



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 497**

51 Int. Cl.:  
**H02H 3/33** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03772419 .2**

96 Fecha de presentación : **10.11.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1561267**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.08.2005**

54 Título: **Dispositivos de corriente residual.**

30 Prioridad: **08.11.2002 GB 0226111**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**06.06.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**06.06.2011**

73 Titular/es: **EATON ELECTRIC LIMITED**  
**P.O. Box 554 Abbey Park Southampton Road**  
**Titchfield Hampshire PO14 9ED, GB**

72 Inventor/es: **Jackson, Jonathan Keith y**  
**Williams, Andrew**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 360 497 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

## Dispositivos de corriente residual

La presente invención se refiere a dispositivos de corriente residual (RCDs). Más específicamente, se refiere a RCDs que tienen una función de comprobación, que cuando es accionada, hace que el dispositivo se desconecte.

5 Los RCDs se instalan para proteger contra ciertas situaciones peligrosas potenciales que surgen en instalaciones de suministro eléctrico. Tal como se muestra en la Figura 1, una instalación 10 de suministro eléctrico tiene un número de conductores 11 (típicamente, los conductores neutro y de fase para suministros A.C. de una única fase y tres conductores de fase o tres fases y un neutro para suministros A.C. de tres fases). Los conductores 11 se conectan a un circuito 12 de carga (por ejemplo, una red circular doméstica a la que se conectan los aparatos). Un RCD 13 conocido funciona desconectando el suministro del circuito 12 de carga cuando se detecta un desequilibrio en la corriente que fluye en los conductores 11. Este desequilibrio es debido a la corriente que fluye a tierra, indicando, por ejemplo, un mal aislamiento o una electrocución de una persona.

10 El RCD 13 tiene un transformador 4 de corriente que consiste en un núcleo magnético toroidal que rodea los conductores 11. Una bobina de detección (no mostrada) está enrollada alrededor del núcleo, de manera que cualquier desequilibrio en la corriente que fluye en los conductores 11 causa la inducción de una corriente 5 de señal de detección en la bobina de detección, cuya corriente es proporcional al desequilibrio de corriente. Un circuito 6 electrónico de procesamiento de señal analiza la corriente 5 de señal de detección para determinar si el desequilibrio de corriente es igual o superior a un valor umbral de desconexión pre-fijado, indicativo de una situación potencialmente peligrosa en el circuito de suministro. A continuación, el dispositivo desconecta el circuito, proporcionando energía a un accionador 17, para accionar un conmutador 18, para aislar el suministro del circuito 12 de carga.

15 Los dispositivos RCD deben estar equipados con un botón de comprobación. Al presionar el botón, hace que el dispositivo se desconecte, lo que permite a una persona comprobar satisfactoriamente el funcionamiento del dispositivo. La activación del botón de comprobación cierra un contacto, que causa que un circuito de comprobación introduzca una señal para simular una corriente residual, de manera que todo el camino de señal desde el sensor al conmutador está incluido en la comprobación. Esto puede conseguirse mediante el circuito mostrado en la Figura 2. Parte de la corriente en uno de los conductores 21a de los conductores de fase y neutro, 21a, 21b, de suministro fluye a través de una resistencia 22, de manera que circunvala el transformador 4 de corriente, cuando un botón de comprobación es presionado para cerrar un contacto 24. Hay muchas desventajas con este enfoque. Primero, se requiere la conexión del circuito de comprobación a los conductores 21a, 21b de la red, lo cual puede ser mecánicamente poco práctico, dentro de los dispositivos RCD. Segundo, la corriente residual aparente producida depende del voltaje y depende también de la tolerancia y la estabilidad de la resistencia 22. En la práctica, se inducen corrientes mucho mayores que el valor de umbral de desconexión, de manera que se garantice la desconexión (típicamente, dos veces y media, y, en algunos casos, hasta cinco veces, el valor nominal de desconexión). Esto comprueba que el dispositivo funcionará, pero no que funcionará necesariamente al valor nominal de desconexión. Tercero, no se tiene en cuenta ninguna corriente residual permanente existente ya en el circuito. En la comprobación, el dispositivo simplemente añade la corriente residual de comprobación a cualquier corriente residual permanente ya presente. De nuevo, esto significa que la comprobación no se realiza al valor nominal de desconexión.

20 Pueden surgir también los problemas adicionales siguientes. Si el dispositivo falla al desconectar, por cualquier razón, cuando se presiona el botón, y el botón se mantiene presionado, la resistencia 22 puede calentarse y quemarse rápidamente. El dispositivo puede estar sometido a variaciones de voltaje en el suministro. Al igual que afectan a la exactitud de la comprobación, los pulsos de alto voltaje que pueden ocurrir entre los conductores de fase y neutro, 21a, 21b, pueden generar un arco en el contacto 24. Los RCDs se fabrican con diferente valor umbral nominal de desconexión, y así, la resistencia 22 debe ser cambiada para adecuarla al valor umbral, lo cual es inconveniente para la producción.

25 Otro procedimiento conocido para implementar la función de comprobación se muestra en la Figura 3. Se introduce un campo magnético en un núcleo 33 del transformador 4 de corriente. Se proporciona un segundo bobinado 31 en el núcleo 33 del transformador. El bobinado es colocado en serie con una resistencia 35, en un circuito de comprobación, entre el conductor 21a de fase y el conductor 21b neutro. Cuando se presiona el botón 23 de comprobación, un contacto 34 cierra el circuito y una corriente de señal de comprobación fluye a través del segundo bobinado 31. Esto inducirá una corriente en la bobina 32 de detección. Típicamente, la corriente de señal de comprobación es mucho menor que la corriente de señal de detección requerida para desconectar el dispositivo, debido a la ganancia de corriente en el transformador 4. Un bobinado de 100 vueltas significa que solo se requiere 1/100 de la corriente de umbral de desconexión para producir una corriente residual aparente suficiente para causar una desconexión. Este procedimiento reduce el problema del calentamiento de la resistencia, pero no supera la mayoría de las desventajas del procedimiento anterior, tal como la conexión al suministro de voltaje, la inexactitud debida a la corriente residual permanente, el valor nominal del contacto de alto voltaje y la estabilidad y la tolerancia de la resistencia.

Otro problema asociado con los transformadores de corriente es el de la remanencia.

Este es un efecto en el que el material magnético que forma el núcleo del transformador se magnetiza. Esto reduce efectivamente su permeabilidad y previene que el mismo transporte un flujo magnético adicional. A continuación, el efecto de acoplamiento del transformador se pierde o se reduce, efectivamente, y el dispositivo se vuelve insensible. La magnetización puede ocurrir cuando fluyen fuertes corrientes de pérdida y son interrumpidas, cuando están en su valor pico, por el mecanismo de desconexión, dejando una magnetización remanente. Cuando ocurre esto y el dispositivo es reiniciado subsiguientemente, la insensibilidad debida a la remanencia significa que el dispositivo puede ser reiniciado cuando todavía hay presente un defecto en el circuito de suministro.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un RCD que solucione sustancialmente estos problemas.

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo de corriente residual (RCD), según se define en la reivindicación 1. En una realización, el dispositivo está destinado a desconectar un suministro eléctrico de un circuito a proteger, cuando un desequilibrio de corriente residual en el circuito excede un valor umbral nominal predeterminado, comprendiendo el RCD:

medios de detección para generar una señal de desequilibrio, representativa del desequilibrio de corriente residual en el circuito;

medios de desconexión, destinados a desconectar el dispositivo de corriente residual cuando la señal de desequilibrio excede el valor umbral nominal predeterminado, de manera que desconectan el suministro eléctrico del circuito; y

medios de comprobación, para incrementar la señal de desequilibrio a un nivel que se corresponde sustancialmente con el valor umbral nominal predeterminado, por lo que una desconexión a dicho valor nominal indica una comprobación exitosa.

Supone una ventaja el que el dispositivo pueda ser comprobado para ver si el RCD se desconecta o no, en o cerca, del valor nominal. Es decir, una comprobación exitosa indica que el dispositivo está operativo para desconectarse en el valor umbral nominal deseado. Una comprobación no exitosa es una en la que el dispositivo se desconecta cuando la señal de desequilibrio está por debajo o por encima del valor umbral, indicando esta condición que el dispositivo no está funcionando a su valor nominal. Por lo tanto, la comprobación es más rigurosa y precisa que la comprobación provista en los dispositivos de la técnica anterior.

Los medios de detección pueden estar operativos para medir una cantidad de cualquier desequilibrio de corriente residual en el circuito.

Los medios de comprobación pueden estar operativos para calcular un valor de diferencia correspondiente a la diferencia entre el desequilibrio de corriente residual medido y el valor umbral nominal predeterminado. El valor de diferencia puede ser aplicado de manera que el incremento en la señal de desequilibrio sea sustancialmente instantáneo. Como alternativa, los medios de detección pueden estar operativos para aumentar en rampa o incrementar progresivamente la señal de desequilibrio, desde un valor cero o un valor bajo al valor umbral predeterminado. Esta alternativa permite determinar el nivel de desequilibrio de corriente en el cual se desconecta el dispositivo. Esto permite, ventajosamente, comprobar si el dispositivo se desconecta a un nivel que es inferior al valor umbral predeterminado.

En realizaciones de la invención, los medios de comprobación introducen efectivamente un desequilibrio de corriente residual de simulación en el dispositivo, de manera que los medios de detección detectan la suma de cualquier desequilibrio de corriente residual en el circuito que está siendo protegido y la corriente residual simulada.

En una realización preferente, los medios de detección comprenden un transformador de corriente que tiene una bobina de detección, siendo la señal de desequilibrio una corriente de detección de desequilibrio inducida en la bobina de detección. Los medios para incrementar la señal de desequilibrio pueden incluir una bobina de detección, en la que una corriente de comprobación aplicada a la bobina de comprobación está operativa para introducir el desequilibrio de corriente de simulación en la forma de un campo magnético en el transformador, induciendo, de esta manera, el incremento en la corriente de detección de desequilibrio en la bobina de detección.

Los medios de detección pueden estar acoplados a un procesador que supervisa la señal de desequilibrio y determina el desequilibrio de corriente de simulación requerido para incrementar la señal de desequilibrio a un nivel que corresponda al valor nominal. Representa una ventaja el que, si el procesador detecta un desequilibrio de corriente por debajo del valor de desconexión nominal (un desequilibrio de corriente permanente), entonces determina cuanto incrementar la señal de desequilibrio para alcanzar el nivel que corresponde al valor de desconexión nominal, y proporciona, de esta manera, una comprobación más exacta que los dispositivos de la técnica anterior.

El procesador puede incluir un convertidor analógico digital (ADC) para convertir la señal de desequilibrio de corriente a una forma digital, una unidad micro-controladora (MCU) para procesar la señal digital y para proporcionar

una señal digital de salida, y un convertidor digital analógico (DAC) para convertir la señal digital de salida a una señal analógica de comprobación. El procesamiento digital permite la generación de una corriente de comprobación que tiene un patrón de forma de onda y fase apropiado para proporcionar la suma requerida.

5 Una ventaja de la sintetización de una forma de onda para la simulación de un desequilibrio de corriente directamente desde el procesador, es que es independiente del suministro eléctrico y de cualquier variación del mismo. Una ventaja adicional es que la forma de onda puede ser sintetizada por el procesador en base a la corriente residual permanente, determinada a partir de la señal de desequilibrio. Esto significa que independientemente de la forma de onda, el ángulo de fase o la frecuencia que tenga la corriente residual permanente, el procesador puede sintetizar una forma de onda de desequilibrio de corriente de simulación, que, cuando es sumada a la forma de onda de corriente residual permanente, garantiza que el dispositivo es comprobado para el valor nominal.

10 Preferentemente, el procesador es un circuito integrado en el RCD. Un circuito integrado es un procesador efectivo, de bajo coste, eficiente en cuanto a espacio, que es simple de montar en un RCD.

Según un aspecto relacionado, que no forma parte de la presente invención, se proporciona un dispositivo de corriente residual (RCD) que comprende:

15 un transformador de corriente para generar una corriente de detección de desequilibrio en una bobina de detección, en respuesta a un desequilibrio de corriente en un suministro eléctrico; y

una bobina desmagnetizadora, para eliminar sustancialmente la remanencia en el transformador de corriente, mediante la aplicación de una señal desmagnetizadora a la bobina desmagnetizadora.

20 La bobina desmagnetizadora puede ser combinada con una bobina de comprobación que forma parte de un medio de comprobación en un dispositivo según el primer aspecto de la presente invención, según se ha definido anteriormente.

25 La desmagnetización es un procedimiento de eliminación de un campo magnético remanente, alimentando el núcleo del transformador con un campo alterno que decrece en amplitud durante varios ciclos. Eliminación de remanencia significa que un dispositivo, que ha sido insensibilizado debido a un campo magnético remanente en el núcleo del transformador, puede ser resensibilizado y, de esta manera, puede restablecerse la sensibilidad del dispositivo, de manera que continuará funcionando en la manera requerida. Al desmagnetizar para eliminar la remanencia, el dispositivo puede ser reiniciado después de una desconexión, garantizando que el dispositivo se desconectará de nuevo dentro de un corto espacio de tiempo si el circuito todavía tiene un defecto.

30 La señal de desmagnetización puede ser aplicada a la bobina de desmagnetización bajo el control de un procesador. El procesador puede estar configurado para aplicar el campo alterno decreciente a una frecuencia alta, de manera que la señal de desmagnetización no pueda ser detectada por el sistema de detección de corriente residual del RCD. Esto garantiza que la desmagnetización se consigue en un tiempo muy corto y que la remanencia es eliminada rápidamente cuando se reinicia el RCD. El RCD debe ser capaz de desconectarse dentro de un número de ciclos especificado del suministro A.C y, por lo tanto, la señal de desmagnetización de alta frecuencia garantiza que la remanencia es eliminada en menos ciclos que el número de ciclos especificado. La desmagnetización de alta frecuencia permite también que el procesador sea configurado para controlar la desmagnetización durante el funcionamiento normal.

Ahora, se describirán las realizaciones de la invención, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

40 La Figura 1 es un diagrama de circuito esquemático de una instalación eléctrica conocida, que tiene un RCD conocido, tal como se ha descrito anteriormente, en la presente memoria;

La Figura 2 es un diagrama de circuito esquemático de un circuito de comprobación conocido para un RCD, tal como se ha descrito anteriormente, en la presente memoria;

La Figura 3, es un diagrama de circuito esquemático de otro circuito de comprobación conocido para un RCD, tal como se ha descrito anteriormente, en la presente memoria;

45 La Figura 4 es un diagrama de circuito esquemático de un circuito de comprobación y desmagnetización para un RCD, según la invención;

Las Figuras 5, 6 y 7 son gráficos que muestran formas de onda de corriente que pueden encontrarse en un RCD, según la invención; y

50 La Figura 8 es un gráfico que muestra una forma de onda de corriente de desmagnetización, para su uso en un RCD según la invención.

Con referencia a la Figura 4, una instalación de suministro de energía tiene un conductor 40 de fase y un conductor 42 neutro, para suministrar corriente desde una fuente a un circuito 44 de carga. Un RCD 46 incluye un

5 transformador 48 toroidal, que tiene un núcleo 50 que rodea los conductores 40, 42 de fase y neutro. Una bobina 52 de detección y una bobina 54 de comprobación están enrolladas sobre el núcleo 50. Una corriente inducida en la bobina 52 de detección es suministrada como una entrada a un procesador 56 electrónico. Un mecanismo 58 de conmutación, accionado por un accionador 60, bajo el control del procesador 56, corta los conductores 40, 42 de fase y neutro, cuando se detecta un nivel predeterminado de corriente residual.

10 En el procesador 56 electrónico, la corriente de entrada desde la bobina 52 de detección fluye a un amplificador 59 de transresistencia, que tiene una salida de voltaje que tiene una relación lineal con la corriente de entrada. El voltaje de salida del amplificador 59 de transresistencia es alimentado, a continuación, por medio de un filtro 61 pasa baja (para prevenir un solapamiento) a un convertidor 62 analógico-a-digital (ADC) que saca el voltaje como una señal electrónica digital. La señal digital es alimentada a una unidad 64 microcontroladora (MCU) por medio de un bus 66 digital. La MCU 64 tiene una salida 68 para controlar la operación del actuador 60 de conmutación.

15 El RCD 46 está provisto de un botón 70 de comprobación, para cerrar un contacto 72, para iniciar una comprobación bajo el control de la MCU 64. Una señal de comprobación digital proporcionada por la MCU 64 es alimentada, por medio del bus 66, a un convertidor 76 digital-a-analógico (DAC), que saca una corriente de comprobación analógica a la bobina 54 de comprobación.

20 Durante el uso, un desequilibrio de corriente entre los conductores 40, 42, de fase y neutro, genera un campo magnético que induce una corriente de detección en la bobina 52 de detección. La corriente de detección es amplificada por el amplificador 59 de transresistencia y es convertida a una señal digital por el ADC 62 y es leída por la MCU 64. Si la MCU 64 determina que el desequilibrio de corriente es superior a un valor nominal de desconexión predeterminado, entonces se aplica una señal de desconexión a la salida 68 de la MCU, de manera que el actuador 60 de conmutación activa el conmutador 58 para cortar los conductores 40, 42, de fase y neutro, y, de esta manera, interrumpe el suministro eléctrico al circuito 44 de carga.

El dispositivo puede ser comprobado mientras está operativo en una condición no desconectada.

25 Al presionarse el botón 70 de comprobación, se cierra el contacto 72 y se inicia la comprobación. La MCU 64 determina el nivel del desequilibrio de corriente que está siendo detectado por la bobina 52 de detección, y calcula la cantidad en la que debe incrementarse la corriente de la bobina 52 de detección para que el RCD 46 se desconecte a su valor nominal de desconexión. El incremento calculado es proporcionado por medio de la bobina 54 de comprobación. Una corriente de comprobación es proporcionada a la bobina de comprobación, la cual genera un campo magnético en el núcleo 50 del transformador 48, El campo magnético generado induce un incremento en la corriente de detección en la bobina 52 de detección. La MCU calcula la corriente de comprobación requerida para comprobar si el RCD se desconecta o no al valor nominal.

35 La bobina 52 de detección consta, típicamente, de 1.000 vueltas de cable y la bobina 54 de comprobación consta, típicamente, de 100 vueltas. La corriente en la bobina 52 de detección está relacionada linealmente con la corriente residual, por un factor determinado por la relación de vueltas entre los conductores 40, 41 del circuito eléctrico (la bobina primaria del transformador) y la bobina 52 de detección. Por lo tanto, una corriente residual RMS de 10 mA induce una corriente RMS de 10 micro-amperios en la bobina 52 de detección, para la relación de vueltas 1:1000. Un ancho de banda de trabajo de 20 Hz a 2 kHz puede conseguirse fácilmente y es adecuado para los propósitos del RCD. El amplificador 59 de transresistencia está caracterizado por tener baja impedancia de entrada (casi cero), lo cual es necesario para garantizar que la corriente de detección está directamente relacionada con la corriente residual por una relación fija 1:1000, sobre el ancho de banda de trabajo. La salida de dicho amplificador es un voltaje relacionado linealmente con la corriente de entrada, con una ganancia típica de 10.000 V/A.

45 El ADC 62 muestrea periódicamente el voltaje y cada vez saca un valor electrónico digital, típicamente, de 10 bits. El ADC 62 puede estar multiplexado en tiempo, para muestrear también el voltaje de línea del suministro, por medio de una red 74 de divisores de potencial, permitiendo una supervisión de la frecuencia de la red. El procesador 56 mide la frecuencia de la forma de onda de la corriente residual y la frecuencia de muestro es ajustada de manera que se toman un número fijo de muestras por ciclo. Una tasa de 64 muestras por ciclo de la corriente residual a 50 Hz da una tasa de muestreo de 3.200 Hz, mientras que a 60 Hz, la tasa de muestreo es de 3.840 Hz. Un algoritmo, ejecutado en la MCU 64, determina la frecuencia de la corriente residual, pero en casos en los que no puede ser determinada (por ejemplo, la amplitud es cero, o la señal es aleatoria, o la señal está fuera del intervalo esperado de valores), entonces la frecuencia de voltaje de la línea puede ser medida y usada.

50 Con la forma de onda de la corriente residual representada correctamente por los valores digitales, es posible aplicar técnicas de procesamiento de señales digitales para determinar varios parámetros de la señal y, en particular, para calcular su valor RMS para causar una desconexión si este valor excede el valor umbral nominal fijado. El procesamiento digital es realizado por la MCU 64, que incluye circuitería de control, circuitería aritmética, y memoria de lectura/escritura para el almacenamiento de valores variables, y una memoria no volátil, de solo lectura, que almacena un programa de software ejecutable para que lo ejecute la MCU 64. Otros dispositivos periféricos no mostrados están también presentes, incluyendo fuentes de alimentación, circuitos de reloj y circuitos de reinicialización en el encendido.

5 El cálculo de la corriente RMS residual es realizado sobre un número de ciclos para garantizar la exactitud. Diez ciclos de la forma de onda residual es un periodo suficiente para realizar el cálculo y, debido a que la frecuencia de la muestra está ajustada para proporcionar un número fijo de muestras por ciclo (por ejemplo, 64), entonces, el cálculo total requiere 640 muestras. Para una frecuencia de la corriente residual de 50 Hz, esto requiere, por lo tanto, 200 mS para procesar 640 muestras y a 60 Hz toma 167 mS. En ambos casos, la desconexión ocurre dentro del tiempo fijado por los estándares publicados. El software se escribe en el interior de la MCU 64, durante la fabricación, usando una memoria no volátil. La memoria no volátil contiene también datos de configuración asociados, tales como el valor umbral nominal de desconexión y datos de calibración derivados de las mediciones tomadas durante la fabricación.

10 El DAC 76 saca directamente la corriente o, si no, saca el voltaje que puede ser convertido en corriente mediante un amplificador corriente-a-voltaje lineal (amplificador de transconductancia) o, de manera más simple, usando una resistencia fija. La forma de onda y la amplitud de la señal de corriente producida por este sistema son controladas por la MCU 64, bajo el software de control.

15 La mayoría de los dispositivos de la técnica anterior generan una corriente de hasta 2,5 veces el valor umbral de desconexión del dispositivo, usando el voltaje de la red para generar una señal sinusoidal a 50 o 60 Hz. Esto garantiza que para cualquier corriente residual permanente que pueda haber ya presente, la corriente de comprobación superará este valor y garantiza que el dispositivo se desconecte. Esto es efectivo causando una desconexión pero no comprueba realmente la exactitud del sistema. Al aplicar una forma de onda sintetizada a la bobina 54 de comprobación, la corriente de comprobación es independiente del voltaje de suministro y no requiere un conmutador de alto voltaje, ya que el circuito de comprobación está conectado a una entrada de bajo voltaje de la MCU.

20 Sin embargo, para que la bobina 52 de comprobación induzca la corriente RMS correcta en la bobina 52 de detección, para producir una desconexión, es necesario determinar la forma de onda de cualquier corriente residual permanente. Las corrientes residuales permanentes son causadas normalmente por un aislamiento pobre o por redes capacitivas supresoras que se encuentran frecuentemente en motores. La forma de onda será frecuentemente una onda senoidal, en fase con el voltaje de red, pero es posible que esté desfasada en hasta 90 grados si la fuga es puramente reactiva y puede ser de hasta 180 grados si el equipo generador está presente en el circuito de carga. También son comunes las formas de onda no sinusoidales de la corriente residual, pero serán, casi siempre, repetitivas a la frecuencia de la red. Para ilustrar esto, considérese que una corriente residual permanente, según se mide por el procesador 56, sea de 20 mA RMS, entonces, la corriente residual aparente extra a inducir por el circuito de comprobación, puede calcularse usando la ecuación siguiente:

$$x = \sqrt{I_n^2 - s^2} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

35 en la que  $s$  es la corriente residual RMS permanente medida,  $I_n$  es el valor umbral RMS de desconexión y  $x$  es la corriente RMS residual aparente extra requerida a inducir por el circuito de comprobación, de manera que la resultante medida sea igual a  $I_n$ . Para un dispositivo en el que la  $I_n$  de umbral es de 30 mA, entonces es necesario alimentar la bobina de comprobación para producir una corriente residual RMS medida de 22,4 mA, para causar la desconexión. Sin embargo, la ecuación anterior (que está basada en el hecho de que el valor RMS resultante de dos señales sumadas es igual a la raíz cuadrada de los cuadrados de los valores RMS individuales sumados) supone que se cumplen las condiciones siguientes:

40 a) que la corriente residual permanente y la corriente de comprobación son de frecuencias diferentes

b) que el valor RMS resultante de la suma de dos señales se calcula durante un periodo prolongado para conseguir un resultado preciso.

45 La condición "a" puede ilustrarse mediante la Figura 5, en la que se suman dos sinusoidales de igual frecuencia y fase, siendo una de una amplitud de pico de 1 unidad (0,7 unidades RMS) y la otra de 2 unidades (1,4 RMS). La resultante, según la ecuación anterior, es de 1,6 RMS o 2,2 de pico. Sin embargo, es claro en la Figura 5, que la resultante tiene una amplitud de pico de 3,0 y su valor RMS es de 2,1. En realidad, la ecuación solo se cumple si las dos señales están desfasadas 90°, tal como se muestra en la Figura 6. Sería posible medir la fase de una corriente residual permanente y sumar la corriente de comprobación a una fase apropiada, para generar la resultante requerida, pero esto añade una complejidad considerable y no funciona con todas las formas de onda. Por lo tanto, es evidente que el cálculo RMS tiene una dependencia de la fase entre las dos señales sumadas y solo se obtiene un resultado preciso si el valor RMS es promediado sobre todas las diferencias de fase posibles.

50 Una solución más simple es seguir la condición "a" y alimentar la señal de comprobación a una frecuencia diferente a la de cualquier corriente residual permanente. Tal como se ha descrito anteriormente, la MCU 64 es capaz de medir la frecuencia, o en algunas circunstancias, se supone que es igual a la frecuencia de suministro medida. La bobina 54 de comprobación puede ser alimentada entonces a una frecuencia un 20% mayor o menor que la frecuencia de la corriente residual medida (por ejemplo, 40 Hz si la frecuencia medida es de 50 Hz). La resultante se

muestra en la Figura 8. Se encuentra que el valor RMS de la resultante es correcto, según lo predice la Ecuación 1 anterior, y, de hecho, funcionará para cualquier forma de onda de corriente residual permanente. También es verdad que puede usarse cualquier forma de onda para la señal de comprobación y el uso de una señal de comprobación de onda cuadrada, en lugar de una sinusoidal, puede ser más simple de sintetizar. Otra manera que enfocar esto, es que el uso de frecuencias diferentes significa que la dependencia del valor RMS resultante con respecto a la fase se pierde, debido a que las dos señales se añaden en el tiempo, en todas las combinaciones de fase.

La condición "b" anterior, requiere la medición de la resultante de las señales de corriente permanente y de comprobación inducida, sobre un gran periodo de tiempo para conseguir exactitud. El tiempo de desconexión al valor umbral nominal para la mayoría de RCDs está fijado en un máximo de 300 mS, por los estándares relacionados. Por lo tanto, cuando se presiona el botón 70 de comprobación, el dispositivo tiene aproximadamente 14 ciclos de red (280 mS) para iniciar la desconexión. Este número de ciclos proporciona una exactitud razonable, pero, con cierto cuidado, pueden conseguirse un tiempo de desconexión y una exactitud mejorados. Con referencia a la Figura 7, es evidente que hay presente una frecuencia de pulsación igual a la diferencia en las frecuencias de la corriente residual permanente y la corriente de comprobación, en este caso 10 Hz para una corriente residual de 50 Hz. Sobre el periodo de diez ciclos mostrado (200 mS a 50 Hz), hay dos pulsos presentes y, puede observarse que las fases relativas de las tres curvas son las mismas al inicio y al final del periodo mostrado. El resultado es preciso, ya que todas las combinaciones de fases posibles entre las dos señales han sido usadas en el cálculo, exactamente dos veces, lo que significa que cualquier fase inicial es irrelevante y se ha perdido la dependencia de fase. Un periodo de medición que no es un múltiplo del periodo de pulsación proporciona resultados menos precisos, ya que algunas combinaciones de fase se dan más veces que otras, y, de esta manera, la fase inicial se convierte en un factor en el valor RMS calculado de la resultante. La señal de comprobación es calculada como un porcentaje fijo de la frecuencia de la corriente residual permanente, de manera que sobre el periodo en el que se usa un número fijo de muestras para calcular el valor RMS resultante habrá un múltiplo entero de ciclos de la frecuencia de pulsación producidos entre las frecuencias de la corriente residual permanente y la señal de comprobación.

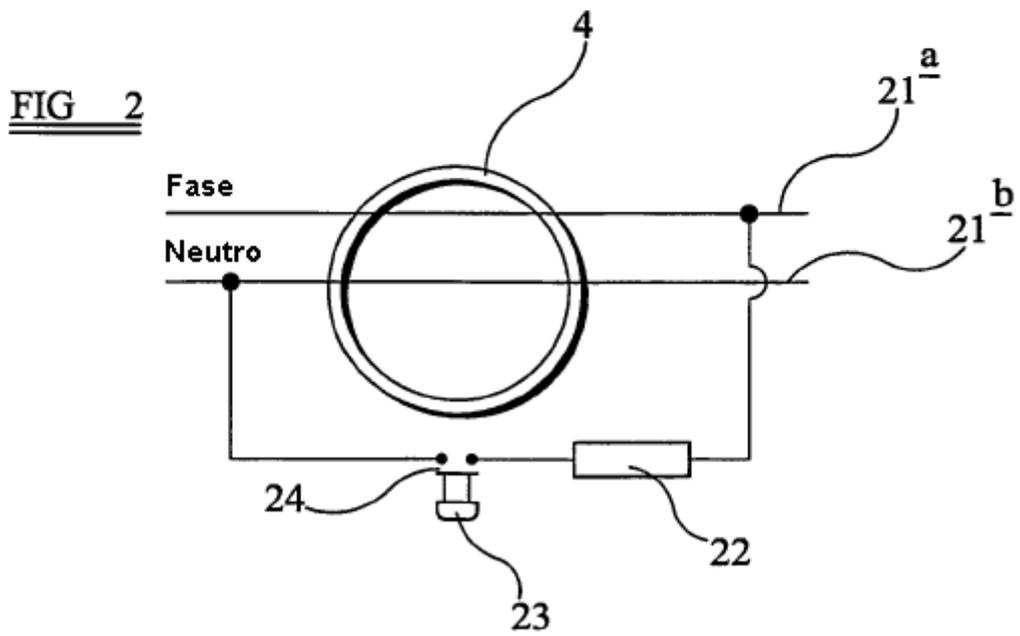
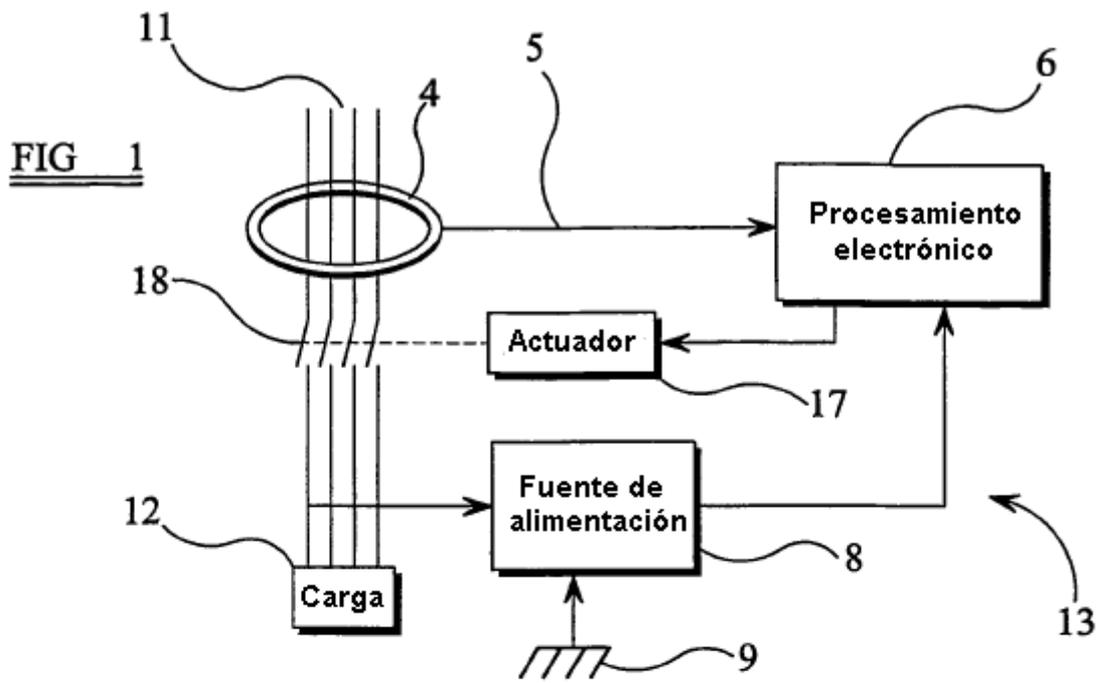
El cálculo de la corriente de comprobación debe tener en cuenta la relación de vueltas de las bobinas de detección y de comprobación, de manera que la relación de corrientes inducidas sea correcta, así como la forma de onda usada para la señal de comprobación. También, deben tenerse en cuenta las tolerancias iniciales en el sistema, para usar los valores de calibración almacenados en memoria durante la fabricación, para modificar la amplitud de la corriente de comprobación. Una vez determinada la frecuencia de la corriente residual, en la manera descrita anteriormente, entonces, al inicio de una comprobación mediante el accionamiento del botón 70 de comprobación, se acciona una señal de comprobación, de la amplitud calculada, en la bobina 54 de comprobación, a una frecuencia diferente de la de la corriente 54 residual. El sistema de medición estará funcionando normalmente, midiendo continuamente los valores RMS aparentes detectados en la bobina 52 de detección, sobre un número fijo de ciclos de voltaje de red y causando una desconexión cuando sea necesario.

Otra característica del dispositivo es la capacidad de resolver el problema de la remanencia, descrito anteriormente. Para resolver este problema, el campo magnético remanente en el núcleo 50 del transformador puede ser eliminado alimentando el núcleo 50 con un campo alterno, que decrece en magnitud durante varios ciclos. Esta técnica se denomina desmagnetización. Dicha señal puede ser alimentada a la bobina 54 de comprobación para permitir una desmagnetización bajo control por software. Es particularmente útil realizar una desmagnetización en el arranque del dispositivo, ya que es entonces cuando el núcleo 50 puede haber sido dejado magnetizado, tras un defecto que causó una desconexión. Sin embargo, puede implementarse una desmagnetización periódica sin afectar al funcionamiento normal del dispositivo. Si la frecuencia de la señal de desmagnetización es mucho mayor que la banda de funcionamiento a la cual es sensible el circuito de detección de corriente residual, entonces la señal de desmagnetización de alta frecuencia no será observada directamente por el sistema de medición. En la Figura 8 se muestra un tipo adecuado de forma de onda. Consiste en una forma de onda decreciente, cuya amplitud inicial es suficientemente alta para causar una saturación magnética del núcleo (es decir, no puede magnetizarse más fuertemente). La forma de onda tiene una amplitud pico de aproximadamente 2A-vueltas de la bobina 54 de comprobación, así, para una bobina 54 de comprobación de 100 vueltas, esto significa que se requiere una corriente de 20 mA de pico. La subsiguiente forma de onda decreciente deja el núcleo cada vez menos magnetizado, después de cada ciclo. Una forma de onda de alta frecuencia de aproximadamente 10 kHz es adecuada y una tasa de decrecimiento del 80% por milisegundo, durante un periodo de 2 milisegundos, consigue una desmagnetización en un tiempo corto. Sin embargo, los parámetros óptimos de la forma de onda dependen en gran medida de las dimensiones y del material de núcleo toroidal. No hay componentes extra requeridos para realizar la desmagnetización, ya que los componentes propuestos del circuito de comprobación de la Figura 4 son capaces de producir la señal requerida. La síntesis de la forma de onda es realizada por la MCU 64, bajo control por software. No es necesario que la forma de onda usada sea sinusoidal, tal como se ha sugerido, otras formas, tales como formas de onda rectangulares, son igualmente efectivas y son más simples de sintetizar.

## REIVINDICACIONES

- 1.- Dispositivo de corriente residual (RCD) para proteger un circuito, mediante una desconexión en respuesta a una señal de desequilibrio representativa de un desequilibrio de corriente residual en el circuito, en el que el RCD desconecta el circuito cuando la señal de desequilibrio excede un valor umbral nominal predeterminado, en el que el dispositivo de corriente residual (RCD) comprende:
- 5 medios (52) de detección, que generan dicha señal de desequilibrio;
- medios (54) de comprobación para introducir un desequilibrio de corriente residual de simulación en el dispositivo, para incrementar la señal de desequilibrio; y
- 10 un procesador que supervisa la señal de desequilibrio y determina el desequilibrio de corriente residual de simulación requerido para incrementar la señal de desequilibrio a un nivel que corresponda al valor umbral nominal predeterminado, de manera que los medios de detección detecten la suma de cualquier desequilibrio de corriente residual en el circuito que está siendo protegido y el desequilibrio de la corriente residual de simulación, con el fin de comprobar el funcionamiento del dispositivo de corriente residual (RCD) para el valor umbral nominal predeterminado.
- 15 2.- Dispositivo según la reivindicación 1, en el que los medios de detección comprenden un transformador (48) de corriente que tiene una bobina (52) de detección, siendo la señal de desequilibrio una corriente de detección de desequilibrio en la bobina de detección.
- 20 3.- Dispositivo según la reivindicación 2, en el que los medios de comprobación comprenden una bobina de comprobación, en el que una corriente de comprobación, aplicada a la bobina (54) de comprobación, introduce el desequilibrio de corriente residual de simulación en la forma de un campo magnético en el transformador de corriente, induciendo, de esta manera, el incremento en la corriente de detección de desequilibrio en la bobina de detección.
- 25 4.- Dispositivo según la reivindicación 3, en el que la bobina de comprobación puede utilizarse adicionalmente como una bobina de desmagnetización, para eliminar la remanencia en el transformador de corriente, mediante una aplicación de una señal de desmagnetización a la bobina de desmagnetización.
- 5.- Dispositivo según la reivindicación 4, en el que la señal de desmagnetización es aplicada a la bobina de desmagnetización bajo el control del procesador.
- 6.- Dispositivo según la reivindicación 5, en la que el procesador está configurado para aplicar la señal de desmagnetización, para alimentar al núcleo del transformador de corriente con un campo magnético alterno, que decrece en amplitud sobre varios ciclos.
- 30 7.- Dispositivos según la reivindicación 6, en el que el procesador está configurado para aplicar un campo alterno decreciente a una alta frecuencia, de manera que la señal de desmagnetización no es detectable por el dispositivo de corriente residual.
- 8.- Dispositivo según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que la señal de desmagnetización tiene una forma de onda sinusoidal o rectangular.
- 35 9.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procesador incluye un convertidor analógico a digital (ADC), para convertir la señal de desequilibrio de corriente a una señal digital, una unidad microcontroladora (MCU), para procesar la señal digital y para proporcionar una señal digital de salida, y un convertidor digital a analógico (DAC), para convertir la señal digital de salida a una señal de comprobación analógica.
- 40 10.- Dispositivo según la reivindicación 9, en el que el procesador puede ser utilizado para la generación de una corriente de comprobación que tiene un patrón de forma de onda y fase apropiado para proporcionar la suma requerida.
- 11.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procesador determina un valor de diferencia correspondiente a la diferencia entre el desequilibrio de corriente residual medido y el valor umbral nominal predeterminado.
- 45 12.- Dispositivo según la reivindicación 11, en el que el valor de diferencia es aplicado de manera que el incremento en la señal de desequilibrio es instantáneo.
- 13.- Dispositivo según la reivindicación 11, en el que los medios de comprobación incrementan en forma de rampa o incrementan progresivamente la señal de desequilibrio, desde un valor bajo o cero al valor umbral nominal predeterminado.
- 50

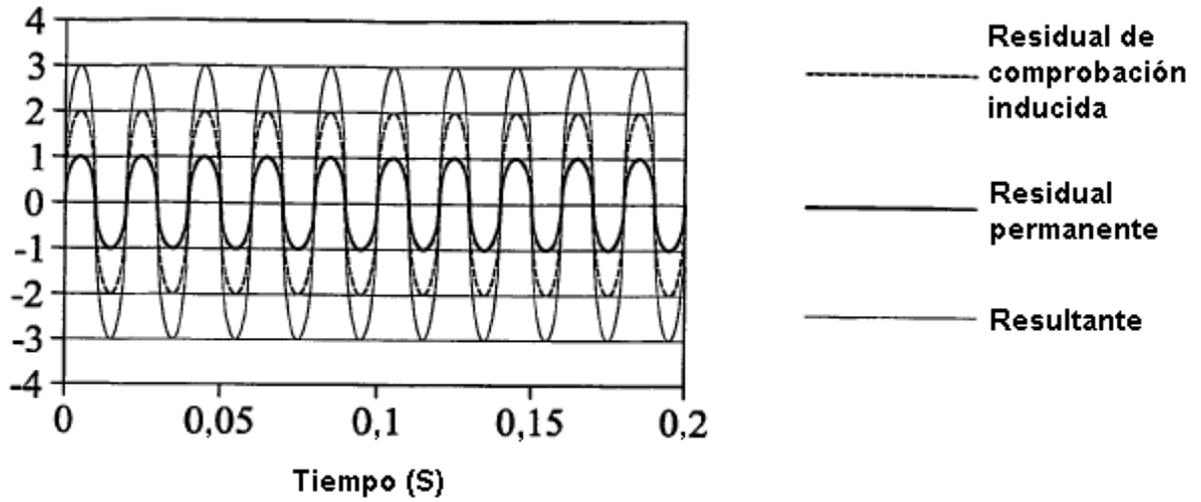
14.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procesador es un circuito integrado en el dispositivo de corriente residual (RCD).





**FIG 5**

**Sinusoidales sumadas en fase**



**FIG 6**

**Sinusoidales sumadas a 90 grados**

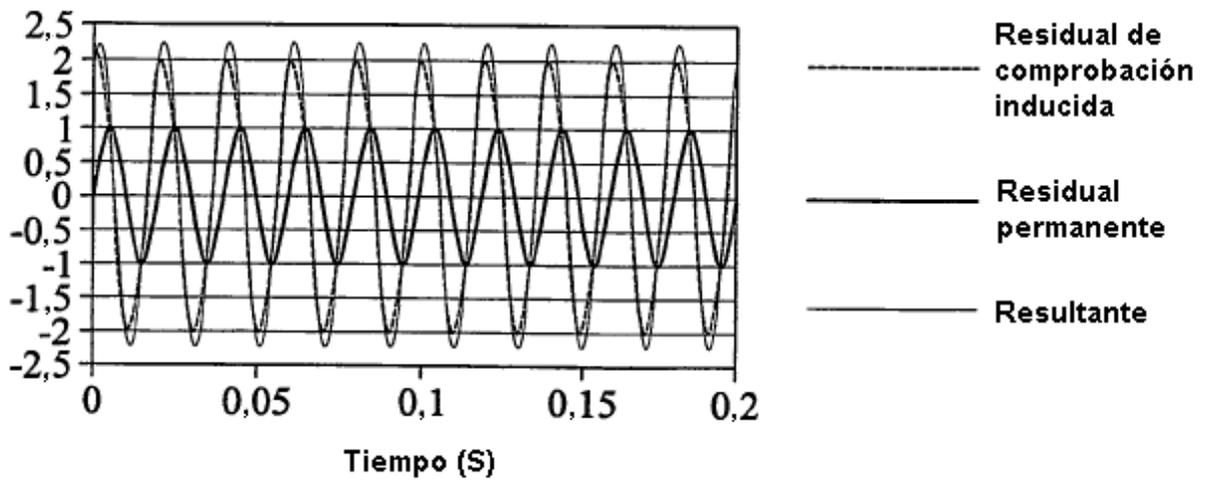


FIG 7

Suma de una residual de 50 Hz y una señal de comprobación de 40 Hz

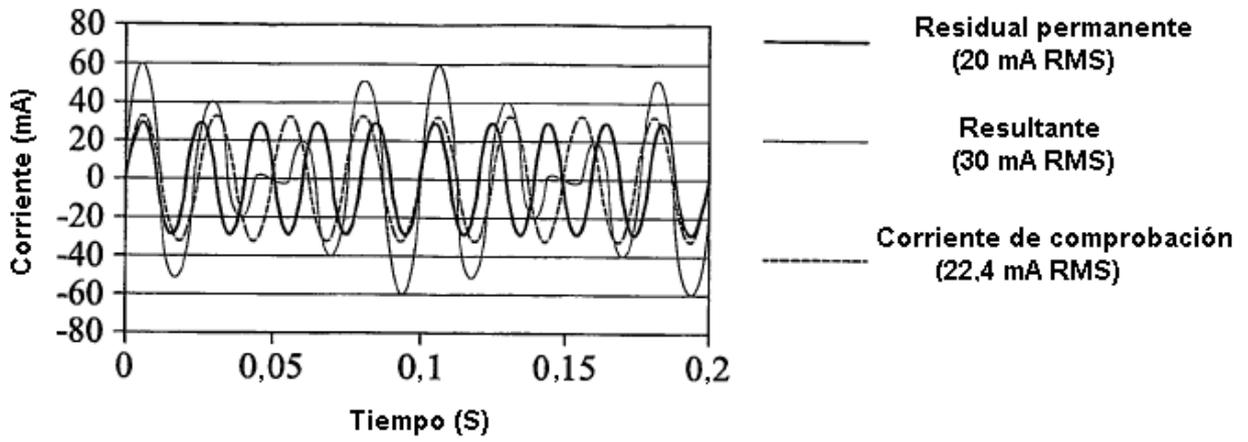


FIG 8

Forma de onda de desmagnetización

