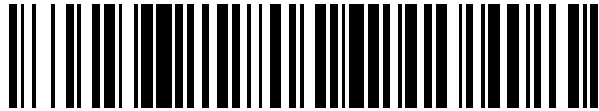


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 473**

51 Int. Cl.:

G01R 31/00	(2006.01)
H02H 5/00	(2006.01)
H02H 7/045	(2006.01)
H02H 3/52	(2006.01)
H02H 3/08	(2006.01)
H02H 3/093	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.03.2013 PCT/US2013/032734**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **31.10.2013 WO13162777**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2013 E 13781983 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 2841955**

54 Título: **Método y aparato para proteger transformadores de energía de perturbaciones magnéticas grandes**

30 Prioridad:

25.04.2012 US 201261687459 P
08.01.2013 US 201313736927

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.06.2019

73 Titular/es:

ADVANCED POWER TECHNOLOGIES, INC.
(100.0%)
215 State Route 10 Bldg. 2 Section 6
Randolph, NJ 07869, US

72 Inventor/es:

HOFFMAN, GARY R.;
KWON, EDWARD S. y
CAI, HONG

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 717 473 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

Método y aparato para proteger transformadores de energía de perturbaciones magnéticas grandes.

Antecedentes de la invención

5 Esta invención reivindica prioridad de una solicitud provisional S/N 61/687459 presentada el 25 de abril de 2012 para un Método y Aparato para Detección de una Saturación de Núcleo de Transformadores de Energía debido a Corrientes Inducidas Geomagnéticamente.

Esta invención se refiere a un problema que sucede cuando corrientes continuas (cc) excesivamente grandes fluyen en la línea neutra puesta a tierra de un transformador de energía (véanse las figuras 1 y 2).

10 Las corrientes de cc excesivamente grandes pueden fluir en la línea de neutro puesta a tierra de un transformador de energía cuando hay presentes grandes perturbaciones electromagnéticas sobre el transformador de energía. El núcleo del transformador de energía puede saturarse y dependiendo de la duración del flujo de corriente de cc excesivamente grande y de la carga aplicada al transformador, el transformador de energía puede dañarse o destruirse. Por consiguiente, un aspecto de la invención se refiere a métodos y aparatos para detectar una saturación de núcleo de transformadores de energía debido a grandes perturbaciones electromagnéticas.

15 Pueden producirse grandes perturbaciones electromagnéticas, por ejemplo, a partir de tormentas geomagnéticas, o incluso a partir de explosiones nucleares. A modo de ejemplo, las erupciones o tormentas solares debidas a la actividad de manchas solares siguen un ciclo de 11 años. Comienzan a aumentar la intensidad cada 11 años y llegan a un pico de tres a cinco años después de que comienza el ciclo. Estas tormentas pueden afectar a los sistemas de comunicaciones y energía a través del mundo. Las erupciones solares emiten una nube de partículas coronales altamente cargadas, conocidas como un evento de protón solar, o "eyección de masa coronal" (CME), que son lanzadas a través del espacio. Si la nube está en la dirección de la atmósfera terrestre, estas partículas pueden ser atrapadas adentro de la magnetosfera de la tierra y pueden causar que la corriente continua (CC) fluya en un dispositivo conectado a la tierra. Adicionalmente, muchos cientos de miles de líneas de alta tensión actúan como una antena que conduce el pulso electromagnético de una erupción solar hacia miles de transformadores en las redes eléctricas mundiales. La energía absorbida puede provocar que muchos transformadores se quemen o resulten en una interrupción y daño en el sistema de distribución eléctrico y muchas pérdidas económicas incluyendo el coste del reemplazo de los transformadores quemados.

20

25

La diferencia de potencial entre la tierra y el aparato eléctrico (por ejemplo, transformadores, motores, y generadores) conectados eléctricamente a la Tierra (tierra) provoca que fluya una corriente continua (CC) que también se puede referir como una corriente inducida geomagnéticamente (GIC). Cuando la línea neutra de un transformador de energía es conectada a tierra, la magnitud de la GIC que fluye en la línea neutra puede variar de unos pocos amperios a varios cientos de amperios que fluyen en la conexión a tierra del transformador de energía y el flujo de corriente puede durar desde varios minutos a por encima de una hora. En el caso de transformadores de energía que tienen un conductor neutro conectado a tierra, la GIC (también referida como I_{NDC}) que fluye/es portada a lo largo del conductor neutro puede provocar que el núcleo del transformador se sature.

30

35

La probabilidad de saturación del núcleo, con respecto a la GIC, depende del diseño del transformador, siendo los diseños más susceptibles los diseños de transformadores monofásicos de cinco columnas y carcasa. Típicamente, estos tipos de transformadores son los más grandes en un sistema de energía y pueden presentar el mayor riesgo para la fiabilidad del sistema si sucede una saturación del núcleo. Aunque diseños con forma de núcleo trifásico son menos susceptibles, también pueden saturarse pero a niveles de GIC altos (por ejemplo, por encima de 100 Amperios).

40

La saturación del núcleo debido a la GIC es altamente indeseable ya que el transformador de energía será incapaz de entregar la energía nominal requerida a la carga. También, sucederá un calentamiento localizado y un sobrecalentamiento general debido al flujo de dispersión que induce corrientes de Eddy en conductores y componentes metálicos dentro del tanque del transformador. Dichas condiciones, si se permite que persistan sin reducir la carga, pueden llevar a un fallo catastrófico del transformador de energía que puede a su vez afectar a todo el sistema de distribución de energía eléctrica.

45

Se conoce monitorizar la corriente neutra de CC (" I_{NDC} ") de un transformador de energía y utilizar la amplitud de la corriente para decidir si retirar o reducir la carga que está siendo portada por el transformador de energía. Sin embargo, basarse únicamente en la detección del nivel de I_{NDC} es problemático ya que la I_{NDC} no predice de forma precisa si está sucediendo realmente la saturación del núcleo. Es muy difícil modelizar un transformador para predecir de forma precisa el nivel de I_{NDC} que provoca la saturación del núcleo. Si sólo se utiliza el nivel de la I_{NDC} , que es igual a la GIC, es posible que un operario del transformador pueda realizar una decisión incorrecta para liberar la carga demasiado rápido o demasiado tarde. La liberación de carga demasiado rápida pondrá a prueba el sistema especialmente si múltiples unidades están indicando el flujo de una GIC excesiva. En realidad, sólo unos pocos, si los hubiera, de los transformadores pueden verse afectados de forma adversa. Sin embargo, si no se retira la carga suficientemente pronto puede provocarse un daño del equipo catastrófico debido al sobrecalentamiento que podría provocar que se viese comprometida la integridad dieléctrica del sistema de aislamiento del transformador.

50

55

- El uso de otros métodos para determinar la saturación del núcleo no ha demostrado ser fiable. Por ejemplo, la medida de armónicos en la corriente RMS en la alta tensión, la baja tensión y los devanados terciarios sin monitorizar la I_{NDC} no es un método fiable para determinar la saturación del núcleo. La razón es que los armónicos específicos asociados con la GIC pueden variar dependiendo del diseño del transformador. Algunos diseños de transformador de energía variarán en su espectro armónico cuando se someten a la GIC que hace extremadamente difícil determinar si los armónicos son un resultado de la GIC o de la carga del transformador o su fuente. Adicionalmente, examinando el flujo de potencia reactiva como medio para determinar si se ha saturado el núcleo del transformador no es 100 por cien fiable ya que siempre habrá un flujo de potencia reactiva (VAR) proporcional a la magnitud de la GIC incluso aunque el núcleo del transformador no esté saturado.
- 5 El documento US2001/0019962 divulga un sistema para la detección de armónicos de daño y señales de corriente continua que suceden en un transformador como resultado de eventos de GIC. Por consiguiente, existe un problema en determinar de forma fiable cuándo un transformador de energía está sometido a una saturación del núcleo como un resultado de perturbaciones electromagnéticas grandes.
- 10 Por lo tanto, esta invención está dirigida a un método y un aparato para una detección de forma más fiable de la saturación del núcleo de un transformador de energía debido a la GIC.
- 15

Resumen de la invención

- Sistemas que implementan la invención incluyen medios para proteger un transformador, que tiene un devanado de entrada y al menos un devanado de salida y una línea neutra retornada a tierra, cuando las condiciones electromagnéticas están presentes provocando que fluyan grandes corrientes en la línea neutra. El sistema protector incluye: (a) medios de detección para detectar el nivel de corriente continua (CC) en la línea neutra (" I_{NDC} " o "GIG") del transformador y para determinar si el nivel de GIC está por encima de un valor predeterminado durante más de un período de tiempo predeterminado y para generar una primera señal de alarma si sucede esta condición; y (b) medios para detectar los armónicos de la corriente presente en el devanado de salida del transformador (o de entrada) conectado a una carga y procesar los armónicos para determinar si muestran un criterio predeterminado durante un período de tiempo dado para generar una segunda señal de alarma cuando la GIC excede un nivel predeterminado durante un período de tiempo predeterminado y los armónicos muestran una condición predeterminada para un período de tiempo preseleccionado.
- 20
- 25

La circuitería para procesamiento de armónicos puede incluir varios circuitos para comparar armónicos pares e impares seleccionados para determinar si han tenido unas ciertas relaciones predeterminadas.

- 30 Los sistemas que implementan la invención cuentan en incluir medios para detectar un nivel de carga (por ejemplo, un nivel de corriente de carga) y generar una tercera señal de alarma si el nivel de carga está por encima de un valor dado cuando los armónicos y la I_{NDC} o la GIC tienen valores que provocan la generación de la segunda señal de alarma.
- 35 Los sistemas que implementan la invención también pueden incluir medios para controlar automáticamente (por ejemplo, reducir) la carga en respuesta a las condiciones de segunda y tercera señal de alarma.

Llevando a la práctica la invención, los operarios y propietarios del equipo de transformador de energía pueden hacer mejores decisiones con referencia al funcionamiento de sus sistemas y promulgar planes de contingencia para manejar la carga y al mismo tiempo evitar que se dañe un transformador de energía con valor y caro.

La invención es definida en las reivindicaciones adjuntas.

- 40 Breve descripción de los dibujos

En los dibujos que acompañan, que no están dibujados a escala, caracteres de referencias similares se refieren a componentes similares; y

La figura 1 es un diagrama esquemático simplificado de un transformador de energía de la técnica anterior que muestra los devanados de la conexión delta-a-estrella típica;

- 45 La figura 2 es un diagrama esquemático simplificado que muestra el flujo de una corriente inducida geomagnéticamente (GIC) en la línea neutra puesta a tierra de un transformador de energía conectado en delta-estrella típica;

La figura 3 es un diagrama de forma de onda que ilustra la forma de onda altamente distorsionada presente en el devanado de salida del transformador cuando el núcleo del transformador se satura;

- 50 La figura 4 es un diagrama que ilustra alguno de los armónicos que pueden estar presentes en los devanados de salida de un transformador cuando el núcleo del transformador se satura;

La figura 5 es un diagrama semiesquemático de semi-bloques detallado de un circuito protector que implementa la invención;

La figura 6 es un diagrama semiesquemático de semi-bloques simplificado de un circuito protector que implementa la invención;

Las figuras 7A y 7B son diagramas esquemáticos de circuitos de temperatura de transformador para el uso con los circuitos de las figuras 5 y 6; y

- 5 La figura 8 es un diagrama de bloques de una circuitería alternativa para el procesamiento de señales armónicas para el uso en la puesta en práctica de la invención.

Descripción detallada de los dibujos

10 Tal y como se señaló anteriormente, las tormentas/erupciones solares provocan una cantidad mayor de lo normal de campos electromagnéticos de alta energía y una cantidad grande de partículas coronales altamente cargadas que viajan hacia la Tierra. Cuando las partículas coronales altamente cargadas entran en la magnetosfera terrestre, hay una mayor probabilidad de interrupción de los sistemas de distribución de energía eléctrica. El nivel de interrupción de los sistemas de energía depende de la relación geoespacial de las partículas cargadas atrapadas en la magnetosfera terrestre y de si esas partículas tienen una energía suficiente para inducir una GIC (I_{NDC}) que exceda niveles predeterminados durante más de un periodo de tiempo dado en la línea neutra puesta a tierra de los transformadores de energía. El efecto de las partículas cargadas en un transformador será diferente dependiendo de su ubicación en la Tierra. El efecto está altamente localizado y actualmente no hay manera de proyectar donde sucederá el mayor impacto en la tierra. Por lo tanto, una función de esta invención es proporcionar una alarma a los operarios y propietarios de transformadores, sea donde estén localizados, de si su sistema está siendo afectado de forma adversa.

20 La figura 1 muestra un transformador de energía, XFR, que tiene un primario (P1) de alta tensión que puede estar configurado, a modo de ejemplo, como una conexión "delta", y el secundario (S1) con devanados que pueden estar configurados, a modo de ejemplo, como una conexión de "estrella". El secundario tiene 3 devanados de fase (X1, X2, X3) y una conexión 11 central conectada a través de la línea 12 neutra a la toma de Tierra.

25 Los devanados pueden estar enrollados alrededor de un núcleo laminado de acero con alto contenido en silicio. Durante un funcionamiento normal del transformador no hay corriente fluyendo en el conducto neutro (es decir, no hay componentes de secuencia nulos). Sin embargo, puede fluir corriente en la columna neutra del transformador bajo ciertas condiciones, tales como: (1) si hay un desequilibrio entre las fases que resulta en un flujo de corriente de CA en el neutro; (2) fallos de fase a fase o de fase neutro que puede tener un desfase de CC que decae generalmente dentro de unos pocos 100 ciclos; o (3) una gran perturbación electromagnética que provoca que fluya una GIC, que es principalmente una corriente de CC.

30 Cuando hay un fallo de fase a tierra habrá una magnitud de componentes de secuencia nulos cuya magnitud es dependiente de la impedancia del fallo. Bajo un fallo de fase a tierra la forma de onda de corriente puede hacerse altamente distorsionada pero raramente contiene componentes de CC o armónicos de bajo orden que duren un periodo de tiempo significativo.

35 Sin embargo, cuando sucede una perturbación electromagnética significativa, la corriente de CC (I_{NDC} o "GIC"), tal y como se muestra en la figura 2, fluirá en la línea 12 neutra del transformador que puede variar de varios amperios hasta por encima de varios cientos de amperios. La perturbación puede provocar que fluya la GIC desde varios minutos hasta por encima de una hora. Si la magnitud de la GIC es lo suficientemente grande, el núcleo de transformador empezará a saturarse debido, en parte, a la magnitud del flujo de dispersión que es dependiente del flujo presente en el núcleo que a su vez es una función de la carga del transformador y que provoca que el transformador se dañe. Cuando se satura el núcleo del transformador, aumentará el calentamiento debido al flujo magnético de dispersión que induce corrientes de di en placas de sujeción, paredes de tanque, devanados y otros componentes metálicos presentes. Si el transformador es cargado a, o cerca de, su nivel nominal, el resultado neto será para el transformador funcionará estos niveles con un sobrecalentamiento significativo que lleva a una pérdida de integridad dieléctrica del sistema de aislamiento del transformador y por tanto un fallo del transformador.

45 La magnitud del GIC, dentro y fuera del mismo, puede que no determine que el núcleo de transformador está sufriendo una saturación. Sin embargo, cuando el núcleo no sufre saturación, las formas de onda de CC en los devanados de salida (secundarios), también referidas como "conductores de fase", se distorsionan altamente tal y como se muestra en la figura 3 produciendo señales armónicas. Los solicitantes reconocieron que la detección y el análisis de armónicos presentes en los devanados de salida se pueden utilizar para determinar el alcance real de saturación del núcleo.

50 Los solicitantes también reconocieron que cuando el núcleo se satura hay un aumento significativo en el nivel de armónicos pares. Los solicitantes también reconocieron que cuando sucede una saturación del núcleo debido a una perturbación electromagnética, el armónico par siempre será mayor que el armónico impar adyacente (de orden mayor) tal y como se muestra en la figura 4. Es decir, el 2º armónico será mayor que el 3º armónico, el 4º armónico será mayor que el 5º armónico y así sucesivamente. Por consiguiente, los sistemas que implementan la invención incluyen circuitería para el análisis y procesamiento de ciertas relaciones entre los armónicos "pares" e "impares" adyacentes de un orden más alto.

5 Por tanto, los sistemas y circuitos que implementan la invención (véanse las figuras 5 y 6), detecta la amplitud de la corriente (GIC) que fluye en la línea neutra del transformador y detecta la naturaleza de los armónicos presentes en la corriente de carga. En los dibujos, la corriente de carga es detectada conectando un transformador de corriente a un devanado de salida para determinar si existe una condición de núcleo saturado potencialmente peligrosa. [Sin embargo, esto también se podría hacer detectando los armónicos reflejados en los devanados primarios].

10 En la figura 5, la línea 12 neutra puesta a tierra del transformador T1 está conectada a un transductor 101 de efecto Hall para detectar el nivel de corriente de CC (I_{NDC} o GIC) que fluye en la línea neutra. De forma alternativa, el nivel de corriente podría medirse utilizando una resistencia conectada en serie y detectar la tensión desarrollada. El transductor 101 de efecto Hall está diseñado para detectar tanto flujos de corriente positivos como negativos y para producir una señal que representa la magnitud absoluta de la señal de CC medida. El transductor 101 de efecto Hall está conectado a la entrada de un amplificador/filtro 103 de magnitud absoluta cuya salida es aplicada a la entrada de un comparador 105 polarizado con un nivel 106 de umbral de corriente de CC predeterminado. El nivel 106 de umbral es seleccionado basándose en el diseño del transformador. Cuando la magnitud de la señal del amplificador 103 excede el nivel 106 de umbral aplicado al comparador 105, la salida del comparador cambia de estado (por ejemplo, hacerse alto) indicando una condición de GIC expresiva. Por tanto, el nivel de la GIC (es decir, I_{NDC}) se puede detectar a través del uso de un sensor de corriente de CC tal como sensor de efecto Hall (por ejemplo, 101) para medir el flujo de corriente de CC en la línea neutra. De forma alternativa, la GIC se puede determinar midiendo la tensión a través de una resistencia de derivación (no mostrada) en serie con la terminación de línea neutra del transformador.

20 Niveles excesivos de GIC (es decir, I_{NDC}) (aquellos que provocan que se exceda el umbral 106) que duran menos de varios minutos no son en general un problema. Sin embargo, niveles de GIC excesivos que duran más de varios minutos son un problema importante y necesitan ser abordados. Por lo tanto, la salida del comparador 105 es alimentada a un circuito 107 temporizador cuya función es cambiar el estado (por ejemplo, hacerse alto) sólo si la condición de GIC excesiva dura más de un período (tD) de tiempo predeterminado. Si la condición de GIC dura menos de un período (tD) de tiempo predeterminado, la salida del circuito 107 temporizador no cambiará el estado. Sin embargo, si la condición de GIC dura más de un período (tD) de tiempo predeterminado, la salida del circuito 107 temporizador cambiará el estado produciendo una primera señal de alarma (Alarma GIC Menor) que indica que está sucediendo una condición de GIC de magnitud y duración significativas. Esta primera señal (Alarma GIC Menor) se puede utilizar para proporcionar una alerta auditiva o visual al propietario/operario del transformador de que el transformador está siendo sujeto a una condición de GIC excesiva en la línea neutra del transformador.

30 Otro aspecto de la invención incluye circuitería para medir las corrientes de pase en devanados seleccionados de los devanados de salida del transformador, XFR. [Tal y como se señaló anteriormente, la detección de armónicos también se podría realizar mirando al devanado primario]. En las figuras 5 y 6, se muestra un transductor 201 conectado sobre el devanado X1 del conducto de fase de salida. El transductor 201 de corriente utilizado para detectar la corriente de carga en el conductor de fase puede ser un transformador de corriente de núcleo (CT) dividido conectado sobre el conducto secundario del casquillo CT. [Se ha de señalar que esto es a modo de ejemplo únicamente y que se pueden utilizar otros esquemas de detección de corriente conocidos]. El secundario del núcleo CT 201 dividido está conectado a un amplificador/filtro 221 que incluye circuitos de filtrado utilizados para eliminar frecuencias por encima de la tasa de muestreo que podrían resultar en errores y no se filtran de forma apropiada.

40 La salida del amplificador/filtro 221, que es una señal analógica, se aplica a un convertidor 223 de analógico a digital (A/D) de alta precisión que funciona para muestrear y convertir la señal desde el dominio analógico al dominio digital. Una vez que se recupera el equivalente digital mostrado, se puede procesar para derivar los armónicos individuales presentes en la forma de onda utilizando técnicas de Transformadas de Fourier Rápidas.

La Ecuación [1] es una fórmula utilizada para extraer los armónicos individuales contenidos en la forma de onda mostrada con respecto a una frecuencia $f(t)$ fundamental.

45
$$F_n = 1/m \sum_{k=0}^{m-1} f_k e^{-j2\pi kn / m} \quad [1]$$

Donde: $f(t)$ = frecuencia fundamental de la señal;

$$f_k = f(k\Delta t) , \Delta t = 1/(m \times f(t)); \quad [2]$$

n = el armónico de número entero de la frecuencia $f(t)$ fundamental;

m = el armónico de número entero máximo de la fundamental que se va a examinar; y

50 k = la muestra discreta.

A modo de ejemplo, para el quinto armónico $m=5$ y a la frecuencia fundamental de 60 Hz, la tasa de muestreo mínima para evitar el error de solapamiento es de 600 muestras/segundo.

5 Los bloques 223 y 225 defunción derivan los armónicos $h_2 - h_n$ y alimentan a los armónicos h_e pares (o F_e) y armónicos h_{e+1} impares adyacentes (o F_{e+1}) donde $e= 2, 4, 6, \dots, m$ en pares divisores individuales que derivan la relación de armónicos pares con respecto a impares adyacentes (un orden más alto).

10 En la figura 5, la salida del convertidor 223 A/D es aplicada a un procesador 225 de Fourier que está diseñado para producir los armónicos 2º, 3º, 4º, 5º, 8º y 7º ($h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7$) de la señal de carga. Los armónicos 2º y 3º son alimentados a un primer divisor d_1 ; los armónicos 4º y 5º son alimentados a un 2º divisor d_2 ; y los armónicos 6º y 7º son alimentados a un tercer divisor d_3 . La salida Od_1 del divisor d_1 es alimentada a un comparador C1, la salida Od_2 del divisor d_2 es alimentada a un comparador C2; y la salida Od_3 del divisor d_3 es alimentada a un comparador C3.

15 Cada salida (Od_1, Od_2, Od_3) de los divisores (d_1, d_2, d_3) tendrán una cierta condición de señal (por ejemplo, "Baja") cuando el armónico impar (por ejemplo, h_3, h_5, h_7) es mayor que su armónico par correspondiente adyacente (de orden más bajo) (por ejemplo, h_2, h_4, h_6) y tendrá las otras condiciones de señal (por ejemplo "Alta") si el armónico par adyacente (de orden más bajo) (por ejemplo, h_2, h_4, h_6) es mayor que, o igual a, el armónico impar allá frente (de orden más alto) (por ejemplo, h_3, h_5, h_7).

20 La salida (Od_1, Od_2, Od_3) de cada divisor es alimentada en una primera entrada de un comparador (C1, C2, C3) numerado de forma correspondiente. Se aplica una señal (T1, T2, T3) de umbral a una segunda entrada de cada comparador numerado de forma correspondiente. Los umbrales T1, T2 y T3 son generados por circuitos 230, 232 y 234 que establecen una relación requerida de: (a) el 2º y el 3er armónico para determinar T1; (b) el 4º y el 5º armónico para determinar T2; y (c) el 6º y 7º armónico para determinar T3.

Cada comparador (C1, C2, C3) tiene una salida que es aplicada y que activa un circuito (M1, M2, M3) temporizador correspondiente. Cada comparador (C1, C2, C3) activa su temporizador (M1, M2, M3) cuando el armónico par (véase la figura 4) en su entrada es mayor que el armónico impar adyacente en su entrada un nivel predeterminado. Si es mayor, el comparador cambiará el estado y activará su temporizador de arranque configurable correspondiente.

25 Cada temporizador (M1, M2, M3) correspondiente cambiará de estado (por ejemplo, se hace Alto) sólo si es activado por su comparador correspondiente durante la duración de tiempo completa para la cual se establece el temporizador (M1, M2, M3). La configuración de tiempo del temporizador se basa en durante cuánto tiempo el usuario es capaz de ignorar el efecto de una saturación del núcleo. Las salidas (OM1, OM2, OM3) de los temporizadores (M1, M2, M3) de arranque de relación de armónico se pueden referir en este caso y en las reivindicaciones adjuntas como "señales de estado armónico". Las señales OM1, OM2 y OM3 son alimentadas a una entrada de una puerta (G1, G2, G3) AND de dos entradas numeradas de forma correspondiente.

30 La segunda entrada de las puertas G1, G2, G3 AND es conectada a la salida de una puerta G5 AND de dos entradas. Las dos entradas de la puerta G5 AND son: (1) la salida del temporizador 107 en la cual se produce la primera señal de alarma (es decir, alarma GIC menor) que es indicativa de que la I_{NDC} está siendo excesiva; y (2) una señal del temporizador M5 que es generada cuando KICARGA excede un 1º Umbral (T5) de Carga predeterminado. Hasta que la carga representada por KICARGA exceda un valor T5 de umbral predeterminado, la salida de la puerta G5 "deshabilita" las puertas G1, G2 y G3. La salida del comparador C5 controla el temporizador M5 que es aplicado a una entrada de la puerta G5 AND de dos entradas y controla su salida para inhibir la generación de una Alarma GIC Mayor si el transformador está bajo una condición ligeramente cargada incluso aunque el núcleo de transformador pueda ser saturado. Dicha saturación (bajo una carga ligera) no pone en peligro el funcionamiento del transformador y por lo tanto se puede ignorar. (Señalar: un cliente puede optar por desviar C5 y M5 y tener una señal de Alarma Menor conectada a una entrada de las puertas G1, G2 y G3).

35 La salida de las puertas G1, G2 y G3 AND se aplica a las entradas de una puerta OR, OR1, que tiene una salida 260 en la cual se produce una segunda señal de alarma, también identificada como una alarma GIC Mayor. La alarma GIC Mayor indica que está presente un nivel GIC excesivo y hay una magnitud suficiente de armónicos de CA que evidencian una saturación del núcleo del transformador, y también que la corriente de carga excede un 1º Umbral (T5) de Carga. La segunda señal de alarma (Alarma GIC Mayor) puede ser utilizada para proporcionar una alerta auditiva o visual al propietario/operario del transformador de que el transformador está siendo sujeto a una condición de IGC excesiva en la línea neutra del transformador y que el núcleo del transformador se está saturando.

40 Se puede usar una circuitería adicional que comprende un comparador C4, un temporizador M4 y una G4 AND para determinar si la corriente de carga es demasiado alta cuando el núcleo de transformador está saturado y para producir una señal identificada como una Alarma CIG Crítica. La salida 260 de la puerta OR1 OR también se aplica a una entrada de las dos puertas G4 AND de entrada. La segunda entrada a la puerta G4 AND está conectada a la salida del temporizador M4 que es controlado por el comparador C4 sensible al nivel de corriente de carga y un umbral (T4) de arranque de carga. Si la corriente (KI_{CARGA}) de carga excede el umbral (T4) de arranque de carga, la salida del comparador C4 cambia de estado (por ejemplo, se hace alta) y controla el temporizador M4 y establece su entrada (por ejemplo, ALTA) si la corriente de carga excede el umbral T4 de carga para un periodo de tiempo predeterminado. La salida de M4 y la salida 260 de la puerta OR1 OR se aplican a las dos entradas de la puerta G4 AND. Entonces, sí

(a) la salida del temporizador 107 indica que el nivel de GIC ha sido alto durante más de un periodo de tiempo predeterminado; (b) la salida de la puerta OR1 OR indica que los contenidos de armónico de la señal de carga es indicativo de la saturación del núcleo; y (c) la carga de corriente está por encima de un umbral predeterminado, la puerta G4 produce una señal de salida que puede ser denominada como una Alarma GIC Crítica.

5 Se ha mostrado por tanto que la saturación del núcleo del transformador de energía se puede determinar de forma fiable detectando la corriente que fluye en la línea neutra y su duración y detectando los armónicos presentes en las líneas de entrada o de salida del transformador. Basándose en la determinación de que existe en la saturación del núcleo y su duración se puede tomar una acción de corrección para evitar el daño en el transformador. Esto es importante ya que, tal y como se señaló anteriormente, la saturación del núcleo debido a la GIC provoca flujos de dispersión que pueden ser de una magnitud muy grande. Los flujos de dispersión de magnitud grandes provocarán un calentamiento mayor a extremo. El calentamiento anormal provoca dos problemas: (1) una degradación general del material de aislamiento en la ubicación del punto caliente provocado por el flujo de dispersión; y (2) un calentamiento extremo en una ubicación donde hay agua en el aceite o el material de aislamiento se puede convertir en vapor de agua que provoca una presión de vapor indebida y dañina y una rotura de la integridad dieléctrica.

10 La figura 6 es un diagrama de bloques que incluye circuitería del tipo mostrado en la figura 5, y un bucle de realimentación (la 3ª señal de alarma al control de carga) para controlar automáticamente una reducción en la carga cuando sucede una condición de alarma GIC crítica. La figura 6 incluye: (1) una circuitería contenida en el bloque 60 para detectar la amplitud de I_{NDC} o GIC y su duración con el fin de producir una 1ª señal de alarma; (2) una circuitería contenida en el bloque 62 para detectar la amplitud del contenido armónico de la corriente de carga (I_{CARGA}) y su duración con el fin de producir una 2ª señal de alarma en la salida y una red 63 AND, si la 1ª señal de alarma está presente; y (3) una circuitería contenida en el bloque 64 para detectar la amplitud de la corriente de carga (I_{CARGA}) y su duración con el fin de producir una 3ª señal de alarma o crítica en la salida de una red G4 AND, si está presente la 2ª señal de alarma. En la figura 6, la señal alarma GIC crítica es realimentada al módulo 68 de control de carga para reducir automáticamente la carga cuando está presente una condición de alarma crítica.

15 La saturación del núcleo y las corrientes grandes que pueden influir pueden provocar que la temperatura del transformador de energía se eleve por encima de ciertos valores críticos. Por lo tanto es deseable generar una condición alarma cuando hay una indicación de la saturación del núcleo y una temperatura en exceso de un valor crítico. Las figuras 7A y 7B muestran dos circuitos diferentes para detectar la temperatura del transformador de energía y si existe una saturación del núcleo.

20 En la figura 7A, un sensor de temperatura, que puede ser un dispositivo conocido para detectar directamente o indirectamente la temperatura del transformador, se aplica a una entrada de un comparador C6. La otra entrada del comparador C6 es un nivel T6 de temperatura umbral. Cuando el sensor de temperatura indica que la temperatura del transformador excede la temperatura T6 umbral, se produce una señal Tc de temperatura crítica (por ejemplo, Alta) en la salida del comparador C6. La señal Tc de temperatura crítica se aplica a una puerta 720 OR. De forma concurrente, el umbral (T4) de arranque de carga y la corriente (KI_{CARGA}) de carga se aplican a un comparador C4 para producir una señal OC4 de salida que asume una condición (por ejemplo, Alta) cuando la corriente de carga está por encima del valor umbral de T4. La señal OC4 también se aplica a una puerta 720 OR cuya salida se aplica a un temporizador M4, tal y como se muestra en la figura 5. La salida OM4 de M4 podría por tanto ser activada (por ejemplo, hacerse Alta) si o bien: (a) la corriente de carga está por encima de un valor (T4) crítico o (b) la temperatura del transformador está por encima de un valor (T6) crítico. Si está presente una alarma GIC mayor, podría entonces producirse una señal de alarma GIC crítica la cual sería una función de un nivel de temperatura de transformador o nivel de corriente de carga.

25 En la figura 7B, el sensor de temperatura y el umbral T6 de temperatura son aplicados a un comparador C6 cuya salida Tc es aplicada a una entrada de una puerta 722 AND. La otra entrada a la puerta 722 AND es la salida de una puerta G4 AND, tal y como se muestra en la figura 5, cuya salida es la señal de alarma GIC crítica. Por consiguiente, el circuito de la figura 7B produce una 4ª señal de alarma cuando está presente la 3ª señal de alarma (GIC crítica) y la temperatura del transformador está por encima del valor T6 crítico.

30 Debería señalarse que los circuitos particulares mostrados tienen el propósito de ilustración y que la invención puede llevarse a la práctica utilizando diferentes circuiterías que la mostrada para detectar la amplitud de la corriente que fluye en la línea neutra y para detectar los armónicos presentes cuando se satura el núcleo y que las alarmas pueden ser dispositivos auditivos y/o pantallas electrónicas.

35 Adicionalmente al uso mencionado anteriormente de las relaciones de armónico, el uso de la distorsión de armónico par total (THD_E) frente a la distorsión de armónico impar total (THD_O) se puede utilizar para implementar esta invención tal y como se muestra en la figura 8. Los armónicos (h_2, h_4, h_6) pares se pueden procesar a través de un procesador P1 para producir THD_E .

donde

$$THD_E = \sqrt{h_2^2 + h_4^2 + h_6^2} \quad [3]$$

y, donde h_2, h_4, h_6 son los 2º, 4º y 6º armónicos respectivos,

Los armónicos (h_3, h_5, h_7) impares se pueden procesar a través de un procesador P2 para producir THD_O , donde

$$THD_O = \sqrt{h_3^2 + h_5^2 + h_7^2}$$

y donde h_3, h_5, h_7 son los 3º, 5º y 7º armónicos respectivos.

- 5 Las señales THD_E y THD_O pueden ser entonces aplicadas a un procesador P3 para comparar y procesar la relación de THD_O con respecto a THD_E , y si la relación resultante excede una condición umbral preestablecida, se puede iniciar un temporizador M8 que puede ser "AÑADIDO" por la puerta G8 con la salida de una puerta G5 (véase la figura 5) para producir una señal de Alarma GIC Mayor.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema para la protección de un transformador que tiene: (a) un devanado de entrada, (b) al menos un devanado de salida destinado a ser conectado a una carga, y (c) que tiene una línea neutra retornada tierra, y en donde cuando el transformador está sujeto a condiciones electromagnéticas pueden fluir corrientes excesivas en la línea neutra y provocar que el núcleo del transformador se sature, el sistema protector está caracterizado porque incluye la circuitería:
- 10 (a) para detectar un nivel de la corriente que fluye en la línea neutra, de aquí en adelante referida como " I_N " y para determinar si el nivel de I_N está por encima de un valor predeterminado para más de un periodo de tiempo predeterminado y para generar una primera señal cuando sucede esta condición;
- 15 (b) para detectar armónicos pares seleccionados y armónicos impares seleccionados de la corriente que fluye en el devanado de salida conectado a la carga y procesar y comparar los armónicos impares seleccionados con los armónicos pares seleccionados para determinar si están presentes ciertas relaciones pertenecientes a la comparación de los armónicos pares e impares indicativos de la saturación del núcleo para una duración de tiempo preseleccionada y para producir una señal estado de armónicos correspondiente a los mismos; y
- (c) sensible a la primera señal y a la señal de estado de armónicos para producir una segunda señal.
- 20 2. Sistema según la reivindicación 1, en donde dicha primera señal es una primera señal de alarma y en donde dicha segunda señal es una segunda señal alarma y además que incluyen circuitería para detectar el nivel de la corriente de carga y para generar una tercera señal de alarma y el nivel de corriente de carga está por encima de un valor dado y está presente dicha segunda señal de alarma.
3. Un sistema según la reivindicación 2, en donde dicha primera, segunda y tercera señales incluyen al menos una alarma visual o auditiva.
- 25 4. Un sistema según la reivindicación 1 en donde dicha circuitería para detectar los armónicos de la corriente que fluye en la carga incluye un convertidor analógico a digital y un procesador de señal de Fourier para producir armónicos pares impares seleccionados y medios para determinar si están presentes ciertas relaciones predeterminadas entre los armónicos impares y pares indicativos de la saturación del núcleo.
5. Un sistema según la reivindicación 4, en donde cada armónico par y el siguiente armónico impar adyacente más alto se aplican a un comparador correspondiente para producir una señal cuando el armónico excede al siguiente armónico adyacente impar más alto mediante una cantidad predeterminada.
- 30 6. Un sistema según la reivindicación 5, en donde cada dicho comparador correspondiente está conectado a un temporizador configurado para producir una señal estado armónico cuando un armónico par excede al siguiente armónico impar adyacente de orden más alto mediante una cantidad predeterminada para el período de tiempo preestablecido.
- 35 7. Un sistema según la reivindicación 1, en donde dicha circuitería para detectar armónicos par e impar seleccionados incluye un transformador de corriente conectado a dicho al menos un devanado de salida y en donde se conecta una carga a dicho devanado de salida.
8. Un sistema según la reivindicación 1 en donde dicha circuitería para detectar el nivel de corriente que fluye en la línea neutra incluye un dispositivo de efecto Hall para medir la GIC que fluye en la línea neutra.
- 40 9. Un sistema según la reivindicación 2 que incluye medios, sensibles a la tercera señal conectados a la carga para reducir automáticamente el nivel de corriente de carga.
- 45 10. Un sistema según la reivindicación 1 en donde dicha primera señal es una primera señal de alarma y en donde dicha segunda señal es una segunda señal de alarma y además incluye circuitería para detectar el nivel de la corriente de carga y la temperatura del transformador y generar una tercera señal de alarma si dicha segunda señal de alarma está presente y o bien el nivel de corriente de carga está por encima de un valor dado o la temperatura del transformador está por encima de una temperatura dada para un período de tiempo predeterminado.
- 50 11. Un sistema según la reivindicación 1, en donde una primera señal es una primera señal de alarma y en donde dicha segunda señal es una segunda señal de alarma y además que incluye una circuitería para detectar el nivel de la corriente de carga y generar una tercera señal de alarma si el nivel de corriente de carga está por encima de un valor dado y si dicha segunda señal de alarma está presente y además incluye circuitería para detectar la temperatura del transformador y producir una señal de temperatura crítica si la temperatura del transformador está por encima de un valor predeterminado y producir una cuarta señal de alarma si está presente la tercera señal de alarma.
12. Un sistema según la reivindicación 1, en donde dicha primera señal es una primera señal de alarma y en donde dicha segunda señal es una segunda señal de alarma y además que incluye una circuitería para detectar el nivel de

la corriente de carga y para inhibir la producción de dicha segunda alarma si la corriente de carga está por debajo de un nivel predeterminado.

- 5 13. Un transformador de energía que tiene un devanado de entrada para recibir una tensión de entrada y un devanado de salida destinado para ser conectado a una carga, dicho transformador que también tiene una línea neutra que es retornada tierra, y en donde pueden fluir corrientes excesivas en la línea neutra y provocar que el núcleo del transformador se sature; y

que incluye un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1, 2, 9, 10 y 11.

14. Un sistema según la reivindicación 1, que además comprende:

- 10 una circuitería para detectar el nivel de la corriente de carga y para determinar si está por encima de un valor dado y producir una señal de corriente de carga indicativa del mismo; y

en donde dicha circuitería sensible a la primera señal y la señal de estado de armónicos para producir una segunda señal también incluye medios sensibles a los seleccionados de: (a) dicha primera señal; (b) dicha señal de corriente de carga; y (c) dicha señal de estado de armónicos para producir señales de alarma cuando existe una de dichas señales para más de un período de tiempo predeterminado.

- 15 15. Un sistema según la reivindicación 14, en donde dicha primera señal es una primera señal de alarma y se produce cuando la corriente (I_N) que fluye en la línea neutra está por encima de un valor predeterminado para más de un período de tiempo predeterminado; y en donde dicha segunda señal es una segunda señal de alarma y es producida si está presente la primera señal y está presente la señal de estado de armónicos indicativa de la saturación del núcleo y la corriente de carga está por encima de un primer nivel.

20

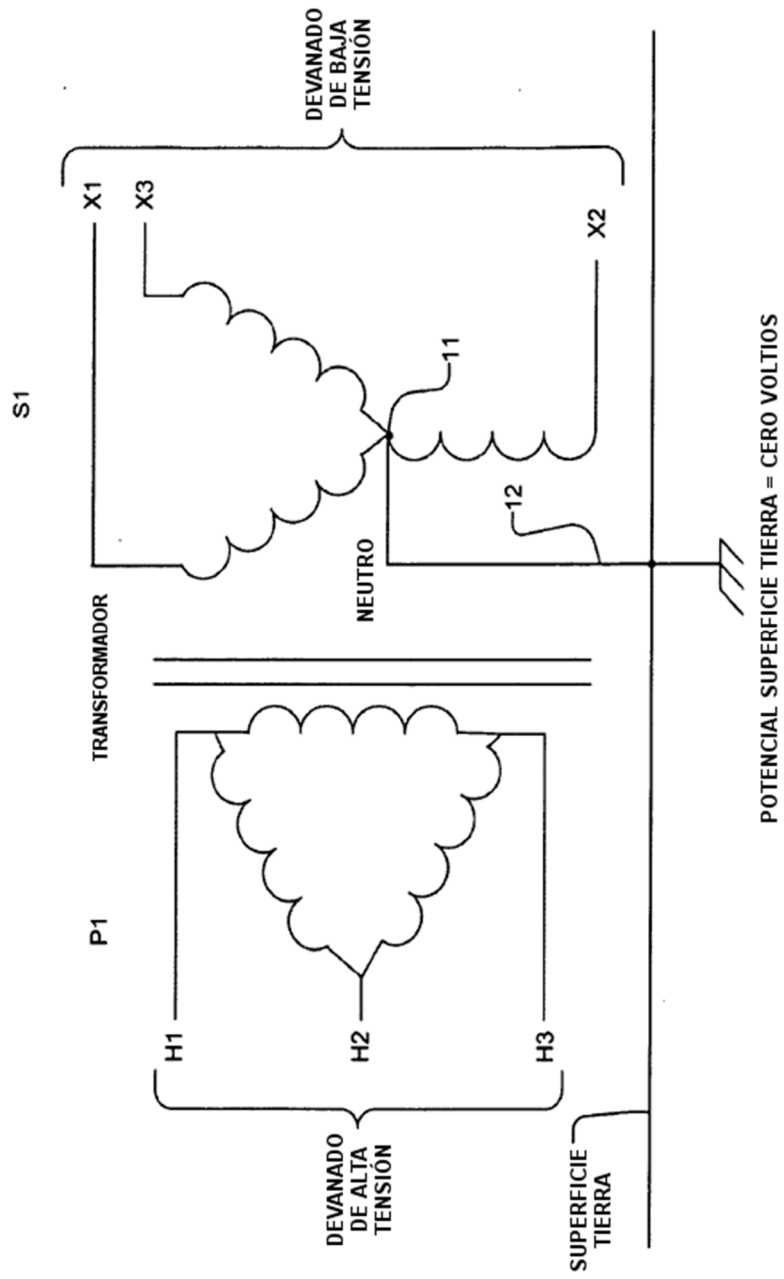


FIGURA 1 TÉCNICA ANTERIOR

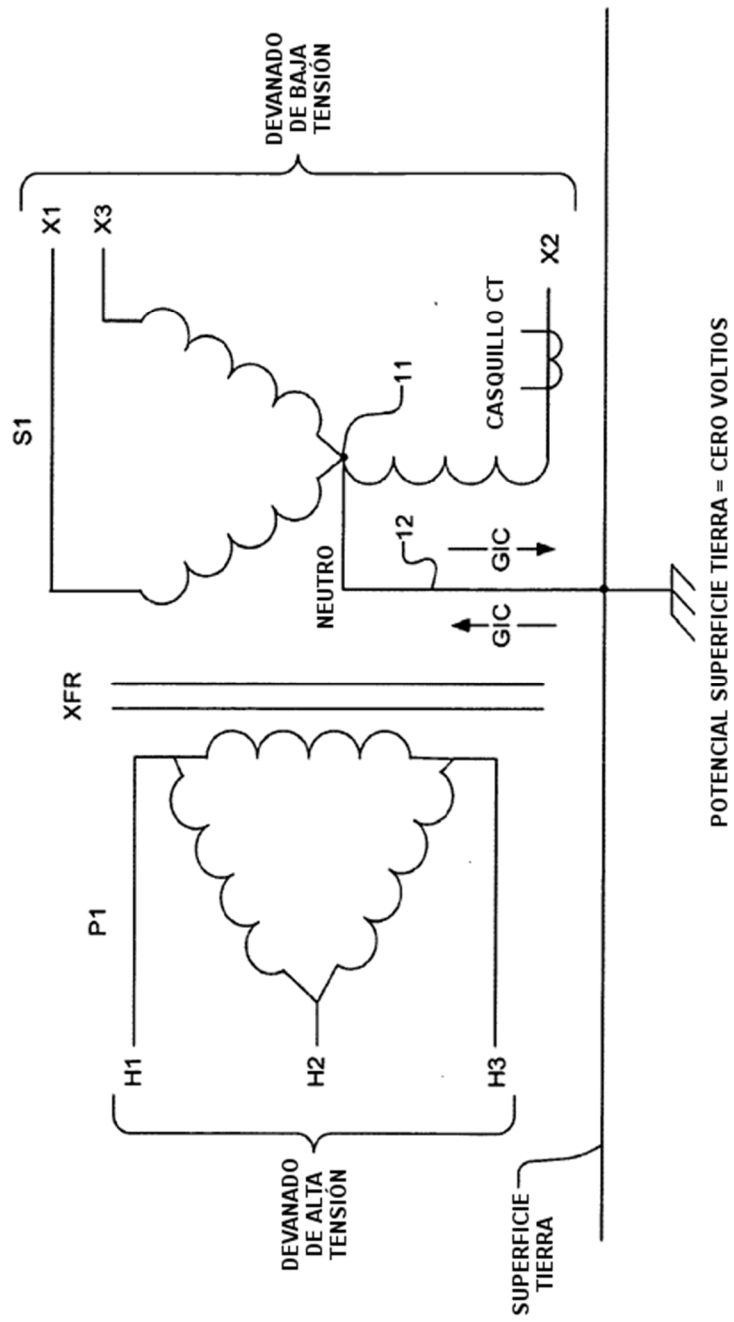


FIGURA 2

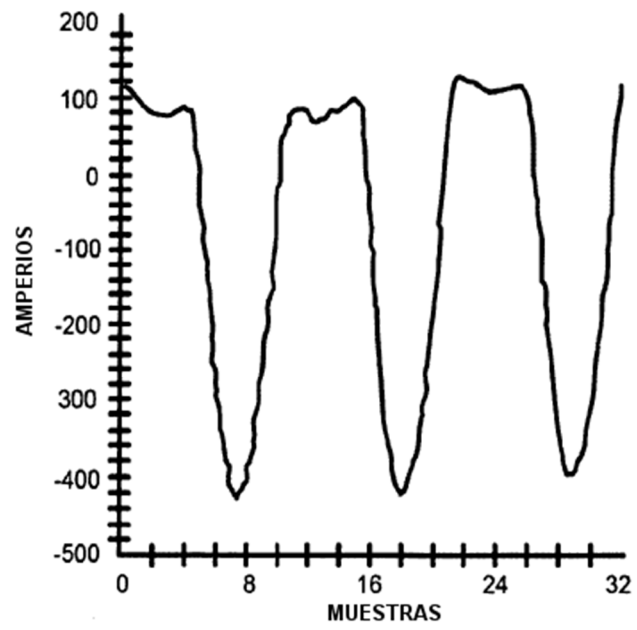


FIGURA 3

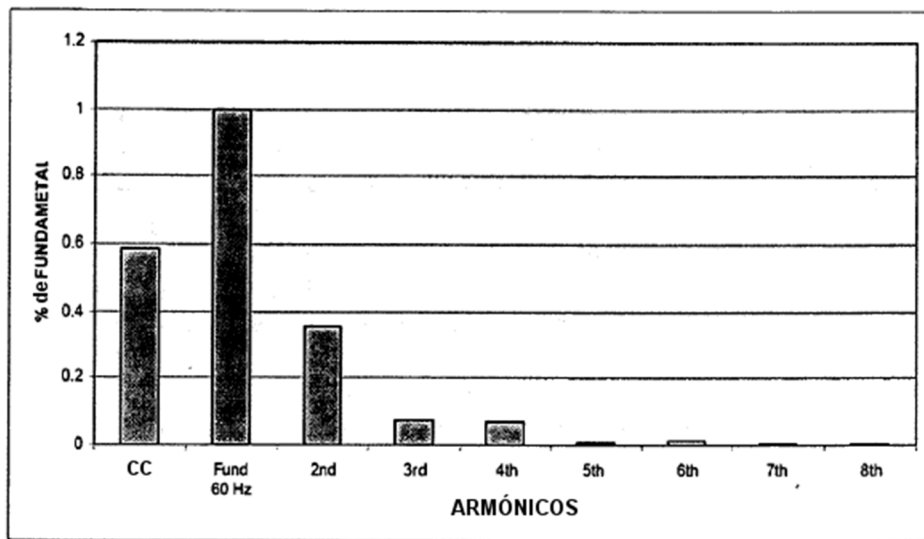


FIGURA 4

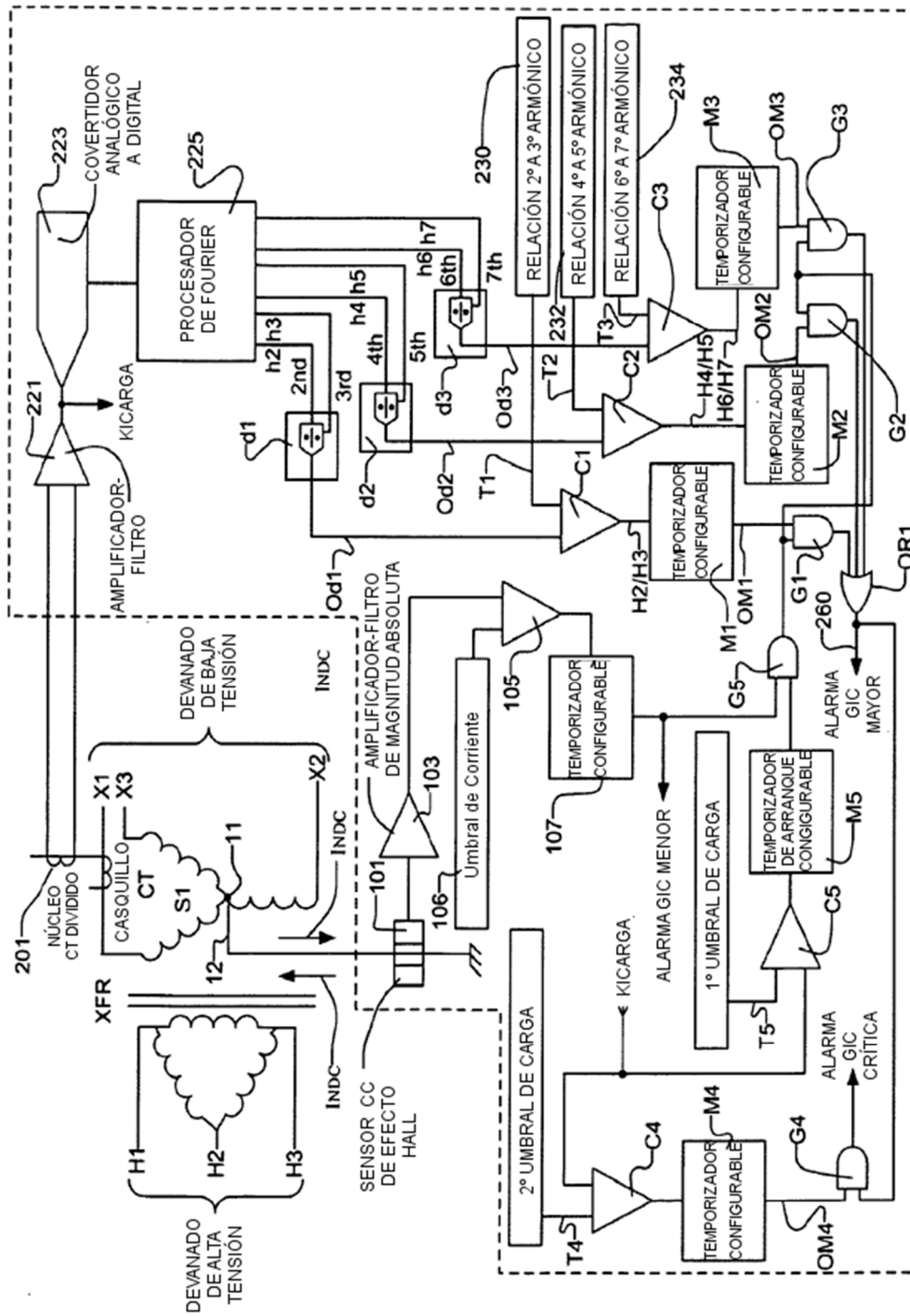


FIGURA 5

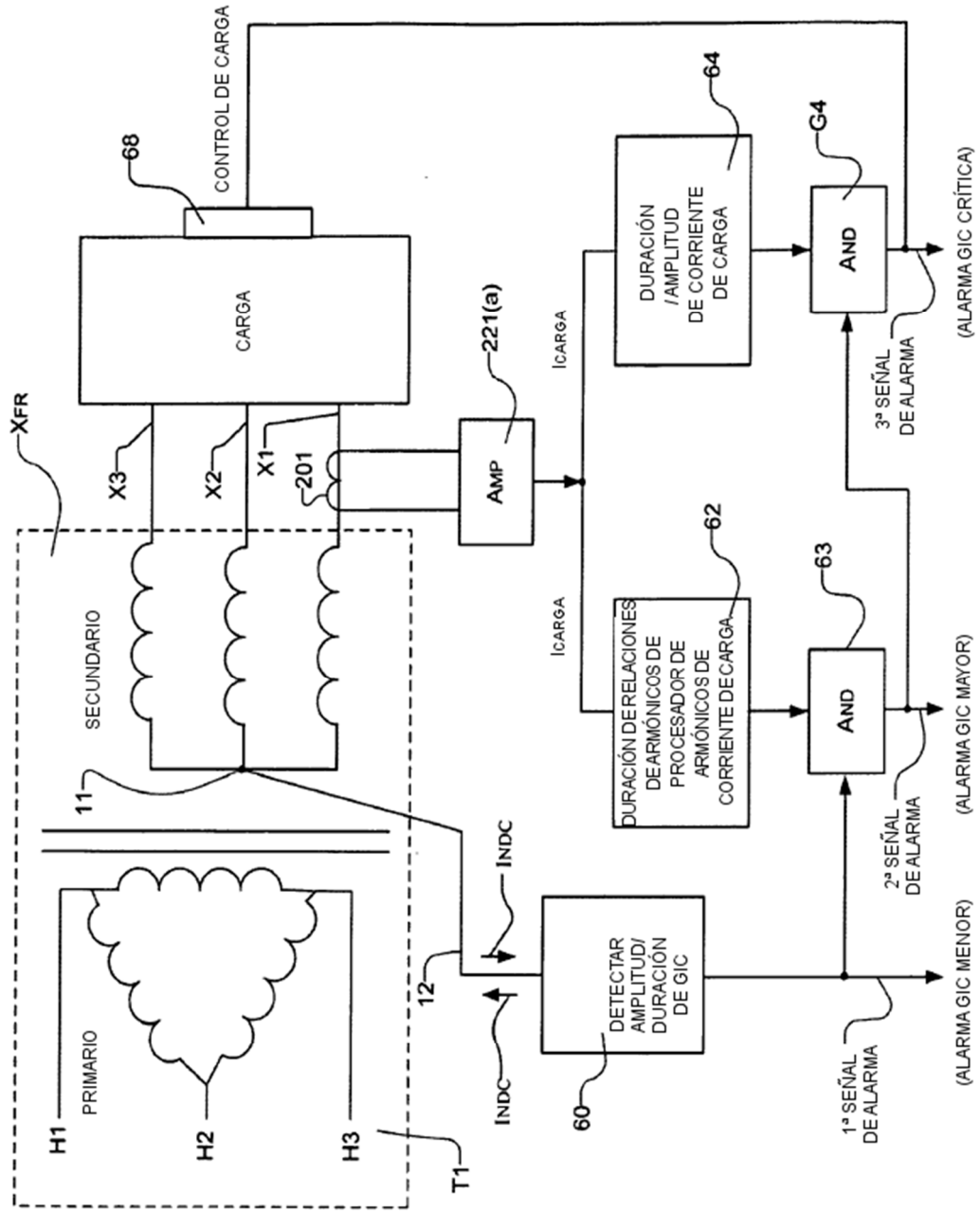


FIGURA 6

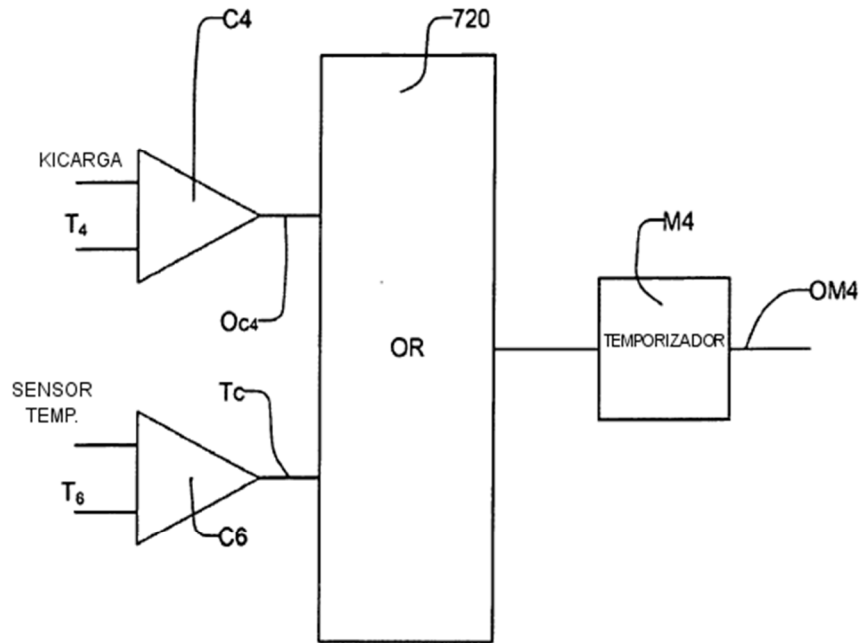


FIGURA 7A

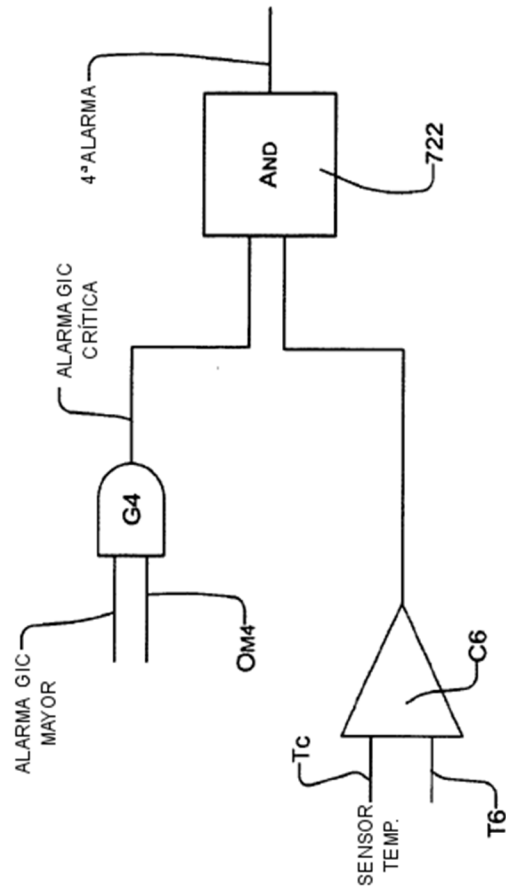


FIGURA 7B

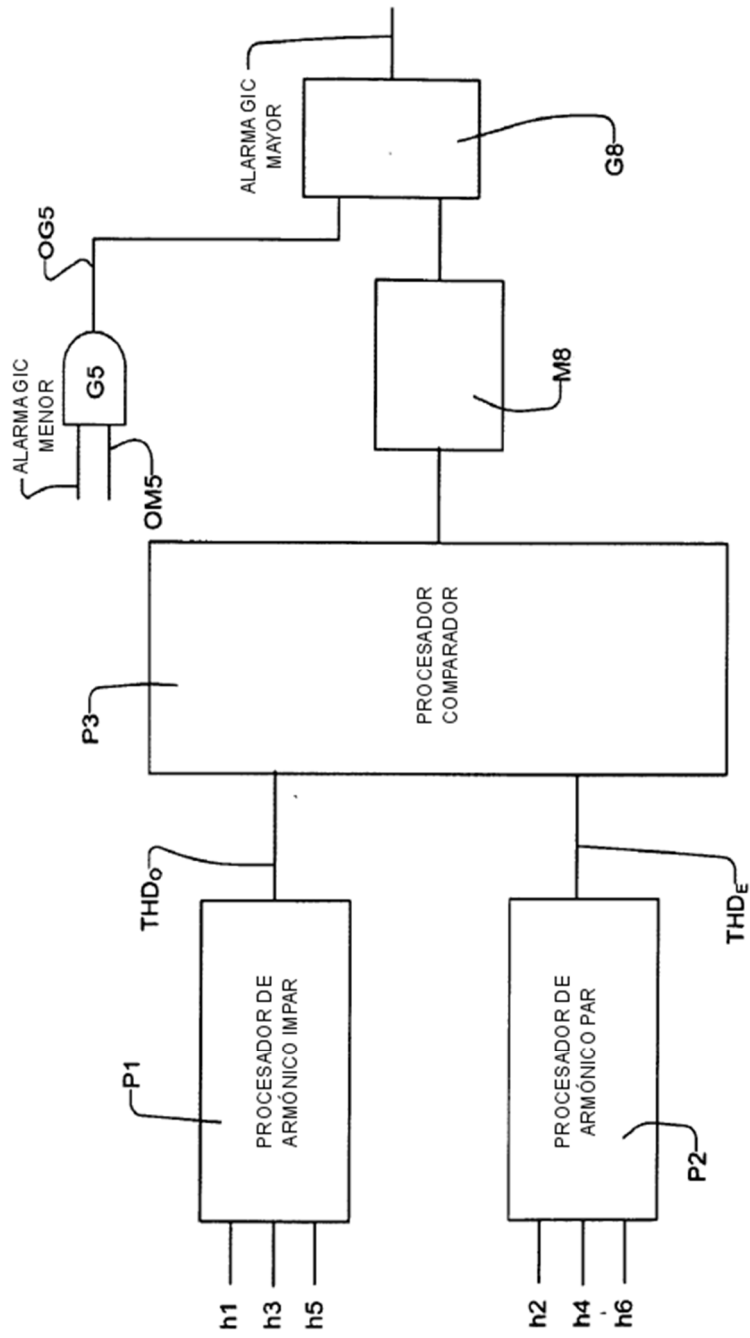


FIGURA 8