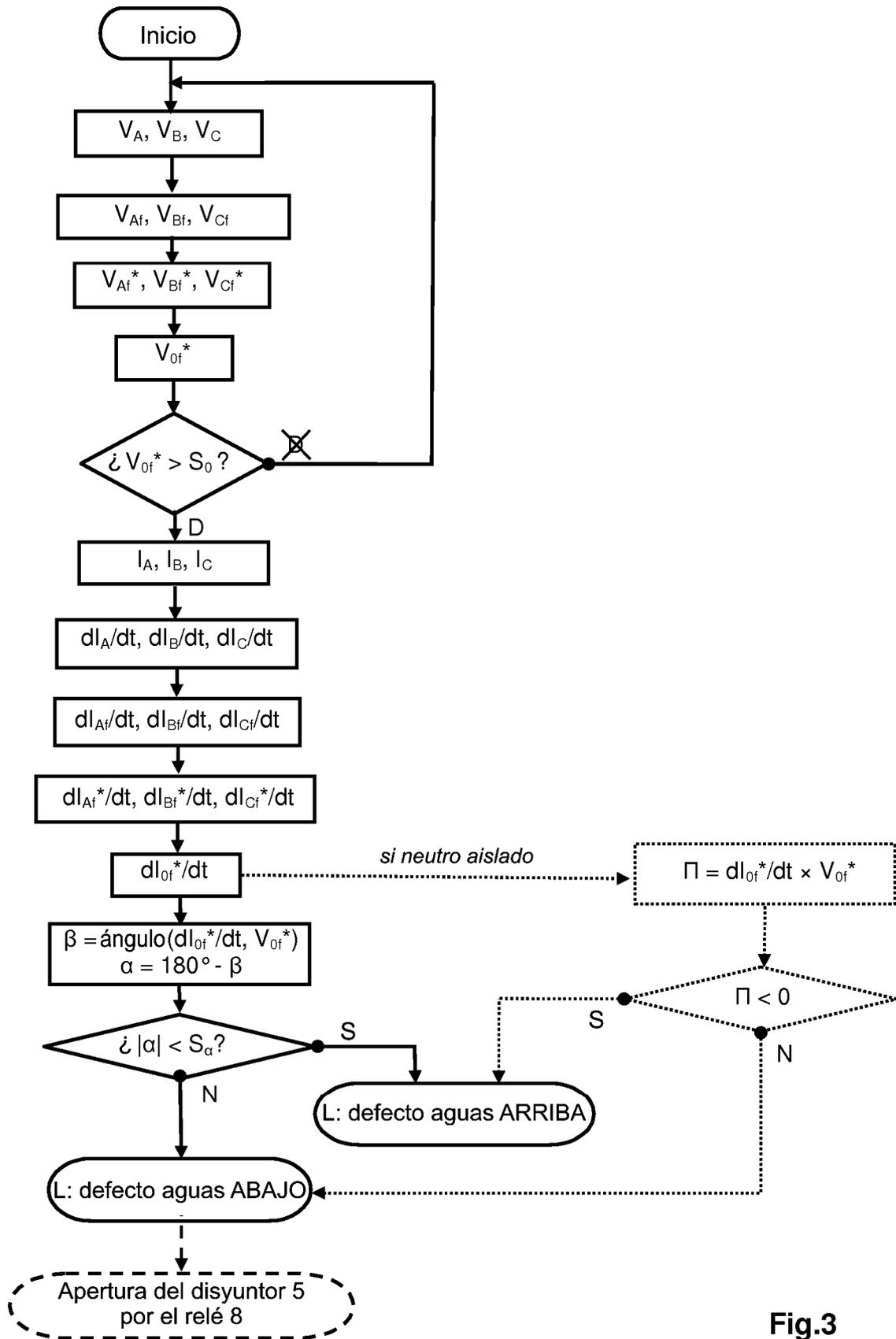


Fig.3

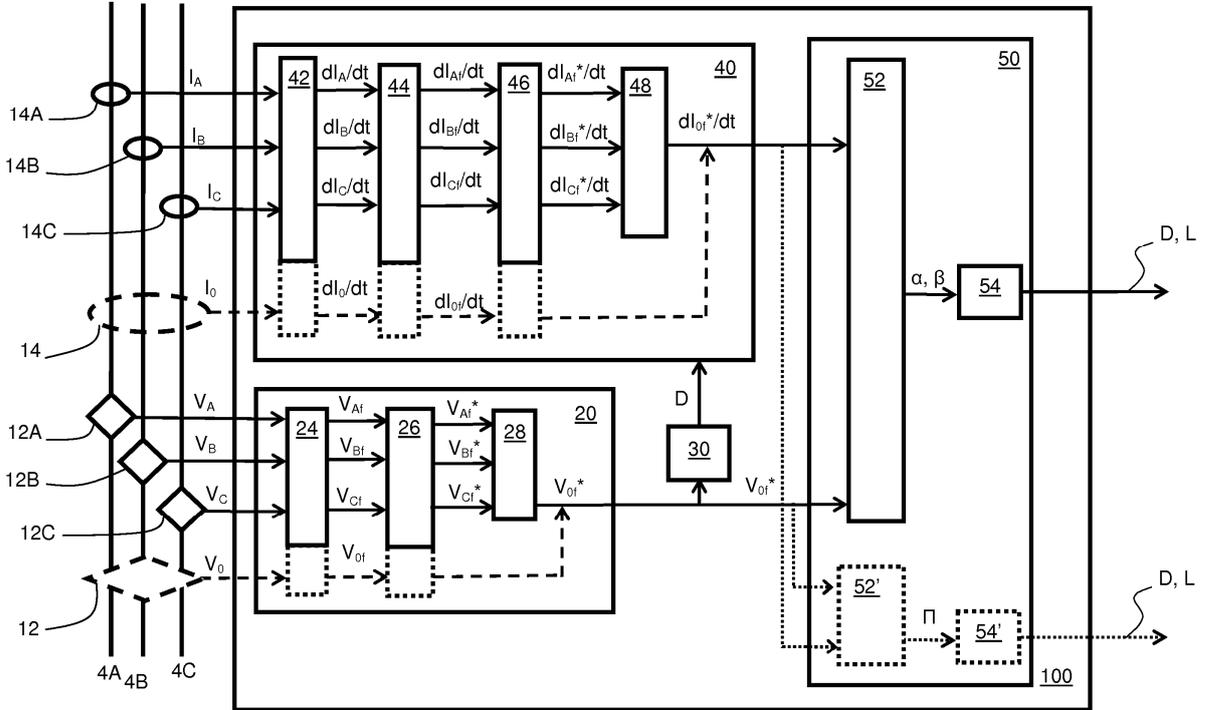


Fig.4