

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 600 205**

51 Int. Cl.:

**H02H 3/33**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.07.2007 PCT/GB2007/002638**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.01.2008 WO08009903**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2007 E 07789019 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.09.2016 EP 2052450**

54 Título: **Procedimiento y aparato para detectar y compensar corrientes de falla residuales de CC en sistemas eléctricos**

30 Prioridad:

**15.07.2006 GB 0614125**

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

**07.02.2017**

73 Titular/es:

**EATON INDUSTRIES MANUFACTURING GMBH  
(100.0%)**

**Route de la Longeraie 7  
1110 Morges, CH**

72 Inventor/es:

**JACKSON, JONATHAN, KEITH**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 600 205 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

Procedimiento y aparato para detectar y compensar corrientes de falla residuales de CC en sistemas eléctricos

Esta invención se refiere a un procedimiento y un aparato de detección y compensación de corrientes de falla residuales de CC en sistemas eléctricos. En particular, la presente invención se refiere a un procedimiento y un aparato que puede detectar de manera precisa uno o varios parámetros de la forma de onda de corriente de falla y generar un factor de compensación que compensa componentes de falla de CC pulsada específicos presentes. De este modo, se optimiza la sensibilidad de disparo para tipos específicos de formas de onda de corriente de falla.

Los dispositivos de protección de circuitos, tales como los dispositivos de corriente residual, se utilizan rutinariamente para monitorizar y proteger frente a riesgos de electrocución y de incendio en instalaciones eléctricas. El principio de funcionamiento de estos dispositivos es bien conocido, y se utiliza un transformador de corriente para medir la suma de las corrientes activas y las neutras. El transformador de corriente detecta los campos magnéticos de los dos conductores de la red eléctrica, que fluyen en sentidos opuestos y en circunstancias normales se cancelan. Los conductores de la red eléctrica forman espiras individuales en el núcleo toroidal magnético y, a su vez, se utiliza un devanado secundario para detectar cualquier magnetización del núcleo toroidal.

Se puede producir una típica falla cuando una persona toca el conductor activo más abajo del dispositivo de corriente residual, permitiendo que fluya una corriente extra del activo a tierra, a través de la persona. Dado que esta corriente no retorna en la línea neutra, este desequilibrio se detecta en el transformador de corriente toroidal. La señal detectada por el transformador de corriente se denomina una corriente residual. Dicha señal se percibe como una corriente en el devanado secundario, que se puede procesar utilizando medios de procesamiento analógicos o digitales. Si el resultado de la etapa de procesamiento es que existe una situación peligrosa, entonces se puede utilizar una señal para excitar un accionador mecánico que activa a continuación un mecanismo de disparo, abriendo los contactos eléctricos y aislando el suministro eléctrico.

Desgraciadamente, la naturaleza inductiva de la técnica de detección asegura que el transformador de corriente toroidal es relativamente insensible a cualesquiera componentes de falla de CC estacionaria o pulsada que puedan estar presentes en el sistema eléctrico, y que pueden impedir finalmente que el dispositivo funcione correctamente en una condición de falla. Estos componentes de CC estacionaria o pulsada que podrían estar presentes en la corriente de falla son una manifestación del enorme número de dispositivos semiconductores que están incorporados actualmente en los equipos utilizados en toda la industria, el comercio y las situaciones domésticas. La presencia de dichas cargas semiconductoras complejas puede tener como resultado la sustitución de una forma de onda de CA sinusoidal por componentes de falla no sinusoidales que, en ciertas circunstancias, no serían detectadas por los RCDs convencionales.

A este respecto, los RCDs se clasifican en varias clases de rendimiento (IEC/EN 61008/61009):

Tipo CA - protege solamente contra corrientes de falla de CA (es decir, el valor promedio de la forma de onda es cero);

Tipo A - protege contra componentes de CA y de CC pulsada (se supone que esto significa que el valor promedio no es cero, pero el mínimo de la forma de onda es cero); y

Tipo B - protege contra los componentes anteriores y componentes de CC suaves (es decir, continuos).

Se dan a conocer ejemplos de dichos RCDs en las memorias US 7.009.825 y EP 1479148.

Por desgracia, ocurre que las pruebas de clasificación requeridas para formas de onda de CC pulsada de tipo A (es decir, una onda sinusoidal conmutada a 90° y 135°) difieren en su valor RMS aparente a través de un transformador de corriente, pero solamente un poco respecto de una forma de onda CA sinusoidal de igual RMS. Por lo tanto, un dispositivo RCD de tipo A funciona correctamente si se prueba utilizando estas formas de onda CC pulsada, si bien es probable que surjan otras formas de onda de falla que no proporcionan lecturas de RMS correctas a través del transformador de corriente, y que podrían impedir que el RCD se dispare incluso en el caso de una falla peligrosa.

El Comité 64 de IEC (grupo de trabajo 22) ha estado expresando su preocupación sobre la formulación de los requisitos para RCDs que pueden supuestamente funcionar correctamente con corrientes de falla de CC pulsada (TC23E/Sec0107/RM, anexo B). A este respecto, se considera que puede hacerse necesario hacer pasar pruebas más restrictivas para conseguir la aprobación de tipo A o, si no hay cambios en esto, se puede introducir entonces una aprobación de tipo A+, que puedan proteger contra algunas otras formas de onda de falla de CC pulsada.

El objetivo de la presente invención es dar a conocer un procedimiento y un aparato de detección y compensación de corrientes de falla residuales de CC pulsada específicas en sistemas eléctricos. El procedimiento y el aparato permiten la detección precisa de uno o varios parámetros de la forma de onda de corriente de falla y generan un factor de compensación que compensa todos los tipos identificados de componentes de falla de CC pulsada presentes. De este modo, se puede optimizar la sensibilidad de disparo para todos los tipos de formas de onda de corriente de falla. Otro objetivo de la presente invención es dar a conocer un dispositivo de corriente residual que pueda desconectar de manera segura y fiable corrientes de falla residuales peligrosas de CA sinusoidal y de CC

estacionaria o pulsada en sistemas eléctricos, y que sea menos vulnerable a disparos por error. La presente invención puede cumplir los estándares internacionales tanto existentes como otros previstos.

5 Según la presente invención, se da a conocer un procedimiento de desconexión de un suministro eléctrico a una instalación eléctrica tras la detección de una corriente de falla determinada entre los conductores de línea y neutro de dicho suministro eléctrico, estando dichos conductores de línea y neutro acoplados inductivamente como un devanado primario de un transformador de corriente, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

monitorizar una forma de onda de corriente de falla desde la salida de un devanado secundario acoplado inductivamente a dicho transformador de corriente y en respuesta a dicha corriente de falla en dicha instalación eléctrica;

10 codificar digitalmente dicha forma de onda de corriente de falla entregada desde dicho devanado secundario;

detectar uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada y generar un factor de compensación que compensa componentes de falla de CC pulsada específicas presentes en dicha forma de onda de corriente de falla codificada;

ponderar dicha forma de onda de corriente de falla codificada de acuerdo con dicho factor de compensación; y

15 disparar un mecanismo de disparo si dicha forma de onda de corriente de falla ponderada supera dicha corriente de falla predeterminada.

También según la presente invención, se da a conocer un aparato para desconectar un suministro eléctrico a una instalación eléctrica tras la detección de una corriente de falla predeterminada entre los conductores de línea y neutro de dicho suministro eléctrico, estando acoplados inductivamente dichos conductores de línea y neutro como un devanado primario de un transformador de corriente, comprendiendo el aparato:

20 un devanado primario de un transformador de corriente, comprendiendo el aparato:

medios de monitorización para monitorizar una forma de onda de corriente de falla procedente de la salida de un devanado secundario acoplado inductivamente a dicho transformador de corriente y sensibles a dicha corriente de falla en dicha instalación eléctrica;

25 medios de codificación para codificar digitalmente dicha forma de onda de corriente de falla entregada desde dicho devanado secundario;

medios de detección para detectar uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada y generar un factor de compensación que compensa componentes de falla de CC pulsada específicas presentes en dicha forma de onda de corriente de falla codificada;

30 medios de ponderación para ponderar dicha forma de onda de corriente de falla codificada, de acuerdo con dicho factor de compensación; y

medios de disparo para disparar un mecanismo de disparo si dicha forma de onda de corriente de falla ponderada excede dicha corriente de falla predeterminada.

35 También según la presente invención, se da a conocer un producto de programa informático para desconectar un suministro eléctrico a una instalación eléctrica tras la detección de una corriente de falla predeterminada entre los conductores de línea y neutro de dicho suministro eléctrico, estando dichos conductores de línea y neutro acoplados inductivamente como un devanado primario de un transformador de corriente, comprendiendo el producto de programa:

40 medios de programa informático para monitorizar una forma de onda de corriente de falla procedente de la salida de un devanado secundario acoplado inductivamente a dicho transformador de corriente y sensibles a dicha corriente de falla en dicha instalación eléctrica;

medios de programa informático para codificar digitalmente dicha forma de onda de corriente de falla entregada desde dicho devanado secundario;

45 medios de programa informático para detectar uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada y generar un factor de compensación que compensa componentes de falla de CC pulsada específicas presentes en dicha forma de onda de corriente de falla codificada;

medios de programa informático para ponderar dicha forma de onda de corriente de falla codificada de acuerdo con dicho factor de compensación; y

medios de programa informático para disparar un mecanismo de disparo si dicha forma de onda de corriente de falla ponderada excede dicha corriente de falla predeterminada.

50 Preferentemente, los medios de codificación, los medios de detección y los medios de ponderación se implementan en un medio de procesamiento que puede ser un microprocesador o un procesador de señal digital. En uso, dichos

medios de procesamiento son programables e incluyen otras características complementarias, tales como desenganche por subtensión e indicación de aviso. También preferentemente, dicho devanado secundario es un devanado de una sola o de múltiples espiras.

5 En una realización preferida, dichos uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada se pueden seleccionar a partir de: el ciclo de trabajo, la relación de los valores RMS de las partes positiva y negativa de la forma de onda, los valores de pico positivo y negativo, el número de cruces por cero, el factor de forma y el factor de cresta. Alternativamente, dichos uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada se pueden obtener a partir de tipos más complejos de análisis de las formas de onda, tales como correspondencia con modelos y análisis espectral.

10 También preferentemente, dichos uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada se obtienen a partir de una medición de simetría que se utiliza para comparar valores cuadráticos medios de secciones negativa y positiva de dicha forma de onda de corriente de falla codificada. En uso, este parámetro se puede obtener utilizando la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada. Preferentemente, para garantizar que el factor de compensación resultante es insensible a la inversión de dicha forma de onda de corriente de falla codificada, si la relación es menor que uno, se utiliza entonces la inversa.

15 Preferentemente, la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada implica tomar por separado la media cuadrática promediada en IIR (infinite impulse response, respuesta infinita al impulso) de todos los valores negativos y valores positivos por separado. En uso, se obtienen diversas bandas de estas relaciones, y se determina dicho factor de compensación a partir de una tabla de consulta almacenada en dicho medio de procesamiento.

20 En una realización preferida, si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está dentro del intervalo de 1,00 a 1,22, se detecta entonces una forma de onda de corriente de falla de CA sinusoidal y se genera un factor de compensación de 1,00. Si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del intervalo de 1,22 a 1,51, se detecta entonces una forma de onda de corriente de falla de CC rectificadas en onda completa y se genera un factor de compensación de 1,68. Si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del intervalo de 1,51 a 1,67, se detecta entonces una forma de onda de corriente de falla de CC rectificadas en onda 'M' (tal como se define más adelante) y se genera un factor de compensación de 5,28. Si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del intervalo de 1,67 a 3,00, se detecta entonces una forma de onda de corriente de falla de CC rectificadas en media onda y se genera un factor de compensación de 3,66. Si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del intervalo de 3,00 a 7,12, se detecta entonces una forma de onda de corriente de falla sinusoidal conmutada a 90° y se genera un factor de compensación de 1,25. Si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del intervalo de 7,12 a ∞, se detecta entonces una forma de onda de corriente de falla sinusoidal conmutada a 135° y se genera un factor de compensación de 1,10.

30 Se considera que un procedimiento y un aparato de acuerdo con la presente invención solucionan por lo menos los problemas esbozados anteriormente. Las ventajas de la presente invención consisten en que se da a conocer un procedimiento y un aparato de detección y compensación de las corrientes de falla residuales de CC identificadas en sistemas eléctricos. Ventajosamente, el procedimiento y el aparato permiten la detección precisa de uno o varios parámetros de la forma de onda de corriente de falla y generan un factor de compensación que compensa todos los tipos identificados de componentes de falla de CC pulsada presentes. De este modo, se puede optimizar la sensibilidad de disparo para todos los tipos de formas de onda de corriente de falla. También ventajosamente, se da a conocer un dispositivo de corriente residual que puede desconectar de manera segura y fiable corrientes de falla residuales peligrosas de CA sinusoidal y de CC estacionaria o pulsada, y que es menos susceptible a disparos por error. Pudiendo la presente invención cumplir los estándares internacionales tanto existentes como otros previstos.

40 Resultará obvio para los expertos en la materia que son posibles variaciones de la presente invención, y se prevé que la presente invención se puede utilizar de manera diferente a lo que se describe específicamente en la presente memoria.

Se describirá una realización específica no limitativa de la invención, a modo de ejemplo y haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

55 la figura 1 muestra los diversos tipos de formas de onda residual de CA sinusoidal y de CC pulsada que se utilizan actualmente para probar RCDs de tipo A existentes (IEC/EN 61008/61009)

las figuras 2 y 3 muestran otras formas de onda residuales de CC pulsada que probablemente sean relevantes para las pruebas de clasificación de tipo A+ más restrictivas anticipadas;

la figura 4 muestra las diversas formas de onda residuales de CA sinusoidal y de CC pulsada que estarían presentes en una entrada en el lado primario del transformador de corriente de un RCD;

5 la figura 5 muestra cómo el componente de CC de las formas de onda de la figura 4 se bloquea dado que el transformador de corriente es insensible al componente de CC de la forma de onda que se está midiendo y lo cual aumenta eficazmente el umbral de disparo para las diversas corrientes residuales de CC pulsada; y

la figura 6 muestra errores de RMS medidos provocados por el bloqueo del componente de CC de las formas de onda de las figuras 1 a 5.

10 Haciendo referencia a continuación a las figuras, el procedimiento y el aparato según la presente invención se han desarrollado siguiendo una medición empírica y una modelización matemática rigurosas de los diversos tipos de corrientes de falla residuales de CA sinusoidal y de CC pulsada que se utilizan actualmente para probar RCDs de tipo A existentes (IEC/EN 61008/61009). Además, para permitir desarrollar la presente invención se ha realizado un análisis adicional de una serie de formas de onda residuales de CC pulsadas que es probable sean utilizadas para las pruebas más estrictas de clasificación de tipo A+ anticipadas que, en uso, compensan todos los componentes de falla de CC y ofrecen una sensibilidad a corriente de falla sin igual.

15 Tal como se muestra en la figura 1, se prueban RCDs de tipo A existentes utilizando las siguientes formas de onda: una onda sinusoidal; una onda sinusoidal conmutada a 0° (rectificada en media onda); una onda sinusoidal conmutada a 90°; y una onda sinusoidal conmutada a 135°. Se proponen formas de onda adicionales para la clasificación de A+ anticipada: rectificada en onda completa y rectificada en media onda, es decir, cuando el RCD está entre dos fases y el punto medio conectado a tierra. Esta última forma de onda recuerda la letra 'M', y así se denomina en el resto de la descripción. Estas formas de onda se muestran esquemáticamente en las figuras 2 y 3, respectivamente.

25 La figura 2 muestra una forma de onda de CC pulsada de onda completa que se puede producir en un sistema con toma central, tal como es común en Estados Unidos, donde la subestación proporciona dos fases de 110 V a 180°, que se pueden combinar para realizar un suministro de 220 V. La toma central está a tierra. Si el equipo protegido por el RCD tiene un rectificador de onda completa y se produce una falla que permite que la señal rectificada se fugue a tierra, entonces estará presente una corriente de falla de onda completa similar a la mostrada en la figura 2.

La figura 3 muestra el tipo de forma de onda de falla que se puede producir si el equipo está alimentado desde un suministro de dos fases o de tres fases con punto de estrella, donde el punto de estrella esta a tierra.

30 Se han realizado análisis experimentales utilizando RCDs digitales existentes, para observar qué valores de corriente de falla son necesarios para provocar el disparo para los diversos tipos de formas de onda de falla residuales de CA sinusoidal y de CC pulsada indicados anteriormente en las figuras 1 a 3. Se utilizó un medidor RMS real para medir la corriente de falla, y se aumentó la amplitud de la forma de onda hasta que se produjo el disparo. Se debe observar que se permitió un valor umbral de disparo máximo  $I_{\Delta n}$  de 42 mA RMS para corrientes de CC pulsada en un RCD de 30 mA nominales o 1,4  $I_{\Delta n}$  (IEC/EN 61008/61009). Para RCDs nominales por debajo de 10 mA, se permitió 2  $I_{\Delta n}$  y para todos los demás RCDs el umbral de disparo inferior se descendió hasta 0,35  $I_{\Delta n}$  (0 y 90°) y 0,11  $I_{\Delta n}$  (135°). No obstante, los inventores se centran a continuación en el dispositivo de 30 mA nominales. Los resultados se muestran en la tabla 1. La negrita indica incapacidad de alcanzar el estándar de tipo A+ propuesto.

	RCD 1	RCD 2	RCD 3	RCD 4
Forma de onda de CA (referencia)	24 mA	24 mA	24 mA	22 mA
Neutro en fase/a tierra (rectificado en media onda)	29 mA	29 mA	28 mA	28 mA
Entre dos fases - punto de estrella a tierra (forma de onda 'M', mostrada la figura 3)	<b>52 mA</b>	<b>50 mA</b>	<b>45 mA</b>	<b>43 mA</b>
Fase dividida 2 x 120 V (rectificada en onda completa, mostrada en la figura 2)	<b>53 mA</b>	<b>52 mA</b>	<b>51 mA</b>	<b>48 mA</b>

Tabla 1 - resultados de pruebas de forma de onda de CC pulsada

40 Claramente, el fallo para alcanzar el estándar de tipo A a través de todo el rango de formas de onda residuales de CC pulsada se produce debido a que se utiliza un transformador de corriente como sensor para medir las corrientes de falla y, por lo tanto, se bloquea cualquier componente de CC de la corriente de falla. Por lo tanto, las formas de onda mostradas en la figura 4 estarían presentes en el lado del primario del transformador de corriente, debiendo tenerse en cuenta que éstas formas de onda están normalizadas para proporcionar valores de RMS iguales a la unidad. Dado que el transformador de corriente es insensible a la componente de CC de la forma de onda que se está midiendo, el transformador de corriente "ve" de hecho las diversas formas de onda mostradas en la figura 5.

5 Es interesante observar que la onda sinusoidal se utiliza como referencia y tiene un valor RMS de 42 mA (es decir, un pico de 59 mA). Todas las demás formas de onda se han descendido de manera que su valor promedio sea cero. Esto tiene entonces como resultado que sus valores RMS disminuyen desde 42 mA, proporcionando por lo tanto una falsa lectura. Estos factores de error se muestran a partir de datos experimentales en la tabla 2. Estas cifras representan las cantidades por encima del umbral de disparo  $I\Delta n$  necesarias para disparar el RCD un umbral de  $I\Delta n$ .

Forma de onda de falla	Factor de disparo
Sinusoidal	1,0
Media onda	1,3
Onda completa	2,3
Forma de onda 'M'	1,9
Sinusoidal conmutada a 90°	No probada
Sinusoidal conmutada a 135°	No probada

Tabla 2 - factores de disparo medidos para varias formas de onda de CC pulsada

Es necesario analizar matemáticamente este problema, y así se detalla a continuación. Se ha calculado los valores RMS de los diversos tipos de formas de onda residuales de CA sinusoidal y de CC pulsada para amplitud de pico unidad, tal como sigue en la tabla 3.

Forma de onda	Cálculo de RMS	Forma simplificada	Valor de RMS
Sinusoidal	$\sqrt{\frac{\int_0^{2\pi} (\sin(x))^2 dx}{2\pi}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	0,707
Media onda	$\sqrt{\frac{\int_0^{\pi} (\sin(x))^2 dx}{2\pi}}$	$\frac{1}{2}$	0,500
Onda completa	$\sqrt{\frac{\int_0^{\pi} (\sin(x))^2 dx}{\pi}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	0,707
Onda 'M'	$\sqrt{\frac{\int_{\frac{\pi}{6}}^{\pi} (\sin(x))^2 dx}{\pi}}$	$\sqrt{\frac{10\pi + 3\sqrt{3}}{24\pi}}$	0,697
Sinusoidal conmutada a 90°	$\sqrt{\frac{\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} (\sin(x))^2 dx}{2\pi}}$	$\frac{1}{\sqrt{8}}$	0,353
Sinusoidal conmutada a 135°	$\sqrt{\frac{\int_{\frac{3\pi}{4}}^{\pi} (\sin(x))^2 dx}{2\pi}}$	$\sqrt{\frac{1 - \frac{2}{\pi}}{16}}$	0,151

10

Tabla 3 - valores RMS de formas de onda de CC pulsada

Estas formas de onda requieren sus amplitudes normalizadas para proporcionar valores RMS unitarios. La tabla 4 muestra los factores de normalización de RMS para las diversas formas de onda residuales de CA sinusoidal y de CC pulsada, que se han obtenido multiplicando los inversos de las figuras mostradas en la tabla 3.

Forma de onda	Factor de normalización
Sinusoidal	$\sqrt{2}$
Media onda	2
Onda completa	$\sqrt{2}$
Onda 'M'	1/1,434
Sinusoidal conmutada a 90°	$\sqrt{8}$
Sinusoidal conmutada a 135°	1/0,151

Tabla 4 - factores de normalización RMS para formas de onda pulsadas

5 La tabla 4 indica, por ejemplo, que una onda rectificada completa tiene que tener una amplitud de pico de 1,414 para tener un RMS de 1. Estas son las amplitudes de las formas de onda que deberían haber provocado que el RCD se dispase cuando son alimentadas al dispositivo (es decir, el dispositivo mide 30 mA para estas formas de onda cuando su RMS real es de 30 mA). Sin embargo, las cifras anteriores permiten en este caso una pérdida de acoplamiento de CC. El efecto del acoplamiento de CC es descender las formas de onda mediante sus valores promedios, y estos son los que se muestran en la tabla 5.

Forma de onda	Cálculo del promedio	Forma simplificada	Valor promedio
Sinusoidal	$\frac{\int_0^{2\pi} \sqrt{2} \cdot \sin(x) dx}{2\pi}$	0,00	0,00
Media onda	$\frac{\int_0^{\pi} 2 \cdot \sin(x) dx}{2\pi}$	$\frac{2}{\pi}$	0,636
Onda completa	$\frac{\int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot \sin(x) dx}{\pi}$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}$	0,900
Onda 'M'	$\frac{\int_0^{\frac{5\pi}{6}} \sqrt{\frac{24\pi}{10\pi + 3\sqrt{3}}} \sin(x) dx}{\pi}$	$\frac{2\sqrt{6} + 3\sqrt{2}}{\sqrt{(10\pi + 3\sqrt{3})\pi}}$	0,852
Sinusoidal conmutada a 90°	$\frac{\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \sqrt{8} \cdot \sin(x) dx}{2\pi}$	$\frac{\sqrt{2}}{\pi}$	0,45
Sinusoidal conmutada a 135°	$\frac{\int_{\frac{3\pi}{4}}^{\pi} \sqrt{16 - \frac{2}{\pi}} \cdot \sin(x) dx}{2\pi}$	$\frac{2 - \sqrt{2}}{\sqrt{\pi(\pi - 2)}}$	0,309

Tabla 5 - valor promedio de formas de onda de CC pulsada después de la normalización

10 Estos valores de CC son restados de las formas de onda normalizadas (es decir, RMS = 1) y el RMS recalculado tal como se muestra en la tabla 6

Forma de onda	Cálculo de RMS	Expresión integrada	Valor de RMS
Sinusoidal	$\sqrt{\frac{\int_0^{2\pi} (\sqrt{2} \sin(x))^2 dx}{2\pi}}$	1	1,000
Media onda	$\sqrt{\frac{\int_0^{\pi} \left(2 \sin(x) - \frac{2}{\pi}\right)^2 dx}{2\pi}}$	$\sqrt{1 - \frac{4}{\pi^2}}$	0,771
Onda completa	$\sqrt{\frac{\int_0^{\pi} \left(\sqrt{2} \sin(x) - 2 \frac{\sqrt{2}}{\pi}\right)^2 dx}{\pi}}$	$\sqrt{1 - \frac{8}{\pi^2}}$	0,435
Onda 'M'	$\sqrt{\frac{\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \left(\frac{24\pi}{\sqrt{10\pi+3\sqrt{3}}} \sin(x) - \frac{2\sqrt{6+3\sqrt{2}}}{\sqrt{(10\pi+3\sqrt{3})\pi}}\right)^2 dx}{\pi}}$	Demasiado grande para caber aquí	0,523
Sinusoidal conmutada a 90°	$\sqrt{\frac{\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \left(\sqrt{8} \sin(x) - \frac{\sqrt{2}}{\pi}\right)^2 dx}{2\pi}}$	$\sqrt{1 - \frac{2}{\pi^2}}$	0,893
Sinusoidal conmutada a 135°	$\sqrt{\frac{\int_{\frac{3\pi}{4}}^{\pi} \left(\frac{16}{\sqrt{1-\frac{2}{\pi}}} \sin(x) - \frac{2-\sqrt{2}}{\sqrt{\pi(\pi-2)}}\right)^2 dx}{2\pi}}$	$\sqrt{1 + \frac{\sqrt{32-6}}{\pi(\pi-2)}}$	0,951

Tabla 6 - RMS de formas de onda pulsadas de CC normalizadas en el lado del secundario del transformador de corriente

5 En relación con la onda sinusoidal, las relaciones de los RMS y los valores cuadráticos medios (MS, mean squared) se muestran a continuación en la tabla 7.

Forma de onda	Relación (RMS)	Relación (MS)
Sinusoidal	1,00	1,00
Media onda	1,29	1,68
Onda completa	2,30	5,28
Onda 'M'	1,91	3,66
Sinusoidal conmutada a 90°	1,11	1,25
Sinusoidal conmutada a 135°	1,05	1,10

Tabla 7 - error como factores en la medición de formas de onda pulsadas de CC

10 El experto en la materia observará que estas cifras concuerdan muy bien con las relaciones de los resultados experimentales, que se muestran en la tabla 2. Suponiendo un umbral de disparo  $I_{\Delta n}$  del peor de los casos de 30 mA, la onda completa, la media onda y la onda 'M' no provocarán entonces un disparo, y tal como confirman los experimentos.

15 Para alcanzar la solución indicada en la presente solicitud, se describe un algoritmo que compensará los errores provocados por la ausencia de acoplamiento de CC. El único indicio de la forma de onda de corriente de falla particular presente en el otro lado del transformador de corriente es su forma. Sin embargo, nunca se puede saber qué desfase de CC se aplica, y por lo tanto sigue sin ser posible un dispositivo de tipo B. Para el estándar de tipo A+ anticipado, se supone que la forma de onda tiene un desfase de CC no constante. Para medir la CC correcta, se



requieren técnicas tales como la modulación del núcleo hasta saturación, que se consideran demasiado costosas y difíciles de implementar a bajo coste y baja energía.

El algoritmo debe ser de implementación simple dado que, generalmente, hay disponible poca potencia de procesamiento. El algoritmo estará basado en uno o varios parámetros de la forma de onda de falla que se pueden medir fácilmente sin demasiado procesamiento. Los parámetros que encajan con este requisito son los siguientes:

- 5 -
- Ciclo de trabajo
- Relación de RMS de partes positivas y negativas de la forma de onda
- Valores de pico positivos y negativos
- Número de cruces por cero
- 10 -
- Factor de forma
- Factor de cresta

Lo que se requiere entonces es cierta combinación de las cifras obtenidas anteriormente a partir de las otras medidas, que pueda producir un factor de corrección adecuado para corregir los errores para el perfil de la forma de onda particular. Además, esto no debería afectar a las formas de onda sinusoidales normales y debería ser siempre seguro (es decir, el factor de corrección debería ser mayor que la unidad, lo que hace el RCD más sensible).

El experto en la materia apreciará que son posibles tipos más complejos de análisis, tales como la correspondencia con modelos y el análisis espectral, pero estos tienden a requerir un procesamiento intenso que no es aceptable, dado que requiere más potencia y probablemente un hardware más complejo.

Para considerar los resultados deseados del esquema de compensación propuesto, la figura 6 muestra el RMS medido para cada una de las formas de onda descritas. Se supone que estos tienen un valor mínimo en el eje cero (es decir, CC pulsada) y una amplitud que les proporciona un RMS de valor uno. Después del acoplamiento de CA, los RMS medidos son los que se muestran. Se debe observar que la traza de la onda sinusoidal es originalmente una onda sinusoidal de cero desplazamiento como referencia.

Considerando en primer lugar los valores de pico y los cruces por cero, estos no se consideran parámetros útiles en esta aplicación particular. En particular, los valores de pico son muy vulnerables al ruido y a los transitorios que pueden producir resultados espurios. Asimismo, los cruces por cero se pueden ver afectados por el ruido en el punto de cruce, provocando múltiples cruces. Esto se podría mejorar ignorando temporalmente todos los cruces posteriores a un cruce inicial para permitir que la forma de onda se aleje de la línea de cero. Sin embargo, incluso si esto se consigue, se debe observar que la forma de onda 'M' de la figura 3 está muy próxima a la línea entre dos y cuatro cruces por ciclo. Esto significa que un pequeño cambio en la forma de onda puede producir un gran salto en los resultados. Este tipo de discontinuidad abrupta no es deseable, y es preferible un cambio más continuo en los parámetros.

Considerando a continuación un enfoque alternativo, se utiliza una medida de simetría para comparar los valores RMS de las secciones negativa y positiva del ciclo de la forma de onda. Esto tiene poca carga de procesamiento dado que es necesario conocer en cualquier caso la media cuadrática (MS) total al final del ciclo, y esto se puede conseguir utilizando la adición de las sumas de MS para las MS positivas y negativas. Los valores se han calculado numéricamente, así como la relación entre los dos valores en la tabla 8. Si la relación es menor de uno, entonces se utiliza su inversa. Esto significa que la medición es insensible a la inversión de la forma de onda.

Forma de onda	Relación MS positiva/negativa	MS negativa	MS positiva	MS total	RMS total
Sinusoidal	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00
Media onda	1,75	0,22	0,38	0,60	0,77
Onda completa	1,45	0,11	0,08	0,19	0,44
Onda 'M'	1,59	0,17	0,11	0,27	0,52
Sinusoidal conmutada a 90°	4,25	0,15	0,65	0,80	0,90
Sinusoidal conmutada a 135°	9,99	0,08	0,82	0,91	0,95

Tabla 8 - RMS de partes positivas y negativas de formas de onda

Las relaciones marca-espacio no varían de manera que permita una compensación simple de los errores. Sin embargo, hay suficientes diferencias en esta relación para permitir la identificación de la forma de onda. Por lo tanto,

## ES 2 600 205 T3

se pueden formar bandas de estas relaciones, y utilizar factores de compensación de diferentes magnitudes en función de estas bandas. A partir de la información anterior, se pueden definir las bandas utilizando los puntos medios de los valores adyacentes en la segunda columna.

Forma de onda	Límite inferior de banda de la relación de MS	Límite superior de banda de la relaciones de MS	Factor de compensación
Sinusoidal	1,00	1,22	1,00
Onda completa	1,22	1,51	1,68
Onda 'M'	1,51	1,67	5,28
Media onda	1,67	3,00	3,66
Sinusoidal conmutada a 90°	3,00	7,12	1,25
Sinusoidal conmutada a 135°	7,12	∞	1,10

Tabla 9 - bandas de compensación

- 5 En esencia, el proceso implica tomar por separado la MS promediada en IIR de todos los valores negativos y los valores positivos. Estos se pueden sumar para formar el valor MS final como normal. La relación de los dos valores se puede calcular (y si es menor que uno se toma el recíproco). Se buscan en la tabla las bandas en las que está situado este valor, y el valor final de la MS se multiplica por el factor de compensación. Para formas de onda no sinusoidales, esto aumenta la sensibilidad de tal modo que el sistema es siempre seguro. Para formas de onda arbitrarias no consideradas, potencialmente el sistema se hará también más sensible.

En suma, el sistema es muy eficiente dado que divide simplemente el cálculo de la MS normal en dos flujos cuyos resultados se combinan fácilmente para formar un resultado final. El factor de compensación implica una multiplicación. La mayor carga de cálculo es la división necesaria para el cálculo de relaciones. Esto es necesario solamente cuando se está realizando la decisión de disparo, pero es exigente en ciclos de trabajo.

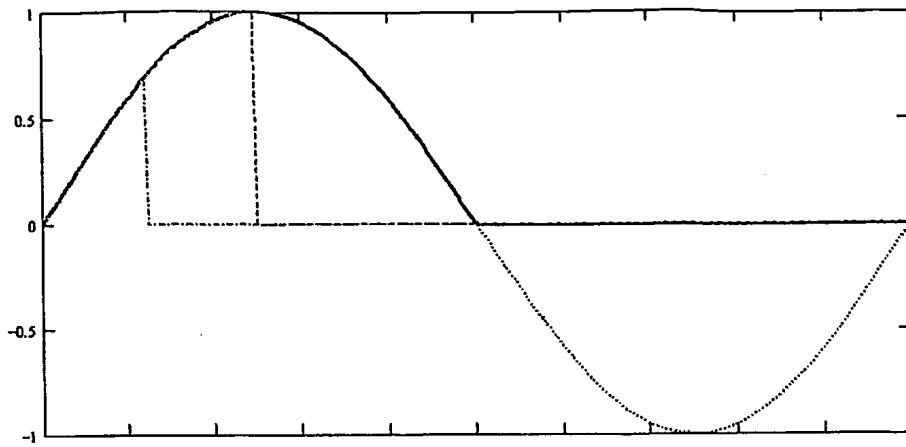
- 15 Se pueden realizar varias alteraciones y modificaciones a la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, aunque las realizaciones particulares se refieren a implementar la presente invención en una instalación eléctrica de una sola fase, esto no pretende ser limitativo en modo alguno dado que, en uso, la presente invención se puede incorporar a instalaciones mayores, tanto de una sola fase como multifase.

**REIVINDICACIONES**

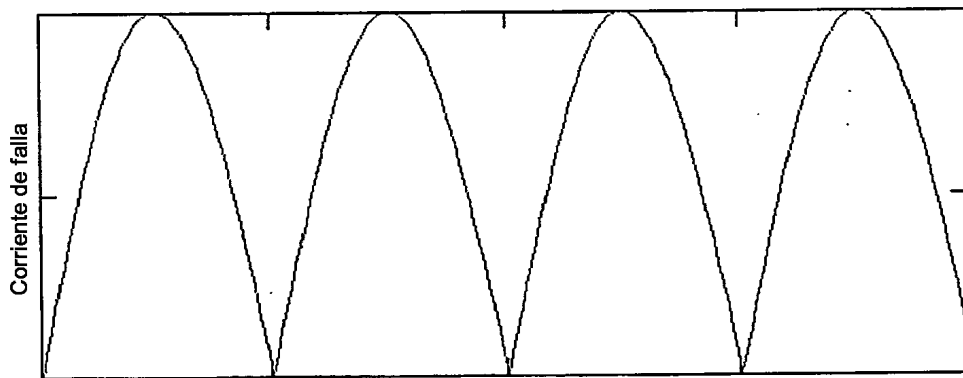
1. Un procedimiento de desconexión de un suministro eléctrico a una instalación eléctrica tras la detección de una corriente de falla predeterminada entre los conductores de línea y neutro de dicho suministro eléctrico, estando dichos conductores de línea y neutro acoplados inductivamente como un devanado primario de un transformador de corriente, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- 5 monitorizar una forma de onda de corriente de falla desde la salida de un devanado secundario acoplado inductivamente a dicho transformador de corriente y en respuesta a dicha corriente de falla en dicha instalación eléctrica;
- codificar digitalmente dicha forma de onda de corriente de falla entregada desde dicho devanado secundario;
- 10 detectar uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada; caracterizado por las etapas de: generar un factor de compensación que compensa componentes de falla de CC pulsada específicas presentes en dicha forma de onda de corriente de falla codificada;
- ponderar dicha forma de onda de corriente de falla codificada de acuerdo con dicho factor de compensación; y
- 15 disparar un mecanismo de disparo si dicha forma de onda de corriente de falla ponderada supera dicha corriente de falla predeterminada.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, donde en la etapa de detección uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada se pueden seleccionar a partir de: el ciclo de trabajo, la relación de los valores RMS de las partes positiva y negativa de la forma de onda, los valores de pico positivo y negativo, el número de cruces por cero, el factor de forma y el factor de cresta.
- 20 3. El procedimiento según las reivindicaciones 1 ó 2, donde en la etapa de detección uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada se obtienen a partir de una medida de simetría que compara los valores cuadráticos medios de secciones negativa y positiva de dicha forma de onda de corriente de falla codificada.
4. El procedimiento según la reivindicación 3, donde en la etapa de detección uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada se obtienen a partir de una medición de simetría que compara la
- 25 relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada.
5. El procedimiento según la reivindicación 4, en el que la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada comprende además la etapa de tomar por separado una media cuadrática promediada en respuesta infinita al impulso, de todos los valores positivos y los
- 30 valores negativos.
6. El procedimiento según la reivindicación 5, en el que se calcula a continuación la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada y se toma la recíproca si el resultado es menor que uno.
7. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que se obtienen varias bandas de la relación de la suma
- 35 cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada, y dicho factor de compensación se determina a partir de una tabla de consulta almacenada en un medio de procesamiento.
8. El procedimiento según las reivindicaciones 4 a 6, en el que si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del
- 40 intervalo de 1,00 a 1,22, entonces se detecta una forma de onda de corriente de falla de CA sinusoidal y se genera un factor de compensación de aproximadamente 1,00.
9. El procedimiento según las reivindicaciones 4 a 6, en el que si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del
- 45 intervalo de 1,22 a 1,51, entonces se detecta una forma de onda de corriente de falla de CC rectificadas en onda completa y se genera un factor de compensación de aproximadamente 1,68.
10. El procedimiento según las reivindicaciones 4 a 6, en el que si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del
- intervalo de 1,51 a 1,67, entonces se detecta una forma de onda de corriente de falla de CC rectificadas en onda 'M' y se genera un factor de compensación de aproximadamente 5,28.
- 50 11. El procedimiento según las reivindicaciones 4 a 6, en el que si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del intervalo de 1,67 a 3,00, entonces se detecta una forma de onda de corriente de falla de CC rectificadas en media onda y se genera un factor de compensación de aproximadamente 3,66.

12. El procedimiento según las reivindicaciones 4 a 6, en el que si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del intervalo de 3,00 a 7,12, entonces se detecta una forma de onda de corriente de falla sinusoidal conmutada a 90° y se genera un factor de compensación de aproximadamente 1,25.
- 5 13. El procedimiento según las reivindicaciones 4 a 6, en el que si la relación de la suma cuadrática media de las mitades positiva y negativa de dicha forma de onda de la corriente de falla codificada está situada dentro del intervalo de 7,12 a ∞, entonces se detecta una forma de onda de corriente de falla sinusoidal conmutada a 135° y se genera un factor de compensación de aproximadamente 1,10.
- 10 14. El procedimiento según la reivindicación 1, donde en la etapa de detección uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada se obtienen a partir de tipos más complejos de análisis de formas de onda, tales como la correspondencia con modelos y el análisis espectral.
- 15 15. Un aparato para desconectar un suministro eléctrico a una instalación eléctrica tras la detección de una corriente de falla predeterminada entre los conductores de línea y neutro de dicho suministro eléctrico, estando dichos conductores de línea y neutro acoplados inductivamente a un devanado primario de un transformador de corriente, comprendiendo el aparato:
- medios de monitorización para monitorizar una forma de onda de corriente de falla procedente de la salida de un devanado secundario acoplado inductivamente a dicho transformador de corriente y sensibles a dicha corriente de falla en dicha instalación eléctrica;
- 20 medios de codificación para codificar digitalmente dicha forma de onda de corriente de falla entregada desde dicho devanado secundario;
- medios de detección para detectar uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada; caracterizado por medios para generar un factor de compensación que compensa componentes de falla de CC pulsada específicas presentes en dicha forma de onda de corriente de falla codificada;
- 25 medios de ponderación para ponderar dicha forma de onda de corriente de falla codificada, de acuerdo con dicho factor de compensación; y
- medios de disparo para disparar un mecanismo de disparo si dicha forma de onda de corriente de falla ponderada excede dicha corriente de falla predeterminada.
- 30 16. El aparato según la reivindicación 15, en el que los medios de codificación, los medios de detección y los medios de ponderación están implementados en un medio de procesamiento que puede ser un microprocesador o un procesador de señal digital.
17. El aparato según la reivindicación 16, en el que dichos medios de procesamiento son programables e incluyen otras características complementarias, tales como desenganche por subtensión e indicación de aviso.
18. El aparato según la reivindicación 15, en el que dicho devanado secundario es un devanado de una sola o de múltiples espiras.
- 35 19. Un producto de programa informático para desconectar un suministro eléctrico a una instalación eléctrica tras la detección de una corriente de falla predeterminada entre los conductores de línea y neutro de dicho suministro eléctrico, estando dichos conductores de línea y neutro acoplados inductivamente como un devanado primario de un transformador de corriente, comprendiendo el producto de programa:
- 40 medios de programa informático para monitorizar una forma de onda de corriente de falla procedente de la salida de un devanado secundario acoplado inductivamente a dicho transformador de corriente y sensibles a dicha corriente de falla en dicha instalación eléctrica;
- medios de programa informático para codificar digitalmente dicha forma de onda de corriente de falla entregada desde dicho devanado secundario;
- 45 medios de programa informático para detectar uno o varios parámetros de dicha forma de onda de corriente de falla codificada; caracterizado por medios para generar un factor de compensación que compensa componentes de falla de CC pulsada específicas presentes en dicha forma de onda de corriente de falla codificada;
- medios de programa informático para ponderar dicha forma de onda de corriente de falla codificada de acuerdo con dicho factor de compensación; y
- 50 medios de programa informático para disparar un mecanismo de disparo si dicha forma de onda de corriente de falla ponderada excede dicha corriente de falla predeterminada.

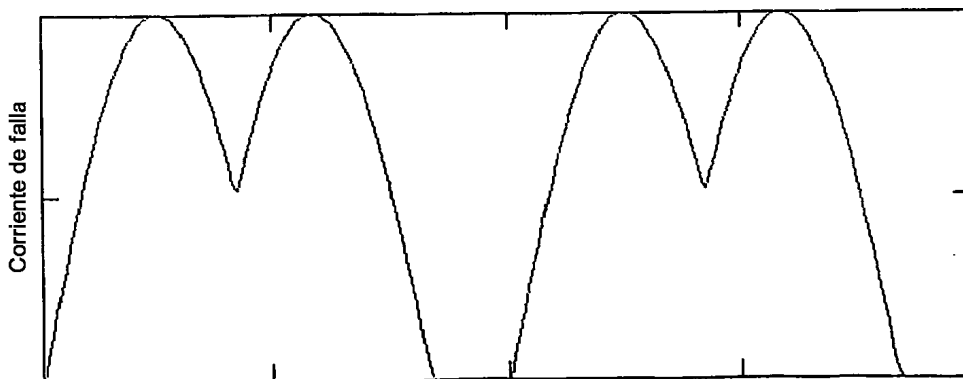
Corriente de falla



Tiempo  
Fig.1



Tiempo  
Fig.2



Tiempo  
Fig.3

Corriente de falla

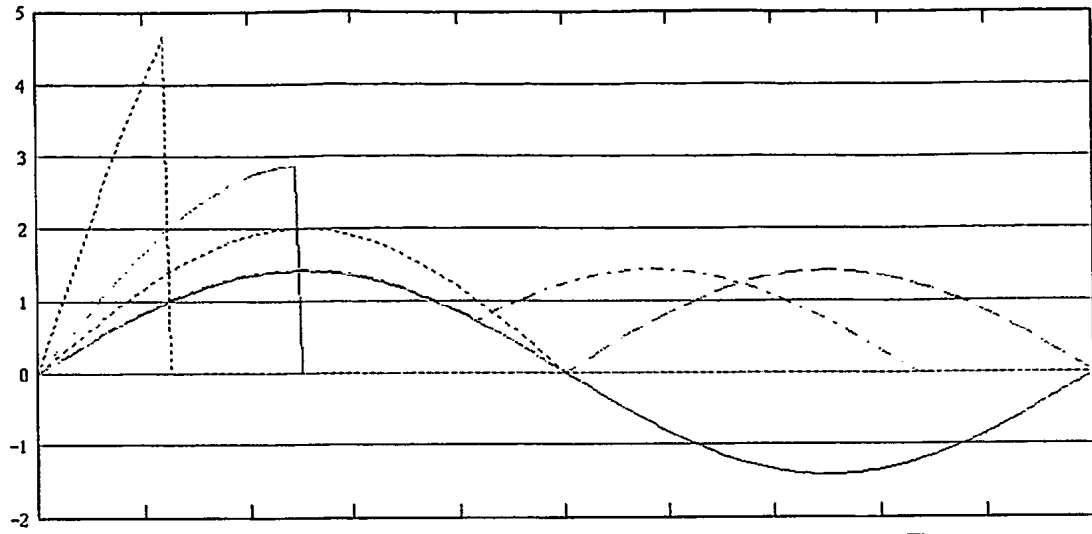


Fig.4

Corriente de falla

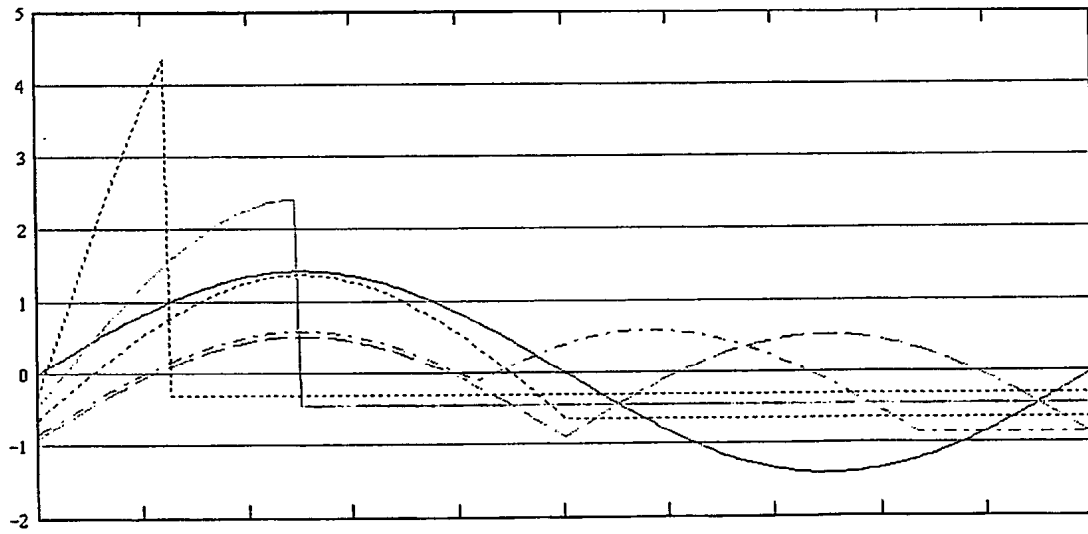


Fig.5

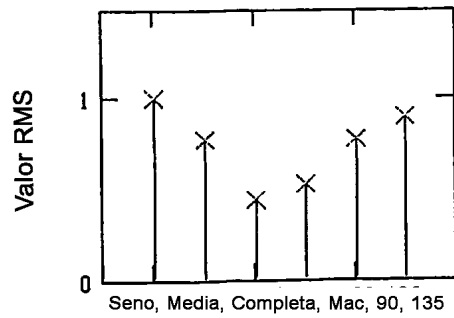


Fig.6