

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 876**

51 Int. Cl.:

H02H 3/16 (2006.01)

G01R 31/08 (2006.01)

H02H 3/38 (2006.01)

H02H 3/40 (2006.01)

G01R 25/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.09.2015 E 15187143 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.01.2018 EP 3001524**

54 Título: **Detección direccional de falla a tierra en una red de distribución eléctrica**

30 Prioridad:

29.09.2014 FR 1459194

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

04.04.2018

73 Titular/es:

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

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

72 Inventor/es:

**DROUERE, BERNARD y
MECREANT, JULIEN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 661 876 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 falla a tierra en una red de distribución eléctrica

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a la detección direccional de una falla a tierra en una red de distribución eléctrica. Tiene por objeto detectar una falla a tierra y determinar si la falla detectada está situada aguas arriba o aguas abajo del punto de detección.

Estado de la técnica anterior

- Concretamente, los dispositivos de detección de falla a tierra se utilizan en las redes de distribución eléctrica trifásicas.
- 10 El documento EP 0.591.011 propone un dispositivo de detección de fallas en una red subterránea de distribución de energía eléctrica. Este dispositivo efectúa una detección de variaciones transitorias de la corriente homopolar comparando el signo de la corriente homopolar con el de la tensión homopolar.
- Esta técnica demanda una elevada frecuencia de muestreo para garantizar una buena detección del sentido, en los primeros milisegundos que siguen a la aparición de la falla a tierra en las redes de neutro compensado, en los indicadores de paso de falla (IPF) aguas abajo de la falla.
- 15 El documento EP 0.845.846 propone un dispositivo de detección de fallas en las líneas de abastecimiento eléctrico. Este dispositivo compara el signo de los transitorios de tensión homopolar con el signo de la integral de los transitorios de corriente homopolar. Esta técnica demanda una elevada frecuencia de muestreo para garantizar una buena detección del sentido, en el primer cuarto de periodo que sigue a la aparición de la falla a tierra en las redes de neutro compensado, en los IPF aguas abajo de la falla.
- 20 El documento EP 2.624.397 propone un dispositivo de detección de la dirección de una falla (fase/tierra o entre fases) en una red eléctrica trifásica.
- Este dispositivo utiliza una suma acumulativa de vectores representativos de magnitudes eléctricas tales como la impedancia, admitancia, potencia o corriente, eventualmente representadas por sus componentes simétricas. Para las fallas de fase/tierra, se utiliza la componente homopolar de las magnitudes eléctricas, impedancia, admitancia, potencia, tensión y corriente. El vector está constituido ya sea por la TDF (Transformada Discreta de Fourier) de la componente fundamental, ya sea por la suma de las TDF de los armónicos.
- 25 La mayoría de los relés de protección utilizan las TDF de la corriente residual y de la tensión residual, a la frecuencia fundamental de la red, para realizar una proyección de la corriente residual sobre una tensión de polarización elaborada a partir de la tensión residual y de un ángulo característico, adaptado al régimen del neutro.
- 30 La parte real de la corriente proyectada se compara con un umbral Iso, negativo para las fallas aguas abajo del relé de protección y positivos para las fallas aguas arriba del relé de protección.
- Esta técnica demanda ya sea adaptar el ángulo característico al régimen de neutro, ya sea implementar tantas instancias como regímenes de neutro (compensado y/o aislado, como en Italia).
- 35 Cuando el ángulo característico es igual a 0° , la parte real de la proyección comúnmente se define como la corriente activa; cuando es igual a 90° , es la corriente reactiva.
- Esta técnica presenta el inconveniente de no asegurar el mantenimiento del bit instantáneo en el primer periodo de la red eléctrica (IR proyectada $>$ Iso), en las redes de neutro compensado y aislado, en los IPF aguas abajo de la falla.
- 40 El documento US 5.661.664 se refiere a la localización de la falla en una línea eléctrica, basándose en fasores de corriente y de tensión medidos en un extremo de la línea.
- El documento US 2010-301872 se refiere a la determinación de un valor de ajuste de un dispositivo de protección eléctrica. Esta determinación utiliza unos fasores de corriente y de tensión.
- El documento EP 2.533.060 se refiere a la detección de una falla a tierra en una red de distribución eléctrica.
- 45 El documento EP 2.306.609 se refiere a la detección de una falla a tierra y consta de la determinación de fasores de corriente y de tensión.

Descripción de la invención

La invención tiene por objeto resolver los problemas de la técnica anterior proporcionando un procedimiento de determinación direccional de una falla a tierra en una red de distribución eléctrica, que consta de las etapas de:

unos medios de determinación de un fasor de tensión residual, caracterizado porque consta de:

- 5 unos medios de determinación de una corriente activa mediante la proyección del fasor de corriente residual sobre el fasor de tensión residual,
- unos medios de determinación del módulo de fasor de tensión residual,
- unos medios de comparación del módulo de fasor de tensión residual con un umbral, y porque consta de los siguientes medios, adecuados para funcionar mientras el módulo de fasor de tensión residual permanezca superior al umbral o a una fracción del umbral y para un número predeterminado de iteraciones a partir del momento en el que el módulo de fasor de tensión residual es superior al umbral:
- 10 unos medios de determinación de la integral de la corriente activa y del signo de la integral de la corriente activa,
- unos medios de determinación del módulo del fasor de corriente residual,
- unos medios de determinación del número de veces en el que el módulo del fasor de corriente residual es superior a un umbral predeterminado, en el transcurso del número predeterminado de iteraciones,
- 15 unos medios de determinación de la localización aguas arriba o aguas abajo de la falla en función del número de veces en el que el signo de la integral de la corriente activa ha sido positivo o negativo en el transcurso del número predeterminado de iteraciones, si el módulo del fasor de corriente residual es superior al umbral predeterminado al menos una vez, en el transcurso del número predeterminado de iteraciones.

La invención también se refiere a un indicador de paso de falla a tierra caracterizado porque consta del dispositivo presentado anteriormente.

- 20 La invención también se refiere a un dispositivo de protección de una línea de corriente durante la aparición de una falla a tierra, caracterizado porque consta de medios de accionamiento de un dispositivo de corte de la línea sobre la que se ha detectado una falla a tierra mediante el dispositivo de determinación direccional de una falla a tierra presentado anteriormente.

- 25 El procedimiento de protección, el dispositivo de determinación, el indicador de paso de falla a tierra y el dispositivo de protección presentan unas ventajas análogas a las presentadas anteriormente.

En un modo de realización particular, las etapas del procedimiento según la invención se implementan mediante unas instrucciones de programa de ordenador.

- 30 En consecuencia, la invención también tiene por objeto un programa de ordenador sobre un soporte de información, siendo este programa susceptible de implementarse en un ordenador, constando este programa de instrucciones adaptadas para la implementación de las etapas de un procedimiento tal como el descrito antes.

Este programa puede utilizar cualquier lenguaje de programación y estar en forma de código fuente, código objeto o código intermedio entre código fuente y código objeto, tal como en una forma parcialmente compilada o, en cualquier otra forma deseable.

- 35 La invención también tiene por objeto un soporte de información legible por ordenador y que consta de instrucciones de programa informático adaptadas para la implementación de las etapas de un procedimiento tal como el que se ha descrito antes.

El soporte de información puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de almacenar el programa. Por ejemplo, el soporte puede constar de un medio de almacenamiento, tal como una ROM, por ejemplo, un CD ROM o una ROM de circuito microeléctrico o, incluso, un medio de grabación magnético, por ejemplo, un disquete o un disco duro.

- 40 Por otra parte, el soporte de información puede ser un soporte transmisible tal como una señal eléctrica u óptica, que puede transportarse mediante un cable eléctrico u óptico, por radio o por otros medios. El programa según la invención puede descargarse en particular de una red de tipo Internet.

Como alternativa, el soporte de información puede ser un circuito integrado en el que está incorporado el programa, estando el circuito adaptado para ejecutar o para utilizarse en la ejecución del procedimiento según la invención.

45 **Breve descripción de los dibujos**

Otras características y ventajas surgirán tras la lectura de la siguiente descripción de un modo de realización preferido aportado a modo de ejemplo no limitativo, descrito con referencia a las figuras, en las que:

- 50 la figura 1 representa unas redes de distribución eléctrica equipadas con dispositivos de detección direccional de falla a tierra, según la presente invención,
- la figura 2 representa un dispositivo de detección direccional de falla a tierra, según un modo de realización de la presente invención,
- la figura 3 representa un procedimiento de detección direccional de falla a tierra, según un modo de realización de la presente invención,
- la figura 4 representa un dispositivo de detección direccional de falla a tierra, según un modo de realización de la

presente invención.

Descripción detallada de modos de realización particulares

Según un modo de realización preferido representado en la **figura 1**, se implementan unos dispositivos 6 de detección direccional de falla a tierra en una primera red de distribución eléctrica de alta tensión 1.

5 La red de distribución eléctrica 1 consta de una fuente de tensión 2 conectada al primario de un transformador trifásico TR cuyo secundario puede constar de un conductor común de neutro generalmente conectado a tierra mediante una impedancia 3.

10 El secundario del transformador TR está conectado además a una línea principal de distribución 4 que alimenta un conjunto de m líneas de salida 4₁, 4₂, 4₃,...4_m que pueden constar respectivamente en cabecera de un disyuntor o de otro dispositivo de corte 5 que las protegeja.

15 Las líneas de salida 4₁, ..., 4_m están compuestas por unas líneas aéreas y/o cables subterráneos. Pueden estar sujetas a una variedad de fallas, que es importante detectar y localizar con el fin de paliar los problemas generados: disrupción de la alimentación, degradación del rendimiento de los materiales de aislamiento, sin contar la seguridad de las personas. De este modo, unos dispositivos de detección de falla 6 equipan las líneas de salida para servir de indicador de paso de falla. Los indicadores de paso de falla encienden, por ejemplo, una luz de aviso. Además, se puede asociar o integrar un dispositivo a un relé de protección adecuado para controlar la apertura de los contactos del disyuntor 5 de cada una de las líneas 4₁ a 4_m.

20 Un indicador de paso de cualquier falla 6 detecta fallas aguas arriba o aguas abajo con respecto al sentido de flujo de la energía con la convención receptora. Este sentido está simbolizado por una flecha situada al lado del indicador de paso de falla.

La red eléctrica 1 está conectada a una segunda red eléctrica que consta de unos elementos análogos. De este modo, la línea 4₁ está conectada a una línea de la segunda red eléctrica por medio de un interruptor 7₂. Asimismo, la línea 4_m está conectada a otra línea de la segunda red eléctrica por medio de un segundo interruptor 7₁.

25 La invención se aplica, por tanto, a redes de distribución eléctrica de múltiples fuentes, cuya impedancia de limitación a tierra está distribuida. Se trata de redes de distribución eléctrica con corte de arterias o formación de bucles.

Cabe destacar que la red de distribución eléctrica también puede estar conectada a un sitio industrial.

30 Con referencia a la **figura 2**, un dispositivo de detección direccional de falla a tierra 6 equipa las tres fases de una línea de la red de distribución eléctrica. A partir de las tres fases, unos sensores de corriente están conectados a un módulo 600 de determinación de faser de corriente residual \vec{I}_R . El faser de corriente residual se obtiene por medición directa, por ejemplo, mediante un toro homopolar o por suma de las medidas de las corrientes de fase IA, IB y IC.

35 De nuevo, a partir de las tres fases, unos sensores de tensión están conectados a un módulo 601 de determinación de faser de tensión residual \vec{V}_R . El faser de tensión residual se obtiene, por ejemplo, mediante la suma de las tres tensiones de fase-tierra VA, VB y VC. No es necesario que los sensores de tensión sean de gran precisión. Por ejemplo, es posible utilizar sensores denominados VPIS (por sus siglas en inglés de Voltage Presence Indicator System (Sistema Indicador de Presencia de Tensión)).

Por supuesto, estos cálculos implican una conversión analógico-digital, un filtrado y un muestreo de las mediciones. Estas operaciones son clásicas en sí mismas y ni se han representado ni se han descrito para simplificar la exposición.

40 Los siguientes cálculos se efectúan por ciclo, correspondiendo cada ciclo preferentemente a un cuarto de periodo de red.

Las salidas de los módulos 600 y 601 están conectadas a unas entradas de un módulo de cálculo 610.

La salida del módulo 601 de determinación de faser de tensión residual \vec{V}_R está también conectada a una entrada de un módulo de control de tensión 620.

45 La salida del módulo 600 de determinación de faser de corriente residual \vec{I}_R está también conectada a una entrada de un módulo de control de corriente 630.

El funcionamiento del módulo de cálculo 610, del módulo de control de tensión 620 y del módulo de control de corriente 630 es como sigue.

50 El módulo de control de tensión 620 consta de un submódulo 621 de determinación del módulo de faser de tensión residual \vec{V}_R conectado a un submódulo 622 de verificación si el módulo del faser de tensión residual \vec{V}_R es superior a un umbral UVR. El umbral UVR sirve para desencadenar los cálculos de detección de falla a tierra y para la

localización de la falla con respecto al dispositivo. De este modo, la ventana de observación para la detección de la falla está abierta para la tensión. El umbral UVR se selecciona, por ejemplo, entre 2 kV y 4 kV. Preferentemente, se toma en consideración una histéresis del 25 %. En ese caso, un submódulo 622a de verificación si el módulo de fasor de tensión residual \vec{VR} es superior a 0,75 veces el umbral UVR está conectado en paralelo al submódulo 622.

- 5 Como se verá, los cálculos se efectúan iterativamente. Durante un primer cálculo, se tiene en cuenta el umbral UVR. Para un número determinado de las siguientes iteraciones, después de que el módulo del fasor de tensión residual \vec{VR} sea superior al umbral UVR, el que se tiene en cuenta es el umbral 0,75 UVR y esto mientras el módulo del fasor de tensión residual \vec{VR} sea superior a 0,75 veces el umbral UVR.

- 10 Preferentemente, el número total de iteraciones de los cálculos, a partir del momento en el que el módulo del fasor de tensión residual \vec{VR} es superior al umbral UVR, es cinco. Mientras el módulo del fasor de tensión residual \vec{VR} sea superior a 0,75 veces el umbral UVR, las cinco iteraciones se encadenan. De lo contrario, el recuento de iteraciones vuelve a cero hasta que el módulo del fasor de tensión residual \vec{VR} sea de nuevo superior al umbral UVR.

Una iteración o ciclo, de cálculo se efectúa preferentemente todos los cuartos de periodo de red.

- 15 Por supuesto, es posible elegir otro coeficiente multiplicador, comprendido entre 0 y 1, del umbral UVR para tomar en cuenta la histéresis. También es posible no tomar en cuenta ninguna histéresis y considerar, por tanto, el umbral UVR para todas las iteraciones.

La salida del submódulo 622 y la salida del submódulo 622a están conectadas a un submódulo 640 del módulo 610, que se describe a continuación. Esta salidas activan el submódulo 640 cuando el módulo de fasor de tensión residual \vec{VR} es superior al umbral UVR o a 0,75 veces el umbral UVR, como se ha expuesto antes.

- 20 El módulo 610 consta en la entrada de un submódulo 611 de cálculo de la corriente *lactiva*, según la fórmula:

$$I_{lactiva} = \frac{\text{Real}(\overline{IR} \times \overline{VR})}{\|\overline{VR}\|}$$

La salida del submódulo 611 está conectada a la entrada de una memoria 612 de tipo FIFO de cinco valores, volviéndose a actualizar cada valor preferentemente cada cuarto de periodo de red. El resultado de este cálculo se memoriza en la memoria 612.

- 25 Las salidas del submódulo 611 y de la memoria 612 están conectadas al submódulo 640.

Cuando el módulo 620 activa el submódulo 640, este prosigue con el resto del tratamiento. Para ello, consta en la entrada de un submódulo 641 de cálculo de una variable denotada *Integral*, según las siguientes fórmulas:

- (1) $Integral = \sum I_{lactiva}$, para el primer paso
 (2) $Integral = Integral + I_{lactiva}$, para los siguientes cuatro pasos

- 30 Cabe destacar que para el primer paso, el cálculo de la variable *Integral* toma en cuenta los transitorios del periodo de red anteriores a la detección del módulo del fasor de tensión residual \vec{VR} como superior al umbral UVR.

La salida del submódulo 641 está conectada a la entrada de un submódulo 642 de cálculo de una variable $SD(k)$ que representa el sentido de la falla, según la siguiente fórmula:

$$SD(k) = \text{signo}(Integral)$$

- 35 La variable $SD(k)$ vale -1 si el signo de la variable *Integral* es negativo y vale 1 si es positivo. La variable k representa el número de iteraciones de cálculo a partir del momento en el que el módulo del fasor de tensión residual \vec{VR} es superior al umbral UVR. La variable k varía, por tanto, entre 1 y 5, según el modo de realización descrito.

- 40 La salida del submódulo 642 está conectada a la entrada de una memoria 643 de tipo FIFO de cinco valores, volviéndose a actualizar cada valor preferentemente cada cuarto de periodo de red. La variable $SD(k)$ calculada anteriormente se memoriza en la memoria 643.

La salida de la memoria 643 está conectada a la entrada de un submódulo 644 que se describe a continuación.

El módulo de control de corriente 630 recibe los valores del fasor de corriente residual \vec{IR} y consta de un submódulo 631 de cálculo de una variable binaria *IRválida*, según la fórmula:

$$IR_{válida} = \mathbb{1}_{\{\|\vec{IR}\| > UIR\}}$$

- 45 Donde UIR es un umbral de corriente.

Esta fórmula significa que la variable binaria *IRválida* vale 1 si se supera el umbral UIR y de lo contrario es 0.

La variable *IRválida* se inicializa con el valor 0 antes de cualquier cálculo y cuando el módulo del fasor de tensión residual se vuelve inferior a 0,75 veces el umbral UVR.

La detección de la falla se valida si el módulo del fasor de la corriente residual es superior al umbral UIR, al menos una vez en el transcurso de las cinco iteraciones. El umbral UIR se selecciona, por ejemplo, entre 1 A y 5 A.

- 5 La salida del submódulo 631 está conectada a la entrada de una memoria 632 de tipo FIFO de cinco valores, volviéndose a actualizar cada valor cada cuarto de periodo de red. La variable *IRválida* calculada anteriormente se memoriza en la memoria 632.

10 La salida de la memoria 632 está conectada a la entrada de un submódulo 633 de cálculo de una variable *ValidaciónIR* que es significativa de una detección efectiva de una corriente de falla en el transcurso de los cinco últimos ciclos, según la fórmula:

$$ValidaciónIR = \sum_{i=1}^5 IRválida$$

La variable *ValidaciónIR* es la suma de las variables *IRválida* calculadas en los cinco últimos ciclos.

La salida del submódulo 633 está conectada a la entrada de un submódulo 634 de comparación de la variable *ValidaciónIR* con cero.

- 15 Si la variable *ValidaciónIR* es estrictamente positiva, entonces el submódulo 634 transmite una orden de activación al submódulo 644.

El submódulo 644 calcula la suma de las variables *SD(k)* calculadas y memorizadas en los cinco últimos ciclos. El submódulo 644 efectúa una prueba en cada suma para determinar si es superior o igual a 3 o si es inferior o igual a -3, para determinar una información de localización L de falla a tierra.

- 20 Cuando la suma es superior o igual a 3, entonces el submódulo 644 suministra una información indicando que la falla está aguas abajo del dispositivo.

Cuando la suma es inferior o igual a -3, entonces el submódulo 644 suministra una información indicando que la falla está aguas arriba del dispositivo.

- 25 Cabe destacar que, en estos dos casos anteriores, una información de detección D está implícitamente asociada con la información de localización L.

En los demás casos, el submódulo 644 no suministra ninguna información de localización de falla a tierra.

La determinación del sentido de la falla a tierra se efectúa en cinco ciclos separados por un cuarto de periodo de red, por lo tanto, solamente en el primer periodo de la red eléctrica que sigue a la aparición de la falla.

- 30 Por supuesto, es posible seleccionar otro número de ciclos y otra frecuencia de realización de los ciclos de cálculo y asegurarse, preferentemente, de que la determinación se efectúa en el periodo de la red eléctrica que sigue a la aparición de la falla. De manera general, un periodo de red se recorta en (C-1) ciclos, siendo C preferentemente impar. El número de iteraciones es C y se memorizan C valores en las diferentes memorias 612, 632 y 643. El cálculo sumatorio del submódulo 633 se efectúa sobre C valores. El cálculo sumatorio del submódulo 641 se efectúa sobre C valores. La prueba efectuada por el submódulo 644 se hace con respecto al entero superior a C/2.

- 35 Cuando se ha detectado una falla a tierra en una de las líneas 4₁ a 4_m, se controla el dispositivo de corte 5 de la línea afectada para que se abra.

Con referencia a la **figura 3**, un procedimiento de detección direccional de falla a tierra implementado en el dispositivo descrito anteriormente consta de las etapas E1 a E16, para el modo de realización preferente que consta de cinco ciclos de un cuarto de periodo de red.

- 40 La etapa E1 es la medición de las tres corrientes de fase IA, IB e IC y de las tres tensiones fase-tierra VA, VB y VC.

La siguiente etapa E2 es la determinación del fasor de corriente residual \vec{IR} y la determinación del fasor de tensión residual \vec{VR} .

La siguiente etapa E3 es el cálculo de la corriente *Iactiva*, según la fórmula:

$$Iactiva = \frac{Real(\vec{IR} \times \vec{VR}^*)}{\|\vec{VR}\|}$$

- 45 La siguiente etapa E4 es la memorización del resultado de este cálculo en la memoria 612 de tipo FIFO de cinco valores, volviéndose a actualizar cada valor cada cuarto de periodo de red.

La siguiente etapa E5 es la determinación de la variable binaria *IRválida*, según la fórmula:

$$IRválida = (|\overline{IR}| > UIR)$$

Donde UIR es un umbral de corriente.

La variable binaria *IRválida* vale 1 si se supera el umbral UIR y de lo contrario es 0.

- 5 En la etapa E5, la variable binaria *IRválida* previamente calculada se memoriza en la memoria 632 de tipo FIFO de cinco valores, volviéndose a actualizar cada valor cada cuarto de periodo de red.

La detección del defecto se valida si el módulo del fasor de la corriente residual es superior al umbral, al menos una vez en el transcurso de las cinco iteraciones. El umbral UIR se selecciona, por ejemplo, entre 1 A y 5 A.

- 10 A la etapa E5 le sigue la etapa E6, que es una prueba para determinar si una variable de estado *FVR* vale 0. La variable de estado *FVR* adopta el valor 0 o 1. La variable de estado *FVR* se inicializa con el valor 0 antes de la etapa E1.

Si la variable de estado *FVR* vale 0, a la etapa E6 le sigue la etapa E7 en la que se calcula y compara el módulo del fasor de tensión residual con el umbral UVR.

- 15 Si el módulo del fasor de tensión residual es inferior o igual al umbral UVR, entonces a la etapa E7 le sigue la etapa E1 descrita anteriormente.

Si el módulo del fasor de tensión residual es superior al umbral UVR, entonces a la etapa E7 le sigue la etapa E8 en la que la variable de estado *FVR* se pone al valor 1 para indicar dicha superación del umbral.

A la etapa E8 le sigue la etapa E9, en la que se calcula la variable denotada *Integral*, según la siguiente fórmula:

$$Integral = \sum_1^5 Iactiva$$

- 20 En la etapa E9, la variable *k* se inicializa a 1 y la variable *SD(k)* se pone a un valor que representa el signo de la variable *Integral* que acaba de calcularse. La variable *SD(k)* representa la localización de la falla. La variable *k* representa el número de iteraciones de cálculo a partir del momento en el que el módulo del fasor de tensión residual \overline{VR} es superior al umbral UVR. La variable *k* varía, por tanto, entre 1 y 5, según el modo de realización descrito.

- 25 A la etapa E9 le sigue la etapa E1 descrita anteriormente.

En la etapa E6, si la variable de estado *FVR* no vale 0, eso significa que ya se han recorrido las etapas E7 a E9. A la etapa E6 le sigue entonces la etapa E10 en la que se compara el módulo del fasor de tensión residual con 0,75 veces el umbral UVR, para tener en cuenta un fenómeno de histéresis. Por supuesto, es posible elegir otro coeficiente multiplicador entre 0 y 1 del umbral UVR donde es posible no aplicar ningún coeficiente multiplicador al umbral UVR.

- 30

Si el módulo del fasor de tensión residual es inferior o igual a 0,75 veces el umbral UVR, entonces se termina el tratamiento. A la etapa E10 le sigue la etapa E11 en la que la variable *FVR* se pone al valor 0.

A la etapa E11 le sigue la etapa E1 descrita anteriormente.

- 35 En la etapa E10, si el módulo del fasor de tensión residual es superior a 0,75 veces el umbral UVR, entonces a la etapa E10 le sigue la etapa E12 en la que se actualiza la variable *Integral*, según la siguiente fórmula:

$$Integral = Integral + Iactiva$$

En la etapa E12, se aumenta en 1 la variable *k* y se pone la variable *SD(k)* en un valor que representa el signo de la variable *Integral* que acaba de calcularse. La variable *SD(k)* representa la localización de la falla.

A la etapa E12 le sigue la etapa E13 que es una prueba para determinar si la variable *k* es superior o igual a 5.

- 40 Cuando la respuesta es negativa, significa que se han efectuado menos de cinco iteraciones desde una primera superación del umbral UVR constatada en la etapa E7. A la etapa E13 le sigue entonces la etapa E1 descrita anteriormente.

- 45 Cuando la respuesta es positiva en la etapa E13, significa que se han efectuado cinco iteraciones desde una primera superación del umbral UVR constatada en la etapa E7. A la etapa E13 le sigue entonces la etapa E14 que consiste en el cálculo de la variable *ValidaciónIR* que es significativa de una detección efectiva de una corriente de falla en el transcurso de los cinco últimos ciclos, según la fórmula:

$$\text{ValidaciónIR} = \sum_{5} \text{IRválida}$$

La variable *ValidaciónIR* es la suma de las variables *IRválida* calculadas en los cinco últimos ciclos.

A la etapa E14 le sigue la etapa E15 que es una prueba para determinar si la variable *ValidaciónIR* es superior a 0.

5 Cuando la respuesta es negativa, significa que no se ha detectado una corriente de falla en los últimos cinco ciclos. A la etapa E15 le sigue entonces la etapa E1 descrita anteriormente.

10 Cuando la respuesta es positiva en la etapa E15, significa que se ha detectado una corriente de falla en los cinco últimos ciclos. A la etapa E15 le sigue entonces la etapa E16 que es un cálculo de la suma de las variables *SD(k)* calculadas y memorizadas en los cinco últimos ciclos. La etapa E16 consta, a continuación, de una prueba sobre esta suma para determinar si es superior o igual a 3 o si es inferior o igual a -3, para determinar una información de localización de falla a tierra.

Cuando la suma es superior o igual a 3, entonces la etapa E16 suministra una información indicando que la falla está aguas abajo del dispositivo.

Cuando la suma es inferior o igual a -3, entonces la etapa E16 suministra una información indicando que la falla está aguas arriba del dispositivo.

15 Cabe destacar que, en estos dos casos anteriores, una información de detección está implícitamente asociada con la información de localización.

En los demás casos, la etapa E16 no suministra ninguna información de localización de falla a tierra.

20 En el ejemplo descrito, la determinación del sentido de la falla a tierra se efectúa en cinco ciclos separados por un cuarto de periodo de red, por lo tanto, solamente en el primer periodo de la red eléctrica que sigue a la aparición de la falla.

Como se ha expuesto anteriormente, es posible seleccionar otro número de ciclos y otra frecuencia de realización de los ciclos de cálculo y asegurarse, preferentemente, de que la determinación se efectúa en el periodo de la red eléctrica que sigue a la aparición de la falla.

25 Cuando se ha detectado una falla a tierra en una de las líneas 4₁ a 4_m, se controla el dispositivo de corte 5 de la línea afectada para que se abra.

La **figura 4** representa un modo de realización particular del dispositivo según la invención.

30 El dispositivo 6 tiene la estructura general de un ordenador. Consta, en concreto, de un procesador 100 que ejecuta un programa informático que implementa el procedimiento según la invención, de una memoria 101, de una interfaz de entrada 102 y de una interfaz de salida 103 para suministrar la información de detección de falla y de localización de falla a tierra.

Estos elementos diferentes normalmente están conectados por un bus.

La interfaz de entrada 102 está destinada a recibir los valores de corriente y de tensión medidas.

35 El procesador 100 ejecuta los tratamientos expuestos anteriormente con referencia a la figura 3. Estos tratamientos se realizan en forma de instrucción de código de programa informático que son memorizados por la memoria 101 antes de ser ejecutados por el procesador 100.

La memoria 101 puede además memorizar los resultados de los tratamientos efectuados.

La interfaz de salida 103 puede constar de una interfaz de usuario para suministrarle la información relativa a la falla detectada.

40

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de determinación direccional de una falla a tierra en una red de distribución eléctrica, que consta de las etapas de:

5 determinación (E2) de un fasor de corriente residual,
 determinación (E2) de un fasor de tensión residual,
caracterizado porque consta de las etapas de:

determinación (E3) de una corriente activa por proyección del fasor de corriente residual sobre el fasor de tensión residual,
 10 determinación (E7) del módulo de fasor de tensión residual,
 comparación (E7) del módulo de fasor de tensión residual con un umbral (UVR),
 y **porque** consta de las siguientes etapas, mientras el módulo de fasor de tensión residual permanezca superior al umbral (UVR) o a una fracción del umbral (UVR), y para un número predeterminado de iteraciones a partir del momento en el que el módulo de fasor de tensión residual es superior al umbral (UVR):

15 determinación (E9, E12) de la integral de la corriente activa y del signo de la integral de la corriente activa,
 determinación (E5) del módulo del fasor de corriente residual,
 determinación del número de veces que el módulo del fasor de corriente residual es superior a un umbral predeterminado (UIR), en el transcurso del número predeterminado de iteraciones,
 si el módulo del fasor de corriente residual es superior al umbral predeterminado (UIR) al menos una vez, en el transcurso del número predeterminado de iteraciones,
 20 determinación (E16) de la localización aguas arriba o aguas abajo de la falla en función del número de veces en el que el signo de la integral de la corriente activa ha sido positivo o negativo en el transcurso del número predeterminado de iteraciones.

2. Procedimiento de determinación direccional de una falla a tierra según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el número y la frecuencia de las iteraciones se eligen de manera que las iteraciones se efectúan en un periodo de red.
 25

3. Procedimiento de determinación direccional de una falla a tierra según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** la corriente activa se calcula según la fórmula:

$$I_{activa} = \frac{\text{Real}(\overline{IR} \times \overline{VR})}{\|\overline{VR}\|}$$

30 en la que \overline{VR} representa el fasor de tensión residual, $\|\overline{VR}\|$ el módulo del fasor de tensión residual e \overline{IR} el fasor de corriente residual.

4. Procedimiento de determinación direccional de una falla a tierra según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la integral de la corriente activa se calcula sumando los valores de corrientes activas un número de veces igual al número predeterminado de iteraciones.

5. Procedimiento de protección de una línea de corriente durante la aparición de una falla a tierra, **caracterizado porque** consta del accionamiento de un dispositivo de corte de la línea sobre la que una falla a tierra ha sido detectada mediante el procedimiento de determinación direccional de una falla a tierra según una de las reivindicaciones 1 a 4.
 35

6. Dispositivo de determinación direccional de una falla a tierra en una red de distribución eléctrica, que consta de:

40 unos medios (600) de determinación de un fasor de corriente residual,
 unos medios (601) de determinación de un fasor de tensión residual,
caracterizado porque consta de:

unos medios (611) de determinación de una corriente activa mediante la proyección del fasor de corriente residual sobre el fasor de tensión residual,
 unos medios (621) de determinación del módulo de fasor de tensión residual,
 45 unos medios (622, 622a) de comparación del módulo de fasor de tensión residual con un umbral (UVR),
 y **porque** consta de los siguientes medios, adecuados para funcionar mientras el módulo de fasor de tensión residual permanezca superior al umbral (UVR) o a una fracción del umbral (UVR), y para un número predeterminado de iteraciones a partir del momento en el que el módulo de fasor de tensión residual es superior al umbral (UVR):

50 unos medios (641) de determinación de la integral de la corriente activa y del signo de la integral de la corriente activa,
 unos medios (631) de determinación del módulo del fasor de corriente residual,

- unos medios (631) de determinación del número de veces en el que el módulo del fasor de corriente residual es superior a un umbral predeterminado (UIR), en el transcurso del número predeterminado de iteraciones,
- 5 unos medios (644) de determinación de la localización aguas arriba o aguas abajo de la falla en función del número de veces en el que el signo de la integral de la corriente activa ha sido positivo o negativo en el transcurso del número predeterminado de iteraciones, si el módulo del fasor de corriente residual es superior al umbral predeterminado (UIR) al menos una vez, en el transcurso del número predeterminado de iteraciones.
7. Indicador de paso de falla a tierra **caracterizado porque** consta del dispositivo de determinación direccional de una falla a tierra según la reivindicación 6.
- 10 8. Dispositivo de protección de una línea de corriente durante la aparición de una falla a tierra, **caracterizado porque** consta de medios de accionamiento de un dispositivo de corte de la línea sobre la que una falla a tierra ha sido detectada mediante el dispositivo de determinación direccional de una falla a tierra según la reivindicación 6.
9. Programa de ordenador que consta de instrucciones para la ejecución de las etapas del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 cuando dicho programa es ejecutado por un ordenador.
- 15 10. Soporte de grabación legible por un ordenador en el que está grabado un programa de ordenador que comprende unas instrucciones para la ejecución de las etapas del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

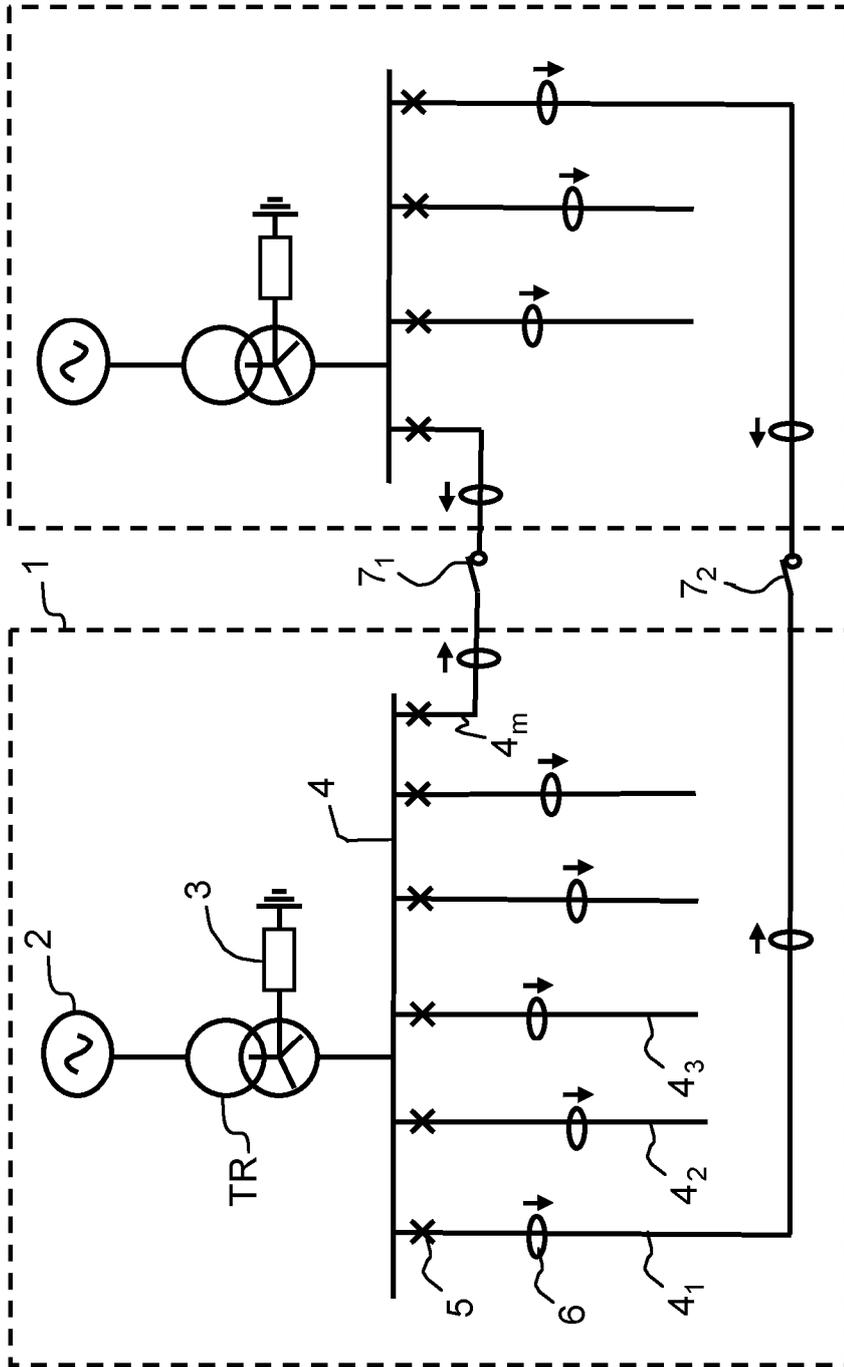


FIG. 1

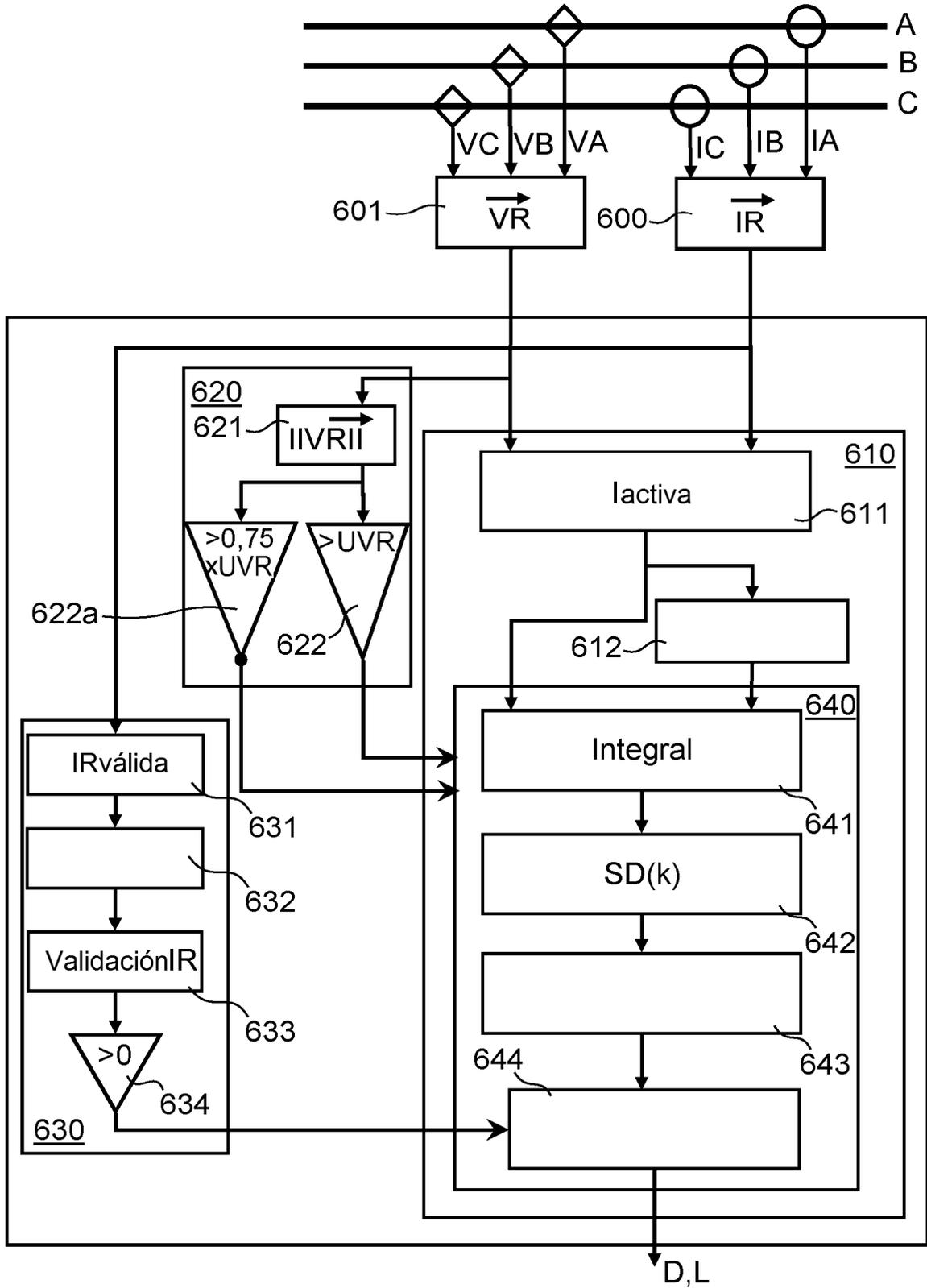


FIG. 2

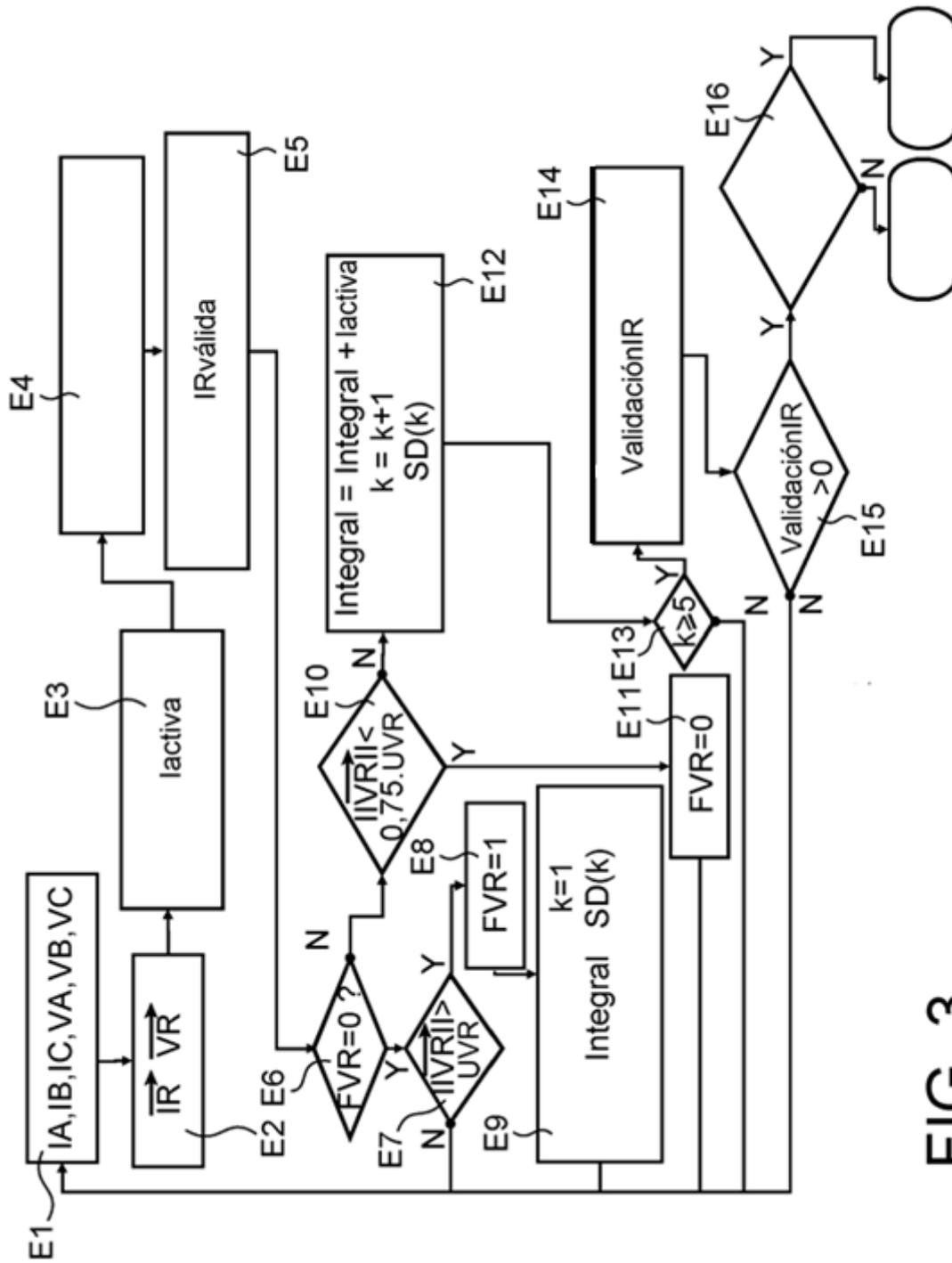


FIG. 3

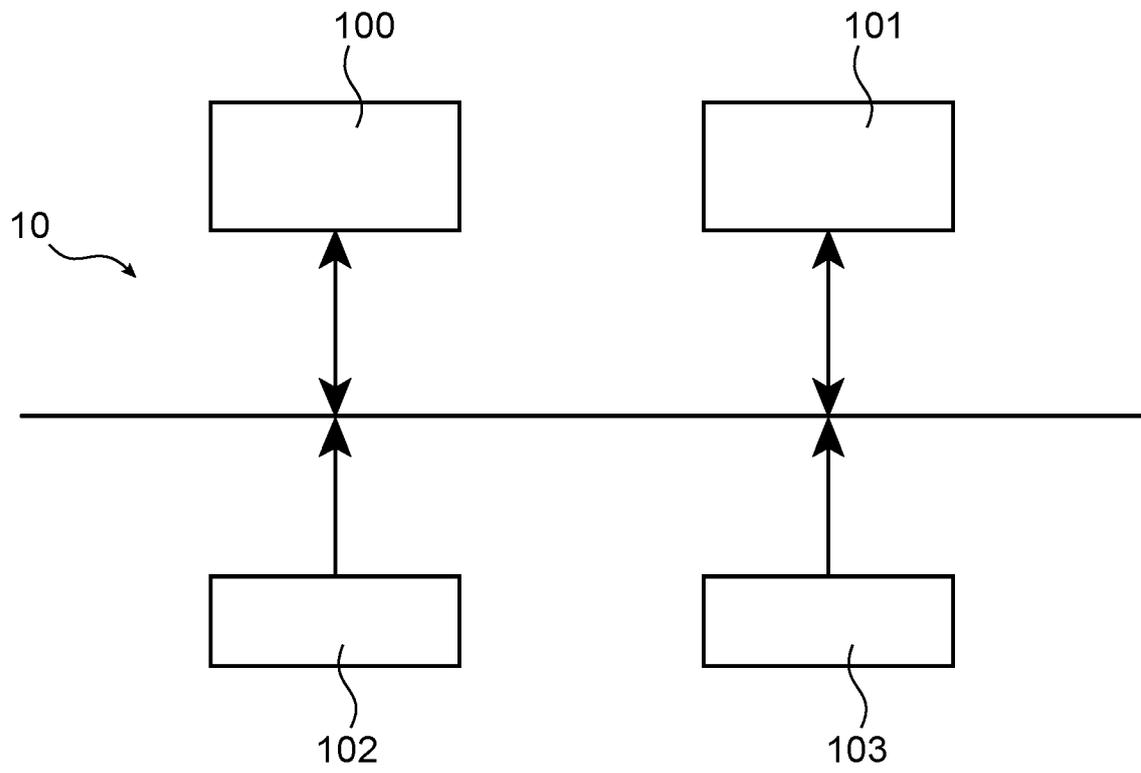


FIG. 4