

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 542 877**

51 Int. Cl.:

H02H 7/045 (2006.01)

H02H 3/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.11.2008** **E 08857782 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2015** **EP 2223404**

54 Título: **Detector de corriente de entrada de un transformador**

30 Prioridad:

07.12.2007 US 999813

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

12.08.2015

73 Titular/es:

COOPER TECHNOLOGIES COMPANY (100.0%)
600 Travis Street Suite 5600
Houston, TX 77002, US

72 Inventor/es:

KOJOVIC, LJUBOMIR A.;
BISHOP, MARTIN P. y
DAY, TIMOTHY R.

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 542 877 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

Detector de corriente de entrada de un transformador

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sistema de protección diferencial para transformadores de potencia y más concretamente a un sistema de protección para un transformador de potencia que utiliza bobinas Rogowski para detectar corriente y para detectar corriente de entrada del transformador de potencia.

10 ANTECEDENTES

Un transformador de potencia se utiliza para intensificar o reducir un voltaje. Es decir, el voltaje de salida es el voltaje de entrada por un factor de incremento. Este factor de incremento se denomina generalmente relación de transformación y también se conoce como relación de vueltas. Esta relación se define como la relación de los voltajes del primario y el secundario para un transformador de dos devanados. En general, un transformador que incrementa el voltaje bajará la corriente mientras que un transformador que disminuye el voltaje elevará la corriente. Dado que la potencia es igual al voltaje por la corriente, la potencia es la misma en ambos lados del transformador, ignorando pérdidas del transformador. Además de multiplicarse por la relación de transformación, la corriente que entra en un transformador de potencia, debe ser igual a la corriente que sale del transformador de potencia. Una diferencia entre la corriente que sale del transformador puede indicar un fallo en el transformador en lugar de pasar a través del transformador.

La protección diferencial de los transformadores de potencia es una técnica que compara la corriente que entra en el transformador con la corriente que sale del transformador. Un lado de un transformador es el primario mientras que el otro lado es el secundario. Habitualmente, el lado donde entra la energía es el primario. Un sistema de protección diferencial detecta la corriente en el lado primario y también detecta la corriente en el lado secundario. El área entre los detectores de corriente se denomina zona de protección. El sistema de protección diferencial determina si existe una diferencia excesiva, además del factor de escalamiento, entre los dos detectores de corriente. Si la diferencia supera el valor del relé (umbral diferencial), es posible que tenga lugar un fallo en la zona de protección, y un relé de protección inicia la operación de un disyuntor u otro dispositivo para aislar el transformador de potencia.

La diferencia entre la corriente principal y la corriente secundaria que se requiere para disparar el sistema de protección diferencial y provocar que el relé de protección actúe se puede denominar umbral diferencial del sistema de protección diferencial. Un sistema de protección diferencial con un menor umbral diferencial puede ser más sensible, pero puede dispararse por error por motivos que no impliquen un fallo.

En general, los transformadores de corriente se usan en un sistema de protección diferencial para detectar la corriente del primario y la corriente del secundario. Los transformadores de corriente habitualmente tienen núcleos de hierro y pueden saturarse. La saturación del núcleo del transformador tiene lugar cuando se induce más flujo magnético en el transformador del que puede manejarse por el núcleo. Cuando se satura un núcleo del transformador, éste puede perder sus características inductivas permitiendo que las corrientes en los devanados del transformador provoquen temporalmente corrientes de fuga hasta niveles extremadamente altos. La saturación desigual entre el transformador de corriente que detecta la corriente del primario y el transformador de corriente que detecta la corriente del secundario es un ejemplo de un caso de un disparo por error ya que no hay ningún fallo.

Con el fin de detectar por error condiciones de fallo por razones tales como saturación del sensor de corriente, el umbral diferencial del sistema de protección puede establecerse como un porcentaje de la corriente que pasa a través del transformador. Este valor de umbral diferencial se proporciona generalmente añadiendo componentes de restricción que estabilizan el relé de protección. La estabilización del relé mejora el desempeño dado que altas corrientes de paso necesitarán un mayor diferencial de corriente para operar el relé. Esta cualidad generalmente se caracteriza por la pendiente del relé. La pendiente se da mediante una línea con pendiente que relaciona la corriente que atraviesa el transformador con el valor de umbral diferencial. La línea tiene una pendiente ya que una mayor corriente de paso implica establecer un mayor umbral diferencial. Dicha relación puede ilustrarse utilizando una línea con pendiente ascendente cuando se traza sobre un gráfico con la corriente que pasa en el eje horizontal y el umbral de corriente diferencial en el eje vertical. Los sistemas donde el relé está digitalmente controlado, pueden utilizarse múltiples pendientes para evitar la operación inapropiada del relé de protección en condiciones que implican una gran saturación del transformador de corriente ocasionada por altas corrientes de fallo.

La corriente de entrada es la corriente de alimentación atraída por un dispositivo cuando se aplica inicialmente energía al dispositivo. La corriente de entrada es un fenómeno transitorio de arranque. Cuando un transformador de potencia se alimenta por primera vez, una corriente de entrada mucho mayor que la corriente nominal del transformador puede circular hasta por décimas de segundo. Es decir, cuando un transformador se enciende por primera vez, debe circular una corriente mayor hacia el transformador para establecer los campos magnéticos en el núcleo del transformador. La corriente de entrada fluye en el lado de energización del transformador, mientras que en el otro lado del transformador puede haber muy poco o no haber flujo de corriente. En una aplicación en red, el

lado de energización del transformador puede ser el lado primario o el lado secundario. Dado que la corriente de entrada generalmente fluye solo en un lado del transformador, el diferencial de corriente entre los lados primario y secundario del transformador puede superar fácilmente el umbral diferencial del sistema de protección diferencial y puede hacer que el relé de protección aisle al transformador de potencia incluso a pesar de que no exista un fallo real.

El aislamiento innecesario de un transformador de potencia durante una condición de corriente de entrada puede mitigarse detectando la corriente de entrada y, como respuesta, bloquear el elemento de protección diferencial dentro del relé de protección. De forma tradicional, la corriente de entrada es detectada mediante la extracción del segundo componente armónico de la corriente de entrada utilizando algoritmos matemáticos. Esta técnica involucra habitualmente la aplicación de filtros en las mediciones de corriente para aislar el segundo componente armónico que es una región de la señal de corriente de aproximadamente el doble de la frecuencia de funcionamiento del sistema de energía. Se han desarrollado diversos diseños de filtros, con distintas complejidades, para extraer esta información del segundo armónico. Cuando se modifican las características de respuesta en este segundo armónico para diferentes transformadores, así como la complejidad de los diseños de filtros relacionados, a menudo dificultan dichos enfoques tradicionales.

En consecuencia, existe en la técnica una necesidad de un sistema de protección diferencial de transformadores de potencia para detectar con mayor precisión la corriente de entrada y reducir el aislamiento innecesario del transformador de potencia durante una condición de corriente de entrada.

SUMARIO DE LA INVENCION

La patente americana US 2004/027748 describe un sistema de protección para un transformador de potencia, que comprende: una primera bobina Rogowski posicionada para detectar una corriente principal asociada con un primario del transformador de potencia y enviar una señal primaria indicativa de la corriente principal; una segunda bobina Rogowski posicionada para detectar una corriente secundaria asociada con un secundario del transformador de potencia y enviar una señal indicativa de la corriente secundaria; un relé de protección configurado para aislar el transformador de potencia cuando el relé de protección está activado; y un controlador que puede funcionar para activar el relé de protección.

Dicho sistema se caracteriza por el hecho de que el controlador además puede funcionar para comparar la salida de la primera bobina Rogowski y la salida de la segunda bobina Rogowski para obtener una primera derivada temporal diferencial de corriente, para muestrear la primera derivada temporal diferencial de corriente basada en una relación de muestreo, para detectar una condición de entrada cuando un número predeterminado de muestras secuenciales de la primera derivada temporal diferencial de corriente están dentro de un rango predeterminado, y para evitar la activación del relé de protección en respuesta a la detección de la condición de entrada.

La presente invención se refiere a un sistema de protección diferencial para transformadores de potencia que usan bobinas Rogowski como sensores de corriente. Una bobina Rogowski puede comprender una bobina de alambre helicoidal o casi helicoidal con el terminal de un extremo volviendo a través del centro de la bobina hasta el otro extremo, de modo que ambos terminales están en un solo extremo de la bobina. La bobina puede formarse entonces alrededor de un conductor recto donde se medirá la corriente en el conducto recto. El voltaje que se induce en la bobina Rogowski es proporcional a la velocidad de cambio de la corriente en el conducto recto. Esta velocidad de cambio de corriente también se conoce como primera derivada temporal de la corriente, o di/dt , o cambio en la corriente con respecto al cambio en el tiempo. De este modo, puede utilizarse la salida de la bobina Rogowski para representar di/dt donde "i" es la corriente en el conductor recto que tiene que medirse. Asimismo, la salida de una bobina Rogowski puede conectarse a un circuito integrador electrónico para proporcionar una señal que es proporcional a la corriente detectada.

Las bobinas Rogowski pueden proporcionar baja inductancia y una excelente respuesta a corrientes de cambio rápido dado que tienen núcleos de aire en lugar de núcleos de hierro. Sin un núcleo de hierro que saturar, una bobina Rogowski puede ser altamente lineal incluso en aplicaciones de alta corriente. Además, habiendo reducido las preocupaciones por la saturación, el sistema de protección de bobina Rogowski puede emplear una sola respuesta de pendiente con mayor sensibilidad. También, la geometría de una bobina Rogowski puede proporcionar un sensor de corriente que es significativamente inmune a la interferencia electromagnética.

La presente invención también proporciona un método para detectar corriente de entrada de un transformador de potencia, que comprende las etapas de: detectar una primera derivada temporal principal de corriente utilizando una primera bobina Rogowski; detectar una primera derivada secundaria de corriente utilizando una segunda bobina Rogowski; caracterizado por comparar la primera derivada temporal principal de corriente y la primera derivada temporal secundaria de corriente para determinar una primera derivada temporal diferencial de corriente; muestrear la primera derivada temporal de corriente basada en una proporción de muestreo; y determinar la existencia de una condición de entrada en respuesta a la primera derivada temporal diferencia de corriente muestreada.

El uso de la salida de las bobinas Rogowski, que es proporcional a la derivada de la corriente detectada, los periodos di/dt bajos periódicos en la corriente detectada se usan para detectar condiciones de entrada del transformador de potencia. Pueden proporcionarse técnicas de muestreo temporal discretas para identificar los tramos bajos di/dt dentro de la corriente detectada. La detección efectiva de las condiciones de entrada del transformador de potencia puede permitir el bloqueo del sistema de protección durante la entrada donde la corriente diferencial puede superar el umbral diferencial sin la presencia de un fallo real.

La exposición de los sistemas de protección de transformadores en este resumen es sólo con fines ilustrativos. Diversos aspectos de la presente invención pueden comprenderse y apreciarse más claramente a partir de una revisión de la siguiente descripción de las modalidades descritas y haciendo referencia a los dibujos y a las reivindicaciones siguientes. Además, otros aspectos, sistemas, métodos, características, ventajas y objetos de la presente invención resultarán evidentes para un experto en la materia tras examinar los siguientes dibujos y la descripción detallada. Se prevé que todos estos aspectos, sistemas, métodos, características, ventajas y objetos incluidos dentro de esta descripción, estén dentro del ámbito de la presente invención, y estén protegidos por las reivindicaciones que se acompañan.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un diagrama de circuito que ilustra una representación esquemática de un transformador y un sistema de protección diferencial que utiliza sensores de corriente de bobina Rogowski de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención.

La figura 2 es un gráfico que ilustra pendientes de relé utilizadas en sistemas de protección diferencial para transformadores de acuerdo con un método convencional y de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención.

La figura 3 es una gráfica que ilustra la corriente de entrada de un transformador de potencia y una gráfica correspondiente que ilustra la salida de una bobina Rogowski de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención.

La figura 4 es una gráfica de una salida de bobina Rogowski muestreada mientras detecta la corriente de entrada de un transformador de potencia de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención.

La figura 5 es un diagrama de flujo lógico de un proceso para detectar la corriente de entrada del transformador en un sistema de protección diferencial que utiliza bobinas Rogowski de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la presente invención.

Diversos aspectos de la invención se comprenderán mejor con referencia a los dibujos anteriores. Los elementos y características mostradas en los dibujos no se encuentran a escala, en su lugar se hace énfasis en ilustrar claramente los principios de realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención. Además, ciertas dimensiones pueden ser exageradas para ayudar a comprender visualmente tales principios. En los dibujos, las referencias numéricas indican elementos similares o correspondientes, aunque no necesariamente idénticos, a lo largo de las diversas vistas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES DE EJEMPLO

La presente invención se refiere a un sistema de protección diferencial para transformadores de potencia que utilizan bobinas Rogowski como sensores de corriente y a métodos para detectar corriente de entrada para un transformador de potencia. Utilizando la salida de las bobinas Rogowski, que es proporcional a la derivada de la corriente detectada, los periodos de di/dt bajos periódicos en la corriente detectada se usan para detectar condiciones de corriente de entrada del transformador de potencia. Pueden emplearse técnicas de muestreo de tiempo discreto para identificar las porciones de di/dt bajas en la corriente detectada. La detección efectiva de condiciones de corriente de entrada de un transformador de potencia puede permitir el bloqueo del sistema de protección durante una corriente de entrada donde la corriente diferencial puede superar el umbral diferencial sin la presencia de un fallo real.

La invención puede llevarse a cabo de distintas maneras y no debe construirse como limitación en las realizaciones expuestas en esta memoria; más bien, estas realizaciones se proporcionan de modo que esta descripción será detallada y completa, y transmitirá por completo el ámbito de la invención a aquellos expertos con una experiencia normal en la técnica. Además, todos los "ejemplos" o "realizaciones de ejemplo" dadas aquí están previstas que no sean limitativas, y entre otras cosas están soportadas por las representaciones de la presente invención.

Volviendo ahora a la figura 1, la figura es un diagrama de circuitos que ilustra un transformador 110 y un sistema de protección diferencial 100 que utiliza sensores de corriente de bobina Rogowski 130A, 130B de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente invención. El transformador de potencia 110 puede comprender una bobina para transformador principal 110A y una bobina para transformador secundaria 110B. Corriente alterna (AC) puede conducirse dentro o fuera, de la bobina para el transformador principal 110A a través de un conductor principal 120A. La corriente alterna puede conducirse dentro, o fuera, de la bobina para transformador secundaria 110B a través del conductor principal 120B. La corriente que circula en el conductor principal 120A puede detectarse

mediante una bobina Rogowski del lado principal 130A. La corriente que circula en el conductor secundario 120B puede detectarse mediante una bobina Rogowski del lado secundario 130B. El tramo del sistema 100 entre la bobina Rogowski del lado principal 130A y la bobina Rogowski del lado secundario 130B incluye el transformador 110. Este tramo del sistema entre las bobinas de detección 130A, 130B pueden referirse como la zona de protección del sistema de protección diferencial 100.

La salida de la bobina Rogowski del lado principal 130A es la señal de detección del lado principal 140A. La señal de detección del lado principal 140A puede ser proporcional a la primera derivada temporal de la corriente del lado principal que circula en el conductor principal 120A. La salida de la bobina Rogowski del lado secundario 130B es la señal de detección del lado secundario 140B. La señal de detección del lado secundario 140B puede ser proporcional a la primera derivada temporal de la corriente del lado secundario que circula en el conductor secundario 120B.

Un controlador de protección diferencial 150 puede procesar la señal de detección del lado secundario 140B para detectar corrientes de entrada del transformador y controlar la operación de un relé de protección. En aplicaciones de ejemplo, el controlador de protección 150 puede referirse como el relé. El relé de protección (no ilustrado en la figura 1) puede aislar el transformador 110 cuando ocurre una condición de fallo basado en una salida del controlador de protección 150. Este aislamiento puede proporcionarse mediante un disyuntor u otro dispositivo accionado por el relé de protección. Durante la corriente de entrada, puede tener lugar una gran diferencia entre la corriente que fluye en el conductor principal 120A y la corriente que fluye en el conductor secundario 120B incluso a pesar de que no se presente un fallo dentro de la zona de protección. Al detectar una condición de corriente de entrada, el controlador de protección diferencial 150 puede bloquear la operación innecesaria del relé de protección y los disyuntores de circuito asociados durante la corriente de entrada.

El controlador de protección diferencial 150 puede funcionar para llevar a cabo un proceso que detecta la corriente de entrada del transformador de potencia similar al proceso 500 detallado en la figura 5. El controlador de protección diferencial 150 puede comprender un microprocesador, un microcontrolador, un procesador de señales digitales, un circuito de procesamiento de señales analógicas, un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), una disposición de pasarela de campo programable (FPGA), un sistema sobre chip (SOC), una disposición de pasarela programable compleja (CPLD), lógica digital, lógica combinatoria, lógica secuencial, cualquier otro mecanismo informático, máquina de estado, o cualquier combinación de éstos. El controlador de protección diferencial 150 puede comprender software, firmware, hardware, o cualquier combinación de éstos.

Aunque solamente se ilustra en la figura 1 una sola fase del transformador 110, el sistema de protección 100 puede accionarse con sistemas de energía de fases múltiples. Por ejemplo, bifásicos, trifásicos, u otros transformadores de potencia pueden protegerse. En un sistema trifásico, tres conductores de circuitos llevan tres corrientes alternas de la misma frecuencia donde, al utilizar un conductor como referencia, las otras dos corrientes se retrasarán en el tiempo un tercio y dos tercios de un ciclo, respectivamente. Un transformador de potencia trifásico puede tener tres devanados principales y tres devanados secundarios. Los sensores 130 del sistema de protección diferencial 100 pueden emplearse en cualquiera de las tres fases, cualquiera de dos de las fases o en las tres fases. Incluso si la detección es solo en una o dos de las fases, el relé o los relés de protección, pueden aislar las tres fases del transformador utilizando un disyuntor de circuito u otra operación del dispositivo. Puede utilizarse una indicación de una condición de corriente de entrada en una fase para bloquear cualquiera de los elementos de protección de fases en el relé de protección. Dicha operación puede referirse a un bloqueo de fase cruzada o bloqueo dependiente de fase. De forma alternativa, el relé de protección, o relés, pueden aislar individualmente cada una de las tres fases del transformador.

Regresando de nuevo a la figura 2, la figura es un gráfico 200 que ilustra pendientes de relé utilizadas en sistemas de protección diferenciales para transformadores de conformidad con un método convencional y de conformidad con una realización a modo de ejemplo de la presente invención. El eje horizontal del gráfico 200 representa la corriente que circula a través del transformador desde el conductor principal 120A al conductor secundario 120B. El eje vertical del gráfico representa la corriente diferencial (ΔI). Con referencia al sistema de ejemplo 100 ilustrado en la figura 1, la corriente diferencial es la diferencia entre la corriente que circula en el conductor principal 120A y la corriente que circula en el conductor secundario 120B. Con respecto a esta corriente diferencial, y a lo largo de toda la descripción, debe entenderse que al comparar o sustraer corrientes principal y secundaria pueden implicar en primer lugar ajustar una o ambas corrientes principal o secundaria para la relación del transformador y/o la relación del sensor.

Para evitar de forma errónea la detección de condiciones de fallo por razones tales como saturación del sensor de corriente, el umbral diferencial de un sistema de protección puede ajustarse como un porcentaje de la corriente que atraviesa el transformador. Este ajuste del umbral diferencial puede realizarse al añadir componentes de restricción para estabilizar el relé de protección. La estabilización del relé mejora el comportamiento ya que corrientes pasantes altas necesitarán una corriente diferencial más alta para accionar el relé. Esta cualidad generalmente se caracteriza por la pendiente del relé.

La pendiente de un relé puede ilustrarse como una línea inclinada que relaciona la corriente que atraviesa el transformador con el ajuste del umbral diferencial. La línea se inclina porque una corriente pasante más alta implica el ajuste de un umbral diferencial más alto. Dicha relación puede ilustrarse utilizando una línea inclinada ascendente cuando se traza en un gráfico con corriente pasante sobre el eje horizontal y el umbral de corriente diferencial sobre el eje vertical. En sistemas donde el relé está digitalmente controlado, pueden utilizarse pendientes múltiples para evitar el funcionamiento inapropiado del relé de protección en condiciones que implican la severa saturación del transformador de corriente ocasionada por corrientes de fallo altas.

La curva 210 del gráfico 200 ilustra un ejemplo de una respuesta de relé de doble pendiente que puede verse en sistemas tradicionales que utilizan transformadores de corriente con núcleo de hierro para detectar corriente. Pueden utilizarse múltiples pendientes para evitar funcionamientos inapropiados del relé de protección en condiciones que implican la severa saturación del transformador de corriente. Dicha saturación del transformador de corriente puede ser provocada por corrientes altas de fallo. La pendiente incrementada de la curva 210 en corrientes pasantes más altas representa un incremento en la corriente del umbral diferencial. Dicho incremento en la corriente del umbral diferencial significa que, en corrientes pasantes más altas, una mayor diferencia entre el principal y el secundario es necesario para disparar el relé de protección. En otras palabras, para corrientes pasantes mayores, la sensibilidad del sistema de protección 100 puede necesitar reducirse para evitar un funcionamiento de falso positivo que puede inducirse por una saturación del núcleo elevada en los transformadores de detección en las corrientes más altas.

En un sistema de protección que utiliza bobinas Rogowski 130A, 130B para detectar corriente de acuerdo con una realización de ejemplo de la invención, puede sustancialmente eliminarse la saturación del mecanismo de detección. De este modo, las bobinas de detección 130A, 130B pueden proporcionar una representación más precisa de la corriente que circula en el conductor principal 120A y la corriente que circula en el conductor secundario 120B incluso en funcionamiento de corriente pasante alta del transformador 110. Con una menor necesidad para acomodar errores en la detección de las corrientes, el sistema 100 que utiliza bobinas Rogowski 130A, 130B puede emplear una inclinación de relé más sensible tal como la ilustrada mediante la curva 220 del gráfico 200.

La región 260 del gráfico 200 representa la zona de bloqueo donde el funcionamiento del relé de protección está bloqueado. La región 240 del gráfico 200 representa la zona operativa donde el funcionamiento del relé de protección no está bloqueado. Cuando el funcionamiento del relé de protección está desbloqueado, el relé de protección puede actuar para aislar el transformador de potencia cuando la corriente diferencial supera el umbral diferencial que representa una condición de fallo. La región 250 del gráfico 200 representa una zona donde sistemas basados en el transformador de corriente tradicional bloquearían el funcionamiento del relé, pero donde sistemas basados en bobina Rogowski 100 según una realización de ejemplo de la invención puede permitir que funcione el relé de protección. Esta zona de funcionamiento añadida 250 para tales sistemas basados en bobinas Rogowski puede proporcionar una solución de protección diferencial protectora más sensible.

Volviendo ahora a la figura 3, la figura es un gráfico 310 que ilustra la corriente de entrada de un transformador de potencia 110 y un correspondiente gráfico 320 que ilustra la salida de una bobina Rogowski 130A, 130B de acuerdo con una realización de ejemplo de la presente invención. El gráfico 310 ilustra la corriente de entrada de un transformador de potencia 110. La corriente de entrada es la entrada al transformador de potencia 110 cuando se aplica inicialmente la energía al transformador 110. La corriente de entrada es un arranque transitorio. Cuando un transformador de potencia se alimenta por primera vez, una corriente de entrada mucho mayor que la corriente nominal del transformador puede circular hasta décimas de segunda o más. En una aplicación en red, el transformador 110 puede alimentarse desde el lado principal o desde el lado secundario. Ya que la corriente de entrada puede circular en general solamente hacia un lado del transformador, el gráfico de la corriente de entrada puede estar relacionado con cualquiera de los transformadores de detección 130A, 130B dependiendo del lado del transformador que está siendo alimentado.

El gráfico 320 ilustra la salida de una bobina Rogowski 130A, 130B que detecta la corriente de entrada ilustrada en el gráfico 310. El voltaje que está inducido en la bobina Rogowski es proporcional a la relación de cambio de corriente que se detecta. Esta relación de cambio de corriente también se llama primera derivada temporal de la corriente, o di/dt , o cambio en la corriente con respecto al cambio en el tiempo. Los tramos sensiblemente planos 330 de cada ciclo del gráfico 330 representan periodos de baja relación de cambios de corriente. Estos bajos periodos di/dt 330 pueden utilizarse mediante el controlador de protección diferencial 150 para detectar una condición de entrada. Detectar una condición de entrada puede permitir bloquear el funcionamiento del relé de protección durante la entrada. A pesar de que el umbral diferencial del sistema de protección puede superarse durante la corriente de entrada, puede no haber una condición de fallo real.

Volviendo ahora a la figura 4, la figura es un gráfico 400 de una salida de una bobina Rogowski muestreada 130A, 130B mientras detecta la corriente de entrada de un transformador de potencia 110 de conformidad con una realización a modo de ejemplo de la presente invención. El gráfico 400 ilustra la salida de una bobina Rogowski 130A, 130B detectando la corriente de entrada de un transformador de corriente 110 similar al que se ilustra en el gráfico 320. Los puntos a lo largo de la curva del gráfico 400, de los cuales están marcados tres ejemplos con 420, pueden representar muestras de tiempo discretos, o tomas instantáneas de la salida de la bobina Rogowski 130A,

130B. Las cinco muestras en la región 430 del gráfico 400 pueden representar un bajo periodo di/dt similar a la región 330 del gráfico 320. Dichos periodos bajos di/dt pueden utilizarse por el controlador de protección diferencial 150 para detectar una condición de corriente de entrada. Por ejemplo, el controlador de protección diferencial 150 puede funcionar para detectar múltiples muestras secuenciales que se colocan entre el límite inferior a lo largo de la línea 440B y el límite superior a lo largo de la línea 440A. En dicho ejemplo, cuando múltiples muestras 420 en una hilera se ubican entre los límites 440A, 440B, entonces puede detectarse una condición de entrada y utilizarse para bloquear el funcionamiento del relé de protección.

Volviendo ahora a la figura 5, la figura muestra un diagrama de flujo lógico de un proceso 500 para detectar corriente de entrada del transformador en un sistema de protección diferencial que utiliza bobinas Rogowski según una realización de ejemplo de la presente invención. Ciertas etapas en los procesos o en el flujo de proceso descrito en el diagrama de flujo lógico referido anteceden de forma natural de aquí en adelante otras para que la invención funcione como se describe. Sin embargo, la invención no se limita al orden de las etapas descritas si tal orden o secuencia no altera la funcionalidad de la invención.

En la etapa 510, la corriente que circula en el conductor principal 120A puede detectarse por la bobina Rogowski del lado principal 130A y la corriente que circula en el conductor secundario 120B puede detectarse por la bobina Rogowski del lado secundario 130B. El voltaje inducido en las respectivas bobinas Rogowski es proporcional a la relación de cambio de la corriente que se detecta. Esta relación de cambio de corriente también se llama la primera derivada temporal de la corriente, o di/dt , o cambio en corriente por cambio en el tiempo. De este modo la bobina Rogowski del lado principal 130A envía una señal proporcional a la di/dt principal y la bobina Rogowski del lado secundario 130B envía una señal proporcional a la di/dt secundaria.

En la etapa 530, el procesador 150 muestrea la señal principal di/dt y la señal secundaria di/dt para obtener una representación de tiempo discreto de las dos señales di/dt , también conocido como las señales di/dt muestreadas. Ejemplos de la relación de muestreo pueden ser dieciséis veces por ciclo de la señal de energía, sesenta y cuatro veces por ciclo de la señal de energía, 256 veces por ciclo de la señal de energía, cualquier relación de muestreo permitida por el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, cualquier fracción, factor, o múltiple de ésta, o cualquier otra cantidad adecuada de muestras por ciclo.

En la etapa 535, el procesador 150 sustrae las señales muestreadas di/dt obtenidas en la etapa 530 para calcular un tiempo discreto, o muestreado, la diferencia entre la señal principal di/dt y la señal secundaria di/dt para cada juego de señales di/dt discretas (en otras palabras, para cada señal principal di/dt y secundaria di/dt muestrea al mismo tiempo). La diferencia puede denominarse el diferencial di/dt , o el diferencial muestreado di/dt .

En la etapa 540, el procesador 150 determina si el diferencial muestreado di/dt cae dentro de una relación inferior para al menos un número predeterminado 'n' de muestras secuenciales por ciclo de la señal de energía.

En una realización de ejemplo, el número predeterminado 'n' de muestras secuenciales puede basarse en un porcentaje del número de muestras en un ciclo según la relación de muestreo. Por ejemplo, el número predeterminado 'n' de muestras secuenciales puede ser al menos una quinta parte del número de muestras en un ciclo, una cuarta parte del número de muestras en un ciclo, u otro porcentaje adecuado del número de muestras en un ciclo. En una realización de ejemplo, la relación de muestreo puede ser 16 muestras por ciclo, y el número predeterminado 'n' de muestras secuenciales puede ser tres o cuatro.

En realizaciones de ejemplo, los valores que especifican la baja relación pueden ser una función de la corriente pico, corriente de entrada, o corriente nominal, o puede estar predeterminada para representar bajos valores de di/dt . Por ejemplo, los límites pueden ser más o menos 5%, 10%, 20%, 25%, 30% u otro porcentaje adecuado de cualquier corriente de pico, corriente de entrada o corriente nominal. Estos son meros ejemplos, y cualquier otro límite adecuado puede concretar cualquier otro límite adecuado ya sea como una constante o como una función de algún otro parámetro del sistema adecuado. Un valor típico de alrededor del 10% de una corriente pico puede usarse en una aplicación de ejemplo. La baja relación puede ser la relación entre líneas 440A y 440B como se ha expuesto anteriormente con respecto a la figura 4. La cantidad 'n' puede ser un cuarto del número de muestras por ciclo de energía, como un ejemplo que representa el requisito que los bajos valores estén presentes durante un cuarto del ciclo. La cantidad 'n' también puede ser cualquier otra fracción adecuada del número de muestras por ciclo o cualquier otra cantidad adaptada o previamente determinada. Si la di/dt muestreada no cayese dentro del rango inferior para 'n' muestras secuenciales o más, entonces el proceso regresa a la etapa 530 donde se obtienen las siguientes muestras de las señales di/dt . Si la di/dt muestreada ha estado, de hecho, dentro del rango inferior para 'n' muestras secuenciales o más, entonces el proceso 500 ha detectado una condición de corriente de entrada y procederá a la etapa 550 para bloquear el funcionamiento del elemento de protección diferencial del relé de protección para los siguientes ciclos 'm' como se expone con mayor detalle más adelante con respecto a la etapa 580. El valor 'm' puede ser cualquier número predeterminado de ciclos proporcionados para la corriente de entrada para establecerse en su estado estacionario. De forma alternativa, la cantidad 'm' puede adaptarse a la magnitud de corriente de entrada o la relación de la amortiguación de la corriente de entrada.

En la etapa 560, el procesador 150 obtiene la corriente principal I_p de la principal di/dt así como también la corriente secundaria de la secundaria di/dt . Las corrientes pueden obtenerse a partir de las señales di/dt utilizando una escala y un cambio de fase. Las señales de salida de las bobinas Rogowski tienen voltajes proporcionales a las corrientes que se detectan pero cambiadas 90 grados en fase. De este modo, puede utilizarse un cambio de fase y una corrección de la magnitud escalar en el dominio de frecuencia para obtener las dos señales de corriente de las dos señales di/dt . Alternativamente, pueden obtenerse las corrientes de las señales di/dt a través de la integración más tradicional realizada en el dominio digital, dominio analógico, o por cualquier otro método de integración.

En la etapa 565, la corriente principal I_p y la corriente secundaria I_s pueden sustraerse para obtener I_{diff} o la corriente diferencial. La corriente diferencial puede ser la diferencia entre la corriente del conductor principal 120A y la corriente del conductor secundario 120B.

En la etapa 570, el procesador 150 determina si I_{diff} es mayor que el umbral diferencial. El umbral diferencial puede ser constante, o puede proporcionarse mediante una función de pendiente tal como aquellos ejemplos expuestos anteriormente con respecto a la figura 2. Si el procesador 150 determina que I_{diff} no es mayor que el umbral diferencial, entonces el proceso 500 regresa a través de la etapa 560 para continuar en obtener la corriente diferencial y evaluar la corriente diferencial contra la corriente de umbral. Si se decide que I_{diff} es, de hecho, mayor que el umbral diferencial, entonces puede haber una condición de fallo y el proceso 500 continúa a la etapa 580. Dicha condición de fallo puede ser una condición de fallo potencialmente falsa si el transformador de potencia 110 está en ese momento recibiendo corriente de entrada.

En la etapa 580, el procesador 150 determina si la etapa 550 está bloqueando el relé de protección. Dicho bloqueo puede ser debido a la detección de una condición de entrada. Si el relé de protección es, de hecho, bloqueado entonces el relé no se acciona y el proceso 500 vuelve a la etapa 560 para continuar obteniendo la corriente diferencial y evaluar la corriente diferencial contra el umbral diferencial. Si el relé de protección no está bloqueado, entonces el proceso continúa a la etapa 590 donde se acciona el relé de protección.

En la etapa 590, el relé de protección puede accionarse para aislar el transformador de potencia 110. Dicho aislamiento puede proteger al sistema de potencia de daños o pérdidas debido a fallos en el sistema. Después de accionarse el relé de protección, el sistema puede reajustarse manualmente o de forma automática y el proceso 500 puede entrar nuevamente para proporcionar un sistema de protección continuo.

A partir de lo anterior, se apreciará que una realización de la presente invención supera las limitaciones de la técnica anterior. Aquellos expertos en la materia apreciarán que la presente invención no se limita a la solicitud expuesta de forma precisa y que las realizaciones descritas en esta memoria se ilustran y no limitan. A partir de la descripción de las realizaciones a modo de ejemplo, sugerirán a los expertos en la materia equivalentes de los elementos mostrados, y sugerirán a los propios especialistas de la técnica formas de construir otras realizaciones de la presente invención. Por lo tanto, el ámbito de la presente invención se expone en las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de protección (100) para un transformador de potencia (110) que comprende:

5 Una primera bobina Rogowski (130A) posicionada para detectar una corriente principal asociada con un principal (110A) del transformador de potencia (110) y enviar una señal principal indicativa de la corriente principal;
Una segunda bobina Rogowski (130B) posicionada para detectar una corriente secundaria asociada con un secundario (110B) del transformador de potencia (110) y enviar una señal indicativa de la corriente
10 secundaria;
Un relé de protección (150) configurado para aislar el transformador de potencia cuando se activa el relé de protección; y
Un controlador (150) operativo para activar el relé de protección, caracterizado por el hecho de que el controlador además es operativo para comparar la salida de la primera bobina Rogowski (130A) y la salida
15 de la segunda bobina Rogowski (130B) para obtener una primera derivada temporal diferencial de corriente, para muestrear la primera derivada temporal diferencial de corriente basada en una relación de muestreo, para detectar una condición de corriente de entrada cuando un número predeterminado de muestras secuenciales de la primera derivada temporal diferencial de corriente están dentro de una relación predeterminada, y para evitar la activación del relé de protección en respuesta a la detección de la
20 condición de corriente de entrada.

2. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que el controlador (150) evita la activación del relé de protección (150) al retrasar la activación del relé de protección durante un número predeterminado de ciclos después de la detección de la condición de corriente de entrada.

25 3. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que el número predeterminado de muestras secuenciales se basa en un porcentaje del número de muestras en un ciclo según la relación de muestreo.

30 4. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que el número predeterminado de muestras secuenciales es un cuarto del número de muestras en un ciclo según la relación de muestreo.

5. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que el número predeterminado de muestras secuenciales es al menos un quinta parte del número de muestras en un ciclo según la relación de muestreo.

35 6. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que el controlador (150) puede además actuar para determinar que la activación del relé de protección (150) está justificado en respuesta a una determinación que una diferencia entre la corriente principal y un valor ajustado de la corriente secundaria supera un límite específico, y en el que el controlador evita la activación justificada del relé de protección en respuesta a la detección de la condición de entrada.

40 7. Un método para detectar la corriente de entrada de un transformador de potencia (110), que comprende las etapas de:

45 Detectar una primera derivada temporal de corriente principal utilizando una primera bobina Rogowski (130A);
Detectar una primera derivada temporal de corriente secundaria utilizando una segunda bobina Rogowski (130B); caracterizado por
Comparar la primera derivada temporal de corriente principal y la primera derivada temporal de corriente secundaria para determinar una primera derivada temporal diferencial de corriente;
50 Muestrear la primera derivada temporal diferencial de corriente basado en una relación de muestreo; y
Determinar la existencia de una condición de entrada de corriente en respuesta a la primera derivada temporal diferencial de corriente muestreada cuando un número predeterminado de muestras secuenciales de la primera derivada temporal diferencial de corriente están dentro de una relación predeterminada.

55 8. El método de la reivindicación 7, que comprende además la etapa de bloquear el funcionamiento de un relé de protección (150) en respuesta a una determinación de la existencia de una condición de corriente de entrada.

9. El método de la reivindicación 7, en el que la etapa de determinar la existencia de una condición de corriente de entrada comprende especificar una relación predeterminada para la primera derivada temporal diferencial de corriente e identificar un número predeterminado de muestras secuenciales de la primera derivada temporal
60 diferencial de corriente dentro de la relación concreta predeterminada.

10. El método de la reivindicación 7, en el que la etapa de determinar la existencia de una condición de corriente de entrada comprende identificar un cuarto de muestras por ciclo de energía para estar de forma secuencial dentro de una relación concreta para la primera derivada temporal diferencial de corriente.

65

11. El método de la reivindicación 7, en el que la etapa de determinar la existencia de una condición de corriente de entrada comprende identificar al menos una quinta parte de muestras por ciclo de energía para estar de forma secuencial dentro de una relación concreta para la primera derivada temporal diferencial de corriente.

5 12. El sistema (100) de la reivindicación 1 o el método de la reivindicación 7, en el que la relación de muestreo se realiza dieciséis veces por ciclo, sesenta y cuatro veces por ciclo, y 256 veces por ciclo.

13. El sistema (100) de la reivindicación 1 o el método de la reivindicación 9, en el que la relación predeterminada se basa en un porcentaje de al menos una corriente de pico, una corriente de entrada, y una corriente nominal.

10 14. El sistema o método de la reivindicación 13, en el que el porcentaje es más o menos un 5%, 10%, 20%, 25% y 30%.

15 15. El sistema (100) de la reivindicación 1 o el método de la reivindicación 9, en el que la relación de muestreo es dieciséis muestras por ciclo, y en el que el número predeterminado de muestras secuenciales es de tres muestras o bien de cuatro muestras.

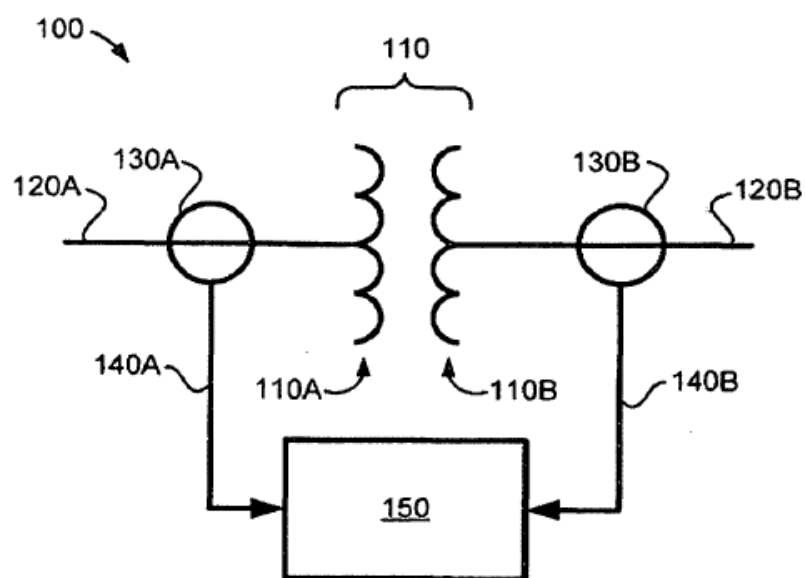


FIG.1

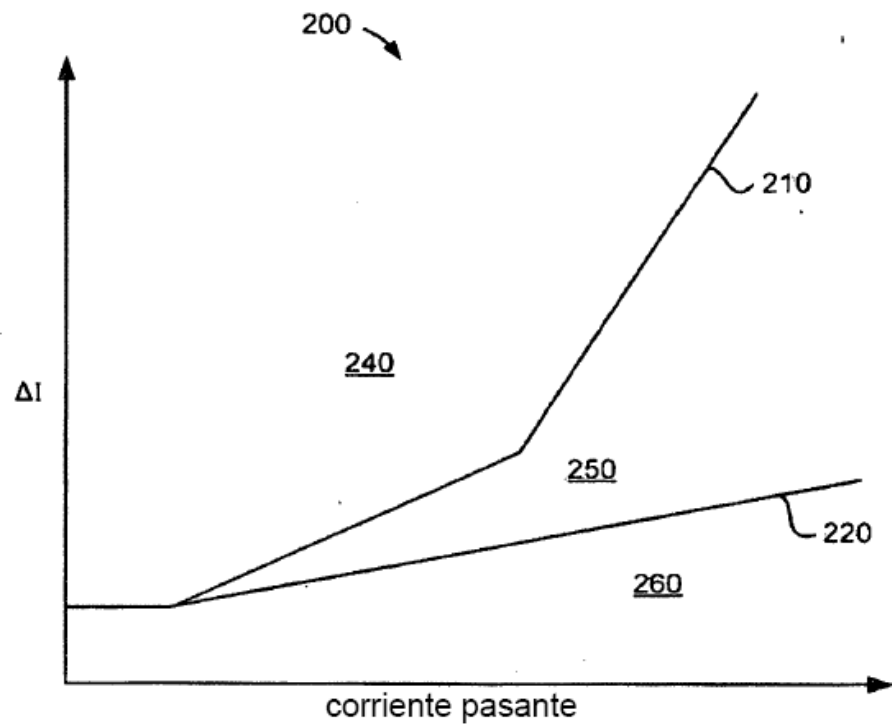


FIG.2

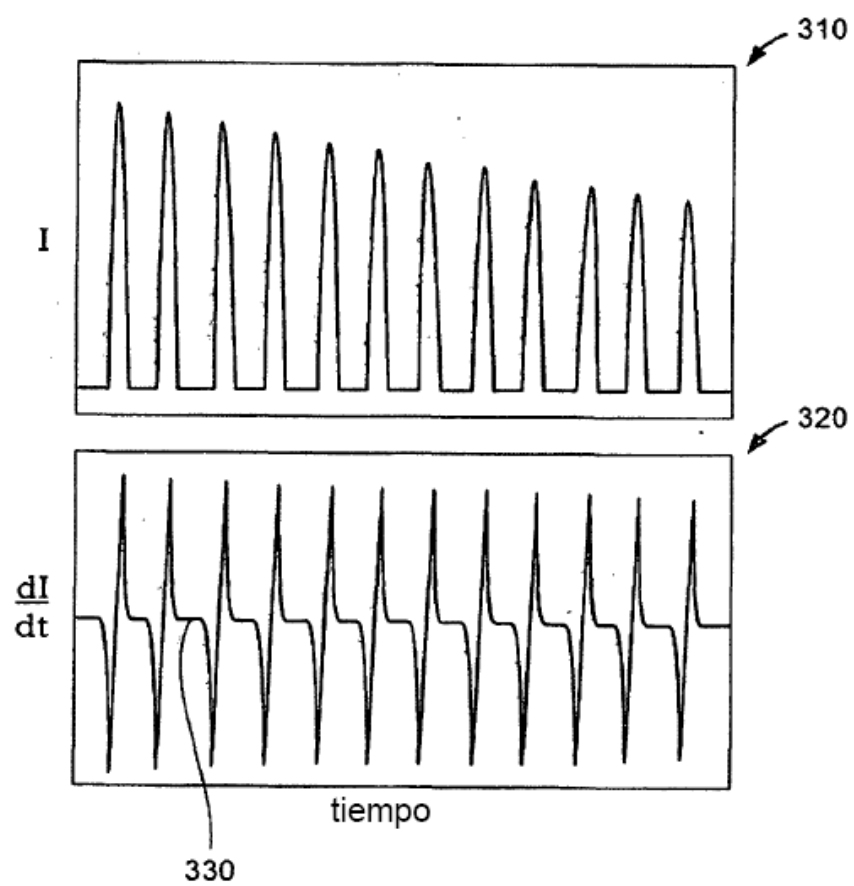


FIG.3

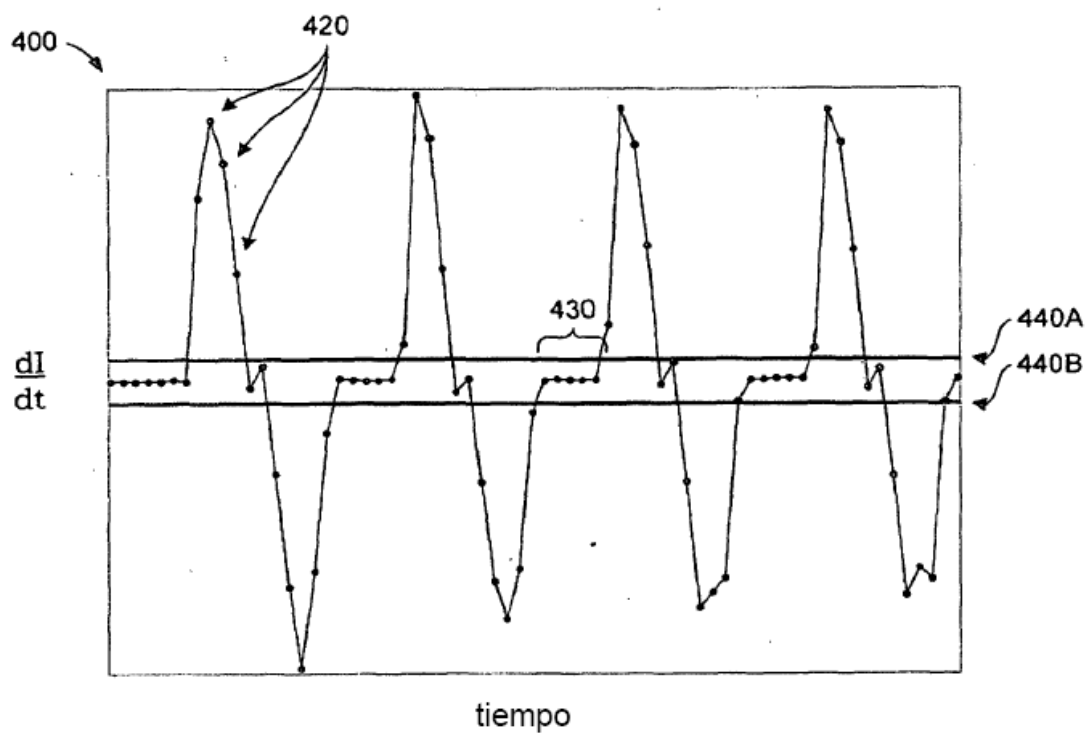


FIG.4

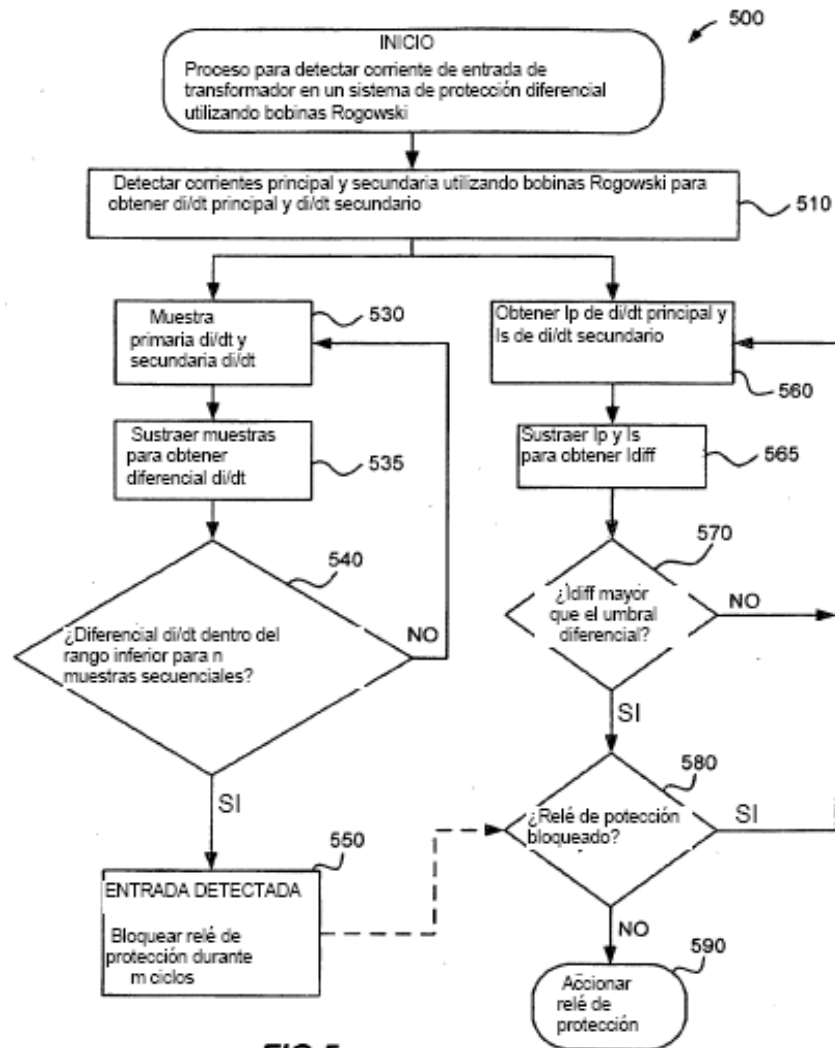


FIG.5