

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 612 910**

51 Int. Cl.:

H02H 3/28

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2003 PCT/US2003/021123**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.01.2004 WO04008600**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2003 E 03764360 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 1527505**

54 Título: **Sistema de protección de red eléctrica**

30 Prioridad:

12.07.2002 US 395341 P

12.07.2002 US 395350 P

29.07.2002 US 398708 P

24.03.2003 US 394661

24.03.2003 US 394660

24.03.2003 US 394579

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

19.05.2017

73 Titular/es:

COOPER TECHNOLOGIES COMPANY (100.0%)

600 Travis Street Suite 5800

Houston, TX 77002, US

72 Inventor/es:

KOJOVIC, LJUBOMIR, A.;

BISHOP, MARTIN, T.;

SKENDZIC, VESELIN y

DAY, TIMOTHY, ROBERT

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 612 910 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

Sistema de protección de red eléctrica

5 Campo técnico

Esta descripción se refiere a la detección y reparación de averías en un sistema eléctrico.

Antecedentes

Los sistemas de potencia convencionales existen para proporcionar potencia eléctrica. En tal sistema de potencia, pueden producirse averías que son peligrosas para los usuarios del sistema, y que dañan el sistema, cuya reparación puede ser cara y/o lenta. Por ejemplo, un sistema de potencia que tenga un cortocircuito de corriente, tal como una corriente de arco, puede producir un incendio o una explosión, o dañar de otro modo el sistema propiamente dicho y el equipo relacionado y los operadores. En particular, los sistemas de potencia de voltaje muy alto, como los que incluyen un transformador de potencia de alto voltaje, pueden sufrir tales averías.

Cuando las averías se detectan de forma rápida y exacta, pueden eliminarse mediante medidas correctivas, tal como una activación de un disyuntor de circuito y, si es necesario, la posterior reparación del sistema de potencia. De esta forma se puede minimizar el daño producido por la avería.

El documento US 2001/0029433 A1 describe un sistema de protección eléctrica según la técnica anterior.

Resumen

La invención se refiere a un sistema de protección eléctrica incluyendo las características de las reivindicaciones 1 y a un método para proteger un sistema eléctrico incluyendo las características de la reivindicación 23.

Las implementaciones pueden incluir una o varias de las características siguientes. Por ejemplo, el primer dispositivo de protección puede operar para detectar la primera avería usando un primer esquema de protección. El primer esquema de protección puede ser un esquema de protección diferencial. La segunda bobina de Rogowski puede definir una segunda zona de protección conteniendo un segundo elemento de circuito, y el primer dispositivo de protección puede operar para implementar un segundo esquema de protección para detectar una segunda avería asociada con el segundo elemento de circuito. En este caso, el segundo esquema de protección puede incluir un esquema de protección contra sobrecorrientes, y el primer dispositivo de protección puede operar para integrar la protección de la primera zona de protección y la segunda zona de protección. Además, el primer dispositivo de protección puede operar para proporcionar una tercera zona de protección que sirva como una zona de protección de reserva a la primera zona de protección y la segunda zona de protección.

El primer dispositivo de protección puede ser un primer relé diferencial. El sistema puede incluir un primer disyuntor de circuito operable para recibir una primera instrucción del primer dispositivo de protección e interrumpir la primera corriente en respuesta a la primera instrucción, la primera bobina de Rogowski, la segunda bobina de Rogowski, el primer dispositivo de protección, y el primer disyuntor de circuito pueden estar asociados con una primera unidad de red de un sistema de red eléctrica. El sistema puede incluir además una tercera bobina de Rogowski colocada para detectar una tercera corriente y generar una tercera medición de corriente, una cuarta bobina de Rogowski colocada para detectar una cuarta corriente y generar una cuarta medición de corriente, donde se define una segunda zona de protección en base a una posición de la tercera bobina de Rogowski y la cuarta bobina de Rogowski, y un segundo dispositivo de protección operable para determinar a partir de la tercera medición de corriente y la cuarta medición de corriente la existencia de una segunda avería que está asociada con un segundo elemento de circuito dentro de la segunda zona de protección.

En este caso, el segundo dispositivo de protección puede ser un segundo relé diferencial. Un segundo disyuntor de circuito puede operar para recibir una segunda instrucción del segundo dispositivo de protección e interrumpir la tercera corriente en respuesta a la segunda instrucción. La tercera bobina de Rogowski, la cuarta bobina de Rogowski, el segundo dispositivo de protección, y el segundo disyuntor de circuito pueden estar asociados con una segunda unidad de red del sistema de red eléctrica, y se puede formar un enlace de comunicaciones entre el primer dispositivo de protección y el segundo dispositivo de protección.

En este caso, la primera unidad de red y la segunda unidad de red pueden estar conectadas a través de una conexión de bus. El primer dispositivo de protección y el segundo dispositivo de protección pueden compartir la primera medición de corriente, la segunda medición de corriente, la tercera medición de corriente, y la cuarta medición de corriente por el enlace de comunicaciones, y pueden usar las mediciones de corriente para determinar que hay una avería de bus asociada con la conexión de bus.

El segundo dispositivo de protección puede recibir una notificación de detección a través del enlace de comunicaciones que indique detección de la primera avería por el primer dispositivo de protección. Además, el

segundo dispositivo de protección puede enviar la segunda instrucción al segundo disyuntor de circuito en respuesta a la notificación de detección. El segundo dispositivo de protección puede esperar una cantidad predeterminada de tiempo después de la notificación de detección antes de enviar la segunda instrucción. En este caso, cuando el segundo dispositivo de protección recibe, antes de que haya transcurrido la cantidad predeterminada de tiempo, una notificación de operación que indica operación del primer disyuntor de circuito en respuesta a la primera instrucción, el segundo dispositivo de protección puede no enviar la segunda instrucción.

Cuando el segundo dispositivo de protección no recibe, antes de que haya transcurrido la cantidad predeterminada de tiempo, una notificación de operación que indica operación del primer disyuntor de circuito, el segundo relé puede enviar la segunda instrucción al segundo disyuntor de circuito después de que haya transcurrido el tiempo predeterminado.

La tercera bobina de Rogowski, la cuarta bobina de Rogowski, y el segundo disyuntor de circuito pueden estar conectados al primer dispositivo de protección. En este caso, el primer dispositivo de protección puede operar para recibir una notificación de mal funcionamiento que indica un mal funcionamiento del segundo dispositivo de protección, y el primer dispositivo de protección puede operar para recibir la tercera medición de corriente y la cuarta medición de corriente y determinar que hay una segunda avería en base a la medición de corriente. Además, el primer dispositivo de protección puede ponerse en funcionamiento para operar el segundo disyuntor de circuito en respuesta a la segunda avería.

Una tercera bobina de Rogowski puede estar colocada para detectar una tercera corriente y generar una tercera medición de corriente, donde se puede definir una segunda zona de protección en base a una posición de la primera bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski, y se puede definir una tercera zona de protección en base a una posición de la segunda bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski. En este caso, el primer dispositivo de protección puede ser operable para determinar a partir de la primera medición de corriente y la tercera medición de corriente que hay una segunda avería que está asociada con un segundo elemento de circuito dentro de la segunda zona de protección.

El primer dispositivo de protección puede ser operable para determinar a partir de la segunda medición de corriente y la tercera medición de corriente que hay una tercera avería que está asociada con un tercer elemento de circuito dentro de la tercera zona de protección. La primera corriente puede estar asociada con un primer conductor asociado con un devanado primario de un transformador de potencia, la segunda corriente puede estar asociada con un segundo conductor asociado con un devanado secundario del transformador de potencia, y el transformador de potencia puede ser el primer elemento de circuito.

Según otro aspecto general, se protege un sistema eléctrico. Se mide una primera corriente a través de un primer conductor en un sistema eléctrico usando una primera bobina de Rogowski colocada a lo largo del primer conductor, se envía una primera señal de corriente correspondiente a la primera corriente, se mide una segunda corriente a través de un segundo conductor en el sistema eléctrico usando una segunda bobina de Rogowski colocada a lo largo del segundo conductor, se envía una segunda señal de corriente correspondiente a la segunda corriente, y la primera señal de corriente y la segunda señal de corriente son suministradas a un primer dispositivo de protección.

Las implementaciones pueden incluir una o más de las características siguientes. Por ejemplo, se puede proporcionar protección diferencial a un primer elemento de circuito que está colocado dentro de una primera zona de protección del sistema eléctrico que se define entre la primera bobina de Rogowski y la segunda bobina de Rogowski, usando el primer dispositivo de protección, y se puede proporcionar protección contra sobrecorrientes a un segundo elemento de circuito que está colocado dentro de una segunda zona de protección del sistema eléctrico que se define por una posición de la segunda bobina de Rogowski, usando el primer dispositivo de protección. En este caso, se puede disponer protección de reserva dentro de una tercera zona de protección que incluye la primera zona de protección y la segunda zona de protección, usando el primer dispositivo de protección.

El primer dispositivo de protección puede incluir un relé diferencial. El primer conductor y el segundo conductor pueden estar incluidos dentro de una primera unidad de red del sistema eléctrico. En base a la primera señal de corriente y la segunda señal de corriente se puede determinar que hay una avería asociada con la primera unidad de red en el sistema eléctrico.

Se puede medir una tercera corriente a través de un tercer conductor en el sistema eléctrico usando una tercera bobina de Rogowski colocada a lo largo del tercer conductor, se puede enviar una tercera señal de corriente correspondiente a la tercera corriente, se puede medir una cuarta corriente a través de un cuarto conductor en el sistema eléctrico usando una cuarta bobina de Rogowski colocada a lo largo del cuarto conductor, se puede enviar una cuarta señal de corriente correspondiente a la cuarta corriente, y la tercera señal de corriente y la cuarta señal de corriente se pueden suministrar a un segundo dispositivo de protección.

El segundo dispositivo de protección puede incluir un relé diferencial. El tercer conductor y el cuarto conductor pueden estar incluidos dentro de una segunda unidad de red del sistema eléctrico.

En base a la tercera señal de corriente y la cuarta señal de corriente se puede determinar que hay una avería asociada con la segunda unidad de red. El primer dispositivo de protección y el segundo dispositivo de protección pueden estar conectados por un enlace de comunicaciones.

5 La primera señal de corriente y la segunda señal de corriente pueden transmitirse desde el primer dispositivo de protección al segundo dispositivo de protección, y, en el segundo dispositivo de protección y en base a la primera señal de corriente y la segunda señal de corriente, se puede determinar que hay una avería asociada con la primera unidad de red.

10 Se puede determinar, en el primer dispositivo de protección y en base a la primera señal de corriente y la segunda señal de corriente, que hay una avería en la primera unidad de red, y se puede transmitir una notificación de avería que indica la existencia de la avería desde el primer dispositivo de protección al segundo dispositivo de protección. En este caso, un primer disyuntor de circuito asociado con la primera unidad de red puede abrirse en respuesta a la avería, y se puede transmitir una notificación de reparación desde el primer dispositivo de protección al segundo dispositivo de protección, a través del enlace de comunicaciones y en respuesta a la abertura del disyuntor de circuito.

15 Un segundo disyuntor de circuito asociado con la segunda unidad de red puede abrirse en respuesta a la notificación de avería. En respuesta a la notificación de reparación, se puede dirigir potencia eléctrica desde la segunda unidad de red a la primera unidad de red, a través de un bus de conexión que conecta la primera unidad de red y la segunda unidad de red.

20 El sistema eléctrico puede incluir un bus de conexión que conecta la primera unidad de red a la segunda unidad de red, y el bus de conexión puede estar conectado al segundo conductor y el cuarto conductor entre la primera bobina de Rogowski y la segunda bobina de Rogowski.

25 La primera señal de corriente y la segunda señal de corriente pueden transmitirse desde el primer dispositivo de protección al segundo dispositivo de protección, la tercera señal de corriente y la cuarta señal de corriente pueden transmitirse desde el segundo dispositivo de protección al primer dispositivo de protección, y se puede determinar que hay una avería asociada con el bus de conexión en base a la primera señal de corriente, la segunda señal de corriente, la tercera señal de corriente, y la cuarta señal de corriente.

30 La tercera señal de corriente puede ser transmitida desde la tercera bobina de Rogowski al primer dispositivo de protección, a través de una primera conexión, la cuarta señal de corriente puede ser transmitida desde la cuarta bobina de Rogowski al primer dispositivo de protección, a través de una segunda conexión, y, en el primer dispositivo de protección y en base a la tercera señal de corriente y la cuarta señal de corriente, se puede determinar que hay una avería asociada con la segunda unidad de red.

35 Se puede medir una tercera corriente a través de un tercer conductor en el sistema eléctrico usando una tercera bobina de Rogowski colocada a lo largo del tercer conductor, se puede enviar una tercera señal de corriente correspondiente a la tercera corriente, y la tercera señal de corriente puede ser introducida en el primer dispositivo de protección.

40 Se puede determinar que hay una avería entre la primera bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski en base a la primera señal de corriente y la tercera señal de corriente. También se puede determinar que hay una avería entre la tercera bobina de Rogowski y la segunda bobina de Rogowski en base a la tercera señal de corriente y la segunda señal de corriente.

45 En un ejemplo, un sistema de protección eléctrica incluye un primer par de bobinas de Rogowski operables para generar un primer par de señales de corriente, estando asociado el primer par de señales de corriente con una primera unidad de red del sistema eléctrico, un segundo par de bobinas de Rogowski operable para generar un segundo par de señales de corriente, estando asociado el segundo par de señales de corriente con una segunda unidad de red del sistema eléctrico, y un primer dispositivo de protección asociado con la primera unidad de red y operable para recibir y procesar el primer par de señales de corriente y el segundo par de señales de corriente.

50 Las implementaciones pueden incluir una o más de las características siguientes. Por ejemplo, el primer dispositivo de protección puede proporcionar protección integrada a la primera unidad de red, en base a al menos una del primer par de señales de corriente, donde la protección integrada incluye al menos un primer esquema de protección y un segundo esquema de protección.

55 El primer dispositivo de protección puede ser operable para determinar, en base al primer par de señales de corriente, que hay una avería asociada con la primera unidad de red. Un segundo dispositivo de protección puede estar asociado con la segunda unidad de red y operable para introducir el segundo par de señales de corriente. El primer dispositivo de protección puede actuar como una reserva para el segundo dispositivo de protección al detectar que hay una avería asociada con la segunda unidad de red. En este caso, el primer dispositivo de protección puede recibir el segundo par de señales de corriente del segundo par de bobinas de Rogowski, o a través

del segundo dispositivo de protección.

El primer dispositivo de protección y el segundo dispositivo de protección pueden estar conectados uno a otro a través de un enlace de comunicaciones. Un bus de conexión puede conectar la primera unidad de red y la segunda unidad de red. El primer dispositivo de protección y el segundo dispositivo de protección pueden determinar que hay una avería de bus en el bus de conexión, en base al primer par de señales de corriente y el segundo par de señales de corriente.

En otro ejemplo, un sistema de protección eléctrica incluye una primera bobina de Rogowski asociada con un alimentador primario de un sistema eléctrico y operable para detectar una corriente primaria en el alimentador primario, un primer dispositivo de protección operable para recibir una primera señal de corriente de la primera bobina de Rogowski, bobinas de Rogowski secundarias, cada una asociada con un alimentador secundario correspondiente del sistema eléctrico y operable para detectar una corriente secundaria correspondiente en el alimentador secundario, dispositivos de protección secundarios, cada uno operable para recibir señales de corriente secundarias de una bobina de Rogowski secundaria asociada, y un enlace de comunicación operable para transmitir la primera señal de corriente y las señales de corriente secundarias entre el primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios.

Las implementaciones pueden incluir una o más de las características siguientes. Por ejemplo, el primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios pueden incluir relés diferenciales. El primer dispositivo de protección puede ser operable para determinar que hay una avería asociada con el sistema eléctrico en base a la primera señal de corriente y las señales de corriente secundarias.

Un bus de conexión puede conectar el alimentador primario a cada uno de los alimentadores secundarios. El primer dispositivo de protección puede ser operable para determinar que hay una avería asociada con el bus de conexión en base a la primera señal de corriente y las señales de corriente secundarias. El enlace de comunicación puede incluir conexiones entre iguales entre el primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios, o puede incluir conexiones desde el primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios a un recurso de cálculo centralizado.

Cada uno de los dispositivos de protección secundarios puede proporcionar protección contra sobrecorrientes a su respectivo alimentador secundario en base a su respectiva señal de corriente secundaria. Un primer dispositivo de los dispositivos de protección secundarios puede estar asociado con un primer alimentador de los alimentadores secundarios y estar conectado a una segunda bobina de las bobinas de Rogowski secundarias que está asociada con un segundo alimentador de los alimentadores secundarios para proporcionar por ello protección de reserva al segundo de los alimentadores secundarios.

Una segunda bobina de Rogowski puede estar asociada con el alimentador primario y ser operable para detectar una segunda corriente primaria en el alimentador primario, y un segundo dispositivo de protección puede operar para recibir una segunda señal de corriente de la segunda bobina de Rogowski, donde el primer dispositivo de protección puede determinar una existencia de una avería asociada con el alimentador primario en base a la primera señal de corriente y la segunda señal de corriente.

Usando el enlace de comunicaciones, un primer dispositivo del primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios puede actuar como una reserva para un segundo dispositivo del primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios, al determinar que el segundo dispositivo del primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios están inoperativos. Un primer convertidor analógico a digital puede estar conectado a la primera bobina de Rogowski y ser operable para enviar la primera señal de corriente como una primera salida digital, y convertidores analógico a digital secundarios, conectados a respectivas bobinas de las bobinas de Rogowski secundarias, pueden operar para enviar las señales de corriente secundarias como salidas digitales secundarias. En este caso, el enlace de comunicaciones puede incluir un recurso de ordenador centralizado operable para introducir la primera salida digital y las salidas digitales secundarias, y el primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios pueden recibir la primera salida digital y las salidas digitales secundarias del recurso de ordenador centralizado.

Además, se mide una corriente primaria en un alimentador primario de un sistema eléctrico usando una primera bobina de Rogowski, se recibe una primera señal de corriente generada por la primera bobina de Rogowski en un primer dispositivo de protección, se miden corrientes secundarias en alimentadores secundarios usando bobinas de Rogowski secundarias correspondientes, se reciben señales de corriente secundarias que son generadas por las bobinas de Rogowski secundarias en dispositivos de protección secundarios correspondientes, y la primera señal de corriente y las señales de corriente secundarias son transmitidas entre el primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios usando un enlace de comunicaciones.

Las implementaciones pueden incluir una o más de las características siguientes. Por ejemplo, el primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios pueden incluir relés diferenciales. Se puede determinar en el primer dispositivo de protección que hay una avería asociada con el sistema eléctrico en base a la primera señal

de corriente y las señales de corriente secundarias.

También se puede determinar en el primer dispositivo de protección que hay una avería asociada con un bus de conexión en base a la primera señal de corriente y las señales de corriente secundarias, donde el bus de conexión conecta el alimentador primario a cada uno de los alimentadores secundarios. Al transmitir la primera señal de corriente y las señales de corriente secundarias, se puede usar conexiones entre iguales entre el primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios, o se puede usar un recurso de cálculo centralizado.

Cada uno de los dispositivos de protección secundarios puede proporcionar protección contra sobrecorrientes a su respectivo alimentador secundario en base a su respectiva señal de corriente secundaria. En este caso, un primer dispositivo de los dispositivos de protección secundarios puede estar asociado con un primer alimentador de los alimentadores secundarios, y el primer dispositivo de los dispositivos de protección secundarios puede estar conectado a una segunda bobina de las bobinas de Rogowski secundarias que está asociada con un segundo alimentador de los alimentadores secundarios para proporcionar por ello protección de reserva al segundo alimentador de los alimentadores secundarios.

Se puede medir una segunda corriente primaria en el alimentador primario usando una segunda bobina de Rogowski, se puede introducir una segunda señal de corriente generada por la segunda bobina de Rogowski a un segundo dispositivo de protección, y, usando el primer dispositivo de protección, se puede determinar que existe una avería asociada con el alimentador primario en base a la primera señal de corriente y la segunda señal de corriente.

La primera señal de corriente puede ser enviada como una primera salida digital desde un primer convertidor analógico a digital conectado a la primera bobina de Rogowski, y las señales de corriente secundarias pueden ser enviadas como salidas digitales secundarias desde convertidores analógico a digital secundarios conectados a respectivas bobinas de las bobinas de Rogowski secundarias. En este caso, la primera salida digital y las salidas digitales secundarias pueden ser introducidas en un recurso de ordenador centralizado asociado con los enlaces de comunicaciones, donde el primer dispositivo de protección y el dispositivo de protección secundario pueden introducir la primera salida digital y las salidas digitales secundarias a través del recurso de ordenador centralizado.

En otro ejemplo, un sistema de protección eléctrica incluye una primera bobina de Rogowski colocada a lo largo de un primer conductor y operable para medir una primera corriente en el primer conductor y enviar una primera señal, donde el primer conductor es parte de un sistema de horno de arco eléctrico (HAE), y un dispositivo de protección operable para usar la primera señal al determinar que hay una avería en el sistema HAE.

Las implementaciones pueden incluir una o más de las características siguientes. Por ejemplo, el primer conductor puede estar asociado con un devanado primario de un transformador del sistema HAE. En este caso, la primera bobina de Rogowski está situada fuera de una bóveda que aloja el transformador.

El primer conductor puede estar asociado con un devanado secundario de un transformador del sistema HAE. En este caso, la primera corriente es enviada desde el devanado secundario, y la primera bobina de Rogowski puede estar situada dentro de una bóveda que aloja el transformador. Además, el primer conductor puede incluir un brazo conductor unido a un electrodo del sistema HAE.

Una segunda bobina de Rogowski puede estar colocada a lo largo de un segundo conductor del sistema HAE y puede operar para medir una segunda corriente en el segundo conductor y enviar una segunda señal. En este caso, el primer conductor puede estar asociado con un devanado primario de un transformador del sistema HAE y el segundo conductor puede estar asociado con un devanado secundario del transformador. Además, el dispositivo de protección puede incluir un relé diferencial.

El relé diferencial puede determinar que hay una avería en base a la primera señal y la segunda señal, y el relé diferencial puede determinar que la avería está entre la primera bobina de Rogowski y la segunda bobina. Una tercera bobina de Rogowski puede estar colocada a lo largo de un tercer conductor del sistema HAE y puede operar para medir una tercera corriente en el tercer conductor y enviar una tercera señal.

En este caso, el relé diferencial puede determinar que la avería está entre la segunda bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski, o puede determinar que la avería está entre la primera bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski.

También se puede incluir una tabla conteniendo una primera relación de devanado de un transformador del sistema HAE en una primera posición de una toma operativa del transformador y una segunda relación de devanado del transformador en una segunda posición de la toma operativa. En este caso, el dispositivo de protección puede ser operable para determinar si la primera relación de devanado o la segunda relación de devanado está asociada con una posición presente de la toma operativa, y también puede ser operable para escalar una magnitud de la primera señal en base a la posición presente.

En otro ejemplo, se mide una primera corriente en un primer conductor usando una primera bobina de Rogowski,

donde el primer conductor es parte de un sistema de horno de arco eléctrico (HAE), se envía una primera señal desde la primera bobina de Rogowski, se introduce la primera señal en un dispositivo de protección, y se determina que hay avería en el sistema HAE en base a la primera señal.

5 Las implementaciones pueden incluir una o más de las características siguientes. Por ejemplo, se puede medir una segunda corriente en un segundo conductor del sistema HAE usando una segunda bobina de Rogowski, se puede enviar una segunda señal desde la segunda bobina de Rogowski, y se puede introducir la segunda señal en el dispositivo de protección, que puede incluir un relé diferencial.

10 En este caso, se puede determinar que la avería está en el sistema HAE entre la primera bobina de Rogowski y la segunda bobina de Rogowski en base a la primera señal y la segunda señal. Además, se puede medir una tercera corriente en un tercer conductor del sistema HAE usando una tercera bobina de Rogowski, se puede enviar una tercera señal desde la tercera bobina de Rogowski, y se puede introducir la tercera señal en el dispositivo de protección.

15 En este último caso, se puede determinar que la avería está en el sistema HAE entre la segunda bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski en base a la segunda señal y la tercera señal. Además, se puede determinar que la avería está en el sistema HAE entre la primera bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski en base a la primera señal y la tercera señal.

20 En este último caso, el primer conductor puede estar asociado con un devanado primario de un transformador del sistema HAE, y el segundo conductor y el tercer conductor pueden estar asociados con un devanado secundario del transformador.

25 En otro ejemplo, un sistema de protección eléctrica incluye una primera bobina de Rogowski colocada para medir una primera corriente en una primera posición de un sistema de horno de arco eléctrico (HAE) y enviar una primera señal, una segunda bobina de Rogowski colocada para medir una segunda corriente en una segunda posición del sistema HAE y enviar una segunda señal, y un dispositivo de protección operable para introducir la primera señal y la segunda señal y determinar que hay una avería dentro del sistema HAE en base a la primera señal y la segunda señal.

30 Las implementaciones pueden incluir una o más de las características siguientes. Por ejemplo, el dispositivo de protección puede incluir un relé diferencial. Además, el dispositivo de protección también puede ser operable para abrir un disyuntor de circuito asociado con el sistema HAE a la determinación de la avería.

35 Los detalles de una o varias implementaciones se exponen en los dibujos acompañantes y la descripción siguiente. Otras características serán evidentes por la descripción y los dibujos, así como por las reivindicaciones.

Descripción de los dibujos

40 La figura 1 es un diagrama de circuito de un sistema de protección eléctrica.

La figura 2 es una primera ilustración de bobinas de Rogowski que pueden ser usadas en el sistema de protección eléctrica de la figura 1.

45 La figura 3 es una segunda ilustración de bobinas de Rogowski que pueden ser usadas en el sistema de protección eléctrica de la figura 1.

50 Las figuras 4-7 son diagramas de circuito de sistemas de protección de redes puntuales.

Las figuras 8-12 son diagramas de circuito de sistemas de protección de subestación.

La figura 13 es un diagrama de circuito de un primer sistema de protección de horno de arco eléctrico (HAE).

55 La figura 14 es un diagrama de una implementación del sistema de protección HAE de la figura 13.

La figura 15 es una primera ilustración de bobinas de Rogowski que pueden ser usadas en el sistema de protección HAE de la figura 13.

60 La figura 16 es una segunda ilustración de bobinas de Rogowski que pueden ser usadas en el sistema de protección HAE de la figura 13.

La figura 17 es un diagrama de circuito de un segundo sistema de protección HAE.

65 La figura 18 es un diagrama de circuito de un primer circuito de prueba para probar un sistema de protección eléctrica.

La figura 19 es un gráfico de resultados de prueba del circuito de prueba de la figura 18.

La figura 20 es un primer gráfico de una comparación de formas de onda ilustradas en la figura 19.

La figura 21 es un segundo gráfico de una comparación de formas de onda ilustradas en la figura 19.

La figura 22 es un diagrama de circuito de un segundo circuito de prueba para probar un sistema de protección eléctrica.

La figura 23 es un gráfico que demuestra un resultado de una simulación del circuito de prueba de la figura 22.

Descripción detallada

La figura 1 es un diagrama de circuito de un sistema de protección eléctrica 100 en el que un primer conductor 102 lleva una corriente I_{1A} a un elemento de circuito dentro de una primera zona de protección 104. La primera zona de protección 104 puede incluir uno o más elementos de circuito (no representados), tal como, por ejemplo, un transformador. Tal transformador podría ser responsable de convertir un primer voltaje asociado con el primer conductor 102 a un segundo voltaje que el transformador proporciona a un segundo conductor 106 de modo que se envíe una corriente I_{2A} a través del segundo conductor 106. Sin embargo, también se podría incluir dentro de la primera zona de protección 104 cualquier número de elementos de circuito.

Una primera bobina 108 rodea el primer conductor 102 y envía una corriente I_{1B} . La primera bobina 108 es una bobina de Rogowski. En términos generales, una bobina de Rogowski incluye un elemento conductor que está enrollado alrededor de un núcleo no magnético. El elemento conductor puede ser, por ejemplo, un hilo de metal o un depósito de metal. El núcleo no magnético se puede hacer de cualquier material que tenga una permeabilidad magnética que sea sustancialmente igual a la permeabilidad del espacio libre, tal como, por ejemplo, un núcleo de aire o una placa de circuitos impresos (PCB) en la que se trace el elemento conductor.

La bobina 108 mide típicamente un voltaje inducido en la bobina cuando el conductor 102 está colocado dentro de la bobina 108, y la corriente I_{1B} se calcula entonces en base al voltaje medido. Así, varios dispositivos de medición y/o cálculo (no representados) pueden estar asociados con la bobina 108, tal como un dispositivo de medición de voltaje o un dispositivo de cálculo de corriente. Tales dispositivos pueden incluir, o estar asociados con, hardware o software de ordenador para realizar sus respectivas funciones.

La bobina 108 se puede construir según varias técnicas. Se explican ejemplos de tales técnicas, por ejemplo, en la Patente de Estados Unidos 6.313.623 y la Solicitud de Estados Unidos número 10/083.646 (Patente de Estados Unidos número 6.680.608). Por ejemplo, la bobina 108 puede incluir dos o más brazos que forman un bucle principal (o bucles) de la bobina 108 cuando están acoplados juntos. Se puede usar varias técnicas de devanado para devanar el elemento conductor al construir la bobina 108, y la bobina 108 puede incluir múltiples bobinas que están asociadas una con otra de varias formas. Estos y otros detalles de construcción relacionados con la bobina 108 se pueden seleccionar con el fin de asegurar altos niveles de sensibilidad y exactitud al determinar la corriente I_{1B} .

Una segunda bobina 110 rodea el segundo conductor 106, y envía una corriente I_{2B} . La corriente I_{1B} y la corriente I_{2B} son enviadas a lo largo de un primer par de hilos 112 y un segundo par de hilos 114, respectivamente, a un relé 116. El relé 116, en términos generales, sirve para proporcionar protección integrada contra cortocircuitos y otro mal funcionamiento del sistema y/o averías, como se describe con más detalle a continuación. Como tal, el relé 116 puede estar programado o asociado de otro modo con un algoritmo predeterminado para implementar automáticamente el o los sistemas de protección integrada.

Con respecto al sistema de protección 100, el relé 116 es capaz de proporcionar múltiples tipos de protección contra mal funcionamiento y averías eléctricos o mecánicos, y de integrar estos tipos de protección en un esquema de protección cohesivo. Además, el relé 116 es capaz de interactuar con otros relés y/u otras bobinas, con el fin de proporcionar más opciones para construir un sistema de protección eléctrica integrado.

Un tipo de protección que proporciona el relé 116 es protección diferencial. En un esquema de protección diferencial, el relé 116 opera para comparar las corrientes I_{1B} e I_{2B} , con el fin de asegurar que las dos corrientes tengan alguna relación predeterminada una con otra. Como un ejemplo, el relé 116 puede determinar que una corriente de salida, I_0 excede de una diferencia de las corrientes I_{1B} e I_{2B} , donde se puede incluir un factor para tener en cuenta niveles aceptables de errores de medición. De esta forma, el relé 116 puede proteger elementos de circuito dentro de la primera zona de protección 104, por ejemplo, mediante la desconexión de un disyuntor de circuito u otro elemento de protección de circuito (no representado).

Un segundo tipo de protección habilitado por el relé 116 es detección de sobrecorrientes, en la que el relé 116 está preprogramado con un nivel de corriente máximo aceptable para una porción o elemento concreto de un circuito. El relé 116 compara una corriente real dentro de una zona de protección contra sobrecorrientes, tal como la corriente

I_{2A} dentro de una segunda zona de protección 118 (como se representa por la corriente I_{2B}), con el nivel de corriente máximo. Cuando se supera el nivel de corriente máximo, el relé 116 puede proteger entonces los elementos dentro de la segunda zona de protección 118 mediante la desconexión de un disyuntor de circuito apropiado.

5 En otro aspecto del sistema de protección 100, se puede definir una tercera zona de protección 120 como una zona de protección de reserva, por ejemplo, para una o ambas zonas de protección primera 104 y segunda 118. Por ejemplo, si la bobina 110 funcionase mal y no estuviese disponible, entonces podrían no estar disponibles tanto la protección diferencial de la primera zona de protección 104 como la protección contra sobrecorrientes de la segunda zona de protección 118. En este caso, el relé 116 puede ser capaz de proporcionar, por ejemplo, protección de
10 reserva contra sobrecorrientes a todos los elementos de circuito dentro de las zonas de protección primera y segunda 104 y 118, respectivamente (es decir, a todos los elementos de circuito dentro de la tercera zona de protección 120).

15 El relé 116 puede medir la(s) corriente(s) relevante(s) de varias formas. Por ejemplo, el relé puede tomar muestras de uno o más ciclos completos de cada corriente, y puede usar dichas muestras para determinar la frecuencia, la amplitud y/o la fase de la corriente. Como otro ejemplo, el relé 116 puede calcular un diferencial de la corriente con respecto al tiempo. Al usar esta última metodología, puede no ser necesario obtener un ciclo completo de la(s) corriente(s) relevante(s).

20 El relé 116 puede ser, por ejemplo, un relé multifunción controlado por microprocesador, tal como un relé trifásico que tenga múltiples entradas de voltaje y/o corriente. Como se explica con más detalle más adelante, el relé 116 puede estar en comunicación con disyuntores de circuito, relés anexos, equipo de control, y otros elementos de circuito. Por ejemplo, el relé 116 puede estar conectado a un disyuntor de circuito "situado hacia arriba" que esté situado antes de la bobina 108 con respecto a la corriente I_{1A} de modo que el relé 116 pueda disparar el disyuntor
25 de circuito a la detección de una avería. Como otro ejemplo, el relé 116 puede estar conectado a un conmutador de red/hub que soporte que el relé 116 comunique con otros relés al implementar un sistema de protección eléctrica.

Además, bobinas 108 y 110 pueden estar conectadas a un relé secundario (no representado en la figura 1), directamente a través de uno u otros varios pares de hilos similares a los hilos 112 y 114, o indirectamente a través
30 de, por ejemplo, un conmutador de red/hub. En este caso, el relé secundario puede proporcionar protección de reserva rápida al relé 116 (protegiendo por ello el transformador y/o el conductor 102) recibiendo mediciones de corriente de las bobinas 108 y 110.

Aunque anteriormente se ha indicado un transformador como un elemento de circuito que podría ser protegido por el sistema de protección eléctrica 100, se puede usar otros muchos elementos de circuito. Por ejemplo, un bus de red que distribuya potencia a una o más líneas de alimentación puede estar protegido por tal sistema. En este caso, una bobina diferente (sensor de corriente) puede estar asociada con cada una de las líneas de alimentación, y el relé
35 116 puede asegurar que una corriente que entre al bus sea igual a una corriente total que salga de las líneas de alimentación.

40 Usando estas técnicas y otras relacionadas, se puede proteger equipo eléctrico sensible y/o caro contra el daño debido a corrientes de fallo. Además, poniendo las bobinas 108 y 110 alrededor de elementos seleccionados de la circuitería/equipo, y estableciendo por ello las zonas de protección 104, 118, y 120 de la figura 1, se puede detectar exactamente la posición así como la existencia de una corriente de fallo. Además, se puede minimizar el número de
45 sensores de corriente (bobinas) y relés (con relación a otros sistemas de protección eléctrica) con el fin de aumentar la facilidad de instalación. Estos y otros usos del sistema 100 y de los sistemas relacionados se explican con más detalle más adelante.

La figura 2 ilustra bobinas de Rogowski que pueden ser usadas en el sistema de protección eléctrica 100 de la figura
50 1. Como se representa, conductores 202, 204, y 206 están rodeados por bobinas de Rogowski 208, 210 y 212, respectivamente. Se deberá entender que las bobinas de Rogowski son elementos discretos que pueden colocarse por separado alrededor de los conductores 202, 204 y 206.

La figura 3 también ilustra bobinas de Rogowski que pueden ser usadas en el sistema de protección eléctrica 100 de la figura 1. En contraposición a la figura 2, la figura 3 ilustra bobinas de Rogowski 302, 304 y 306 que están
55 formadas integralmente dentro de un cuerpo 308. Se puede usar un solo conector de salida 310 para obtener salidas de las tres bobinas de Rogowski 302, 304 y 306. Las bobinas 302, 304, y 306 pueden ser usadas para medir corrientes de fase en un sistema trifásico. Se puede usar una bobina de Rogowski neutra adicional 312 para detectar una suma de las corrientes a través de los conductores 202, 204, y 206 al objeto de producir una medición
60 de corriente residual.

La figura 4 es un diagrama de circuito de un primer sistema de protección de red puntual 400. Por razones de sencillez y claridad, la figura 4 se ilustra como un diagrama de línea única. Sin embargo, se deberá entender con respecto a la figura 4 (así como con respecto a las figuras siguientes), que una sola línea dada puede representar
65 dos o más líneas similares o idénticas que pueden existir en una implementación física. Por ejemplo, un conductor de línea única en la figura 4 puede representar un conjunto de tres conductores, tal como se ilustra anteriormente en

las figuras 2 y 3.

Un sistema de red puntual, en términos generales, es un sistema de red que se implementa para una carga de cliente único, tal como un solo edificio comercial. Una red puntual puede ser considerada como un sistema de red de distribución aplicado en menor escala, donde un sistema de red de distribución es un tipo de red desarrollado para suministrar potencia a zonas urbanas de cargas densas de manera sumamente flexible y fiable.

Tales sistemas de red puntual y de distribución incluyen múltiples unidades de red para transformar potencia de un proveedor primario a una carga secundaria. Así, una unidad de red está conectada típicamente en un lado de entrada a un cable primario (por ejemplo, un cable de una compañía eléctrica), y en un lado de salida a un cable secundario (por ejemplo, un cable que proporciona servicio a un cliente). Internamente, la unidad de red puede contener un dispositivo primario de conmutación (para determinar si se transmite potencia desde el cable primario), un transformador de red, y varios elementos de protección eléctrica, tal como disyuntores de circuito y fusibles. Más adelante se ofrece una explicación más detallada con respecto a unidades de red de un sistema de red puntual. Sin embargo, también se pueden aplicar explicaciones similares a unidades de red de sistemas de red.

En la figura 4, el sistema de red puntual incluye unidades de red puntual (SNU) 402, 404 y 406. En las SNUs 402, 404 y 406, respectivamente, bobinas 408, 410 y 412 están asociadas con un lado primario o de entrada de cada SNU. Las bobinas 408, 410 y 412 están conectadas a relés 414, 416 y 418. Los relés 414, 416 y 418 están conectados además a bobinas 420, 422 y 424, que están asociadas con un lado secundario o de salida de cada SNU.

Así, como se ha descrito anteriormente con respecto al sistema de protección eléctrica 100 de la figura 1, cada agrupamiento de dos o más bobinas y un relé sirve para proporcionar información de mantenimiento y/o protección. Tomando como ejemplo la SNU 402, las bobinas 408 y 420 actúan como sensores de corriente que realizan mediciones de corriente al relé 414, que puede ser un relé diferencial multifunción que tenga múltiples entradas de corriente y voltaje. El relé 414 compara las mediciones de corriente de cada una de las bobinas 408 y 420 para determinar si, por ejemplo, hay una corriente de fallo en algún lugar a lo largo del recorrido de corriente entre la bobina 408 y la bobina 420. Tal corriente de fallo puede estar asociada con cualquier componente eléctrico asociado con la SNU 402 y situado entre las bobinas 408 y 420, y se puede afirmar que cualesquiera componentes eléctricos situados entre las bobinas 408 y 420 están dentro de una "zona de protección" de las bobinas 408 y 420 y el relé 414. Según la invención reivindicada, las bobinas 408 y 420 son bobinas de Rogowski.

Las SNUs 402, 404 y 406 contienen, respectivamente, disyuntores de circuito primarios 426, 428 y 430 que son capaces de interrumpir la potencia a transformadores de red 432, 434 y 436 de la SNU. Los transformadores de red 432, 434 y 436 de las SNUs 402, 404 y 406 sirven para "reducir" un voltaje primario en un lado primario o de entrada de cada transformador 432, 434 y 436 a un voltaje secundario inferior en un lado secundario o de salida, y simultáneamente sirven para "elevar" una corriente primaria a una corriente secundaria más alta.

Un primer conjunto de transformadores de voltaje 438, 440 y 442 detecta un voltaje en el lado secundario de los transformadores 432, 434 y 436 en una entrada de disyuntores de circuito secundarios 444, 446 y 448. Un segundo conjunto de transformadores de voltaje 450, 452 y 454 detecta igualmente un voltaje en una salida de los disyuntores de circuito secundarios 444, 446 y 448. Los dos conjuntos de transformadores de voltaje están conectados a los relés 414, 416 y 418, y sirven, por ejemplo, para reducir los voltajes primario/secundario a niveles que son aceptables para los relés 414, 416 y 418. Cada uno de estos transformadores sirve para suministrar un voltaje asociado con una corriente medida a los respectivos relés de transformador, donde tal voltaje puede ser necesario, por ejemplo, para calcular la magnitud y/o la dirección de una señal de potencia deseada. Además, los voltajes medidos pueden ser usados para suministrar una señal de temporización a uno o más relés para coordinar mediciones de corriente, como se explica con más detalle más adelante.

Por ejemplo, los disyuntores de circuito secundarios 444, 446 y 448 pueden ser disyuntores de circuito de aire de bajo voltaje, y los relés 414, 416 y 418 pueden actuar como relés de potencia inversos (que detectan el flujo inverso de corriente en las SNUs) y/o como relés de fase (que supervisan el cierre de los disyuntores de circuito secundarios 444, 446 y 448 comparando ángulos de fase entre un par predeterminado de voltajes).

Los fusibles 456, 458 y 460 sirven como protección contingente adicional para las SNUs 402, 404 y 406.

Además, todas las SNUs 402, 404 y 406 están conectadas conjuntamente por un bus de colector 462. El bus 462, entre otras funciones, proporciona redundancia en el sistema de red puntual 400 permitiendo que la potencia procedente de una SNU de trabajo sea transferida a una salida de una SNU no operativa.

Los fusibles 464, 466 y 468 proporcionan un nivel de protección final en una salida de las SNUs 402, 404 y 406. Los fusibles 464, 466 y 468 pueden ser usados, por ejemplo, para reparar fallos de corriente alta sostenidos en el bus (bajo voltaje) 462, dentro de dispositivo de conmutación de cliente (no representado), o en una interconexión del bus 462 con el dispositivo de conmutación de cliente.

En el sistema de red puntual 400, la detección y la reparación de averías pueden ser no selectivas o selectivas. Es decir, el sistema de red puntual 400 puede responder a la detección de una avería en cualquier lugar dentro del sistema 400 apagando todas las SNUs 402, 404 y 406 o apagando solamente la SNU en la que se detectó la avería.

5 Como un ejemplo de detección y reparación de averías no selectiva, para una avería en una zona de protección entre los tres pares de bobinas, uno de los relés 414, 416 y 418 puede detectar las averías y disparar el disyuntor correspondiente de los disyuntores de circuito primarios 426, 428 y 430 (y/o uno de los disyuntores de circuito secundarios 444, 446 y 448), usando una conexión correspondiente 470, 472, o 474 al disyuntor de circuito. Los relés 414, 416 y 418 pueden comunicar uno con otro para implementar la reparación no selectiva de la avería a través de un enlace de comunicaciones tal como una red 476.

Tal reparación no selectiva de averías es segura, fácil de implementar y de costo razonable. Sin embargo, esta implementación también puede producir más interrupciones de servicio que las necesarias.

15 Como un ejemplo de detección y reparación de averías selectivas, el relé 414 puede detectar una avería dentro de la SNU 402, y puede responder desconectando el disyuntor de circuito primario 426 y/o el disyuntor de circuito secundario 444. En este ejemplo, el relé 414 notifica inmediatamente a las SNUs 404 y 406, a través de la red 476, que el relé 414 ha detectado una avería. Las SNUs 404 y 406 continúan la operación normal durante un cierto período de tiempo predeterminado, durante el que esperan confirmación de que el disyuntor de circuito primario 426 y/o el disyuntor de circuito secundario 444 se han disparado realmente. Si se recibe dicha confirmación, entonces las SNUs 404 y 406 continúan la operación normal, y el bus 462 puede ser usado para dirigir potencia desde una o varias SNUs de trabajo 404 y 406 a una salida de la SNU no operativa 402. Si no se recibe la confirmación, los relés 416 y 418 disparan sus respectivos disyuntores de circuito 428 y 446 y/o 430 y 448.

25 Tal implementación de reparación selectiva de averías puede requerir, por ejemplo, más esfuerzos al conectar y programar los relés 414, 416 y 418, en comparación con la implementación no selectiva descrita anteriormente. Sin embargo, la implementación de reparación selectiva de averías ayuda a minimizar el número de cortes que sufra un usuario del sistema de red puntual 400.

30 La figura 5 es un diagrama de circuito de un segundo sistema de protección de red puntual 500. El sistema de red puntual 500 incluye SNUs 502, 504, y 506, que son similares a las SNUs 402, 404 y 406 de la figura 4. Las SNUs 502-506 difieren de las SNUs 402-406 en que las SNUs 502-506 contienen bobinas adicionales 508, 510 y 512, respectivamente.

35 Con referencia a la SNU 502, la bobina 508 se coloca con el disyuntor de circuito secundario 444 y el fusible 456 en un lado, y el bus 462 en el otro lado. Esta configuración permite a la SNU 502 proporcionar múltiples zonas de protección independientes. Específicamente, una primera zona de protección 514 incluye cualesquiera conductores primarios situados en el lado de entrada primario del disyuntor de circuito primario 426. Una segunda zona de protección 516 encierra el transformador de red de potencia 432, el disyuntor de circuito secundario 444, y cualesquiera otros conductores que vayan a la bobina 508. Finalmente, una tercera zona de protección 518 encierra el bus de colector 462, junto con cualesquiera otros conductores que vayan a la bobina 420. Se deberá entender que las definiciones de las zonas de protección 514, 516 y 518 también se aplican a las SNUs 504 y 506.

45 En el sistema de red puntual 500, uno de los relés 414, 416 y 418 puede detectar así una avería en una de las zonas de protección concretas 514, 516 o 518, permitiendo por ello selectividad adicional al detectar y reparar averías. Por ejemplo, para una avería en el transformador 432, el relé 414 puede detectar sobrecorriente en base a señales procedentes de las bobinas 408 y 508, así como potencia inversa asociada a través de la SNU 502 (detectada a través de los transformadores de voltaje 438 y 450).

50 Consiguientemente, el relé 414 puede notificar inmediatamente a los relés 416 y 418 la detección de avería, por lo que los relés 416 y 418 esperan confirmación de la acción apropiada que realice el relé 414. Si el relé 414 procede a tomar la acción apropiada, tal como, por ejemplo, desconectar el disyuntor de circuito primario 426 y/o el disyuntor de circuito secundario 444, entonces así se les indicará a los relés 416 y 418, y las SNUs 504 y 506 continuarán la operación normal. Sin embargo, si, después de cierta cantidad de tiempo predeterminada, los relés 416 y 418 no reciben confirmación de que el relé 414 ha tomado la acción apropiada, los relés 416 y 418 pueden disparar sus disyuntores de circuito primarios asociados 428 y 430 y/o los disyuntores de circuito secundarios 446 y 448. De esta forma se pueden reducir las interrupciones de servicio, y se puede proporcionar protección de reserva.

60 Un segundo ejemplo de reparación selectiva de averías en el sistema de red puntual 500 puede implicar una avería en la tercera zona de protección 518, que incluye el bus 462. En términos generales, una avería asociada con el bus 462 puede ser detectada como cambios idénticos o casi idénticos en la corriente en cada uno de los relés 414, 416 y 418, dado que el bus 462 está asociado con todas las SNUs 502, 504, y 506. Por ejemplo, los relés 414, 416 y 418 pueden detectar un aumento repentino en las corrientes primarias, en base a señales de las bobinas 408, 410 y 412 y las bobinas 508, 510, y 512. Al mismo tiempo, las corrientes secundarias, detectadas por las bobinas 420, 422 y 424, pueden no cambiar de forma significativa (dependiendo de la intensidad de la avería). Dado que los relés 414, 416 y 418 están en comunicación uno con otro a través de la red 476, cada uno es consciente de la información

anterior, y por lo tanto puede concluir que la avería está dentro de la tercera zona de protección 518, y, consiguientemente, disparar todos los disyuntores de circuito primarios 426, 428 y 430.

Un tercer ejemplo de reparación selectiva de averías en el sistema de red puntual 500 puede incluir una avería en la primera zona de protección 514. En este caso, las averías pueden ser detectadas como se ha descrito anteriormente con respecto a la figura 4.

La figura 6 es un diagrama de circuito de un tercer sistema de protección de red puntual 600. El sistema de red puntual 600 incluye SNUs 602, 604, y 606, que son similares a las SNUs 402, 404 y 406 de la figura 4 y las SNUs 502, 504, 506 de la figura 5. Las SNUs 602, 604 y 606 difieren de las SNUs antes descritas por sustituir los disyuntores de circuito primarios 426, 428 y 430 por conmutadores de puesta a tierra rápida 606, 608 y 610.

Los conmutadores de puesta a tierra rápida 608, 610, y 612, que se incluyen dentro de una zona de protección 614, están diseñados para cerrarse a la aparición de un fallo de corriente baja. En este caso, la corriente de fallo aumentará, haciendo por ello que un disyuntor de circuito situado en una subestación de potencia asociada (no representada) interrumpa la corriente. Hay otras técnicas para desconectar dicho disyuntor de circuito de subestación, tal como, por ejemplo, una comunicación directa con la subestación en la que se detectó la avería (usando, por ejemplo, una red de área ancha (WAN)).

La figura 7 es un diagrama de circuito de un cuarto sistema de protección de red puntual 700. El sistema de red puntual 700 incluye SNUs 702, 704, y 706, que son similares a las SNUs 402, 404 y 406 de la figura 4. Las SNUs 702, 704, y 706 proporcionan además protección principal y de reserva rápida, usando varias conexiones adicionales (ilustradas en negrita en la figura 7) además de las ilustradas en la figura 4.

Más específicamente, en el sistema de red puntual 700, cada una de las SNUs 702, 704, y 706 tiene la capacidad de supervisar y afectar a al menos otra SNU dentro del sistema 700. Así, en la SNU 702, una conexión 708 proporciona al relé 414 información acerca de una corriente primaria en la SNU 704 (a través de la bobina 410), mientras que una conexión 710 proporciona al relé 414 información acerca de una corriente secundaria en la SNU 704 (a través de la bobina 422). Una conexión de control 712 proporciona al relé 414 la capacidad de disparar uno o ambos disyuntores de circuito 428 y 446 dentro de la SNU 704.

Igualmente, en la SNU 704, una conexión 714 proporciona al relé 416 información acerca de una corriente primaria en la SNU 706, mientras que una conexión 716 proporciona al relé 416 información acerca de una corriente secundaria en la SNU 706. Una conexión de control 718 proporciona al relé 416 la capacidad de disparar uno o ambos disyuntores de circuito 430 y 448 dentro de la SNU 706.

Finalmente, en la SNU 706, una conexión 720 proporciona al relé 418 información acerca de una corriente primaria en la SNU 702, mientras que una conexión 722 proporciona al relé 418 información acerca de una corriente secundaria en la SNU 702. Una conexión de control 724 proporciona al relé 418 la capacidad de disparar uno o ambos disyuntores de circuito 426 y 444 dentro de la SNU 702.

Entonces, en el sistema 700, los relés 414, 416 y 418 proporcionan protección de reserva "rápida" recibiendo señales directas de dos o más bobinas 408, 410, 412, 420, 422 y 424. Por ejemplo, el relé 414 puede determinar, a través de las conexiones 708 y 710, que hay una corriente de fallo dentro de la SNU 704. El relé 414 puede esperar entonces cierta cantidad predeterminada de tiempo con el fin de permitir que el relé 416 repare la avería. Si el relé 416 no detecta y/o repara la avería dentro de la cantidad predeterminada de tiempo, el relé 414 puede disparar directamente los disyuntores de circuito 428 y/o 446 de la SNU 704 usando la conexión de control 712.

Además, incluso cuando no hay realmente una avería, un relé que sea inoperativo será detectado por los relés restantes (o se les comunicará). Por ejemplo, el relé 418 puede ser inoperativo o quitarse para mantenimiento, por lo que al relé 416 se le puede indicar (o puede conocer de otro modo) que deberá asumir la responsabilidad de medir corrientes a través de la SNU 706, a través de las conexiones 714 y 716. Si es necesario, el relé 416, a la detección de una avería, puede disparar los disyuntores de circuito 430 y 448 de la SNU 706 usando la conexión de control 718.

En la implementación de la figura 7 y las implementaciones relacionadas, la protección de reserva rápida se puede realizar muy rápidamente, sin impactar en la velocidad general de reparación de averías o un área de una zona de protección dada.

Aunque anteriormente se han explicado implementaciones específicas con respecto a las figuras 1-7, también se puede implementar variaciones en dichas implementaciones o combinaciones de las mismas. Por ejemplo, en la implementación del sistema de red puntual 700 de la figura 7, se puede usar nueve bobinas para proporcionar un mayor número de zonas de protección (igual que la implementación del sistema de red puntual 500 de la figura 5), en vez de las seis bobinas ilustradas en la figura 7. Como otro ejemplo, se puede incorporar una "etiqueta de línea caliente" en una línea general de suministro de potencia para activar de forma instantánea los relés 414, 416 y 418 cuando el personal de línea empiece a trabajar en un elemento del equipo de red.

Se puede usar otros varios elementos en unión con las implementaciones descritas. Por ejemplo, se puede usar un sensor térmico, un sensor de luz ultravioleta, un detector de humo, o un relé de presión repentina (SPR) en un transformador para proporcionar protección adicional o (en algunos casos) alternativa a varios elementos de circuito dentro de los sistemas de red puntual.

Aunque las implementaciones explicadas anteriormente se refieren primariamente a sistemas de red puntual, se puede usar técnicas similares en sistemas de red de distribución, así como en otros muchos tipos de sistemas. Por ejemplo, en sistemas de red de distribución, un número de bobinas en un número correspondiente de salidas de red de distribución pueden estar cableadas a un solo relé que compare el total de las varias corrientes de salida a una corriente de entrada de la red de distribución.

Además, aunque las implementaciones de las figuras 4-7 se centran en sistemas que tienen tres unidades de red, otras implementaciones pueden tener menos o más unidades de red, con números correspondientes de bobinas y/o relés.

Como se ha explicado anteriormente, se usan bobinas de Rogowski como las bobinas de detección de corriente de las figuras 4-7. Las bobinas de Rogowski son muy sensibles incluso a cambios de corriente de nivel bajo, y son así capaces, por ejemplo, de detectar y reparar corrientes de fallo por arco sostenidas. Tales corrientes de fallo son en general una pequeña fracción de la corriente de fallo máxima disponible, y no son mucho más altas que las corrientes de carga propiamente dichas.

La capacidad de detectar pequeños cambios de corriente significa que los niveles de detección de avería se pueden poner relativamente bajos, reduciendo por ello el esfuerzo (o el daño) del equipo y acelerando los tiempos de respuesta a avería, sin sacrificar la fiabilidad. Además, se reduce el riesgo de propagación de incendio, y se pueden obtener tiempos de respuesta más rápidos (incluyendo una restauración más rápida del servicio).

Las bobinas de Rogowski pueden diseñarse de modo que no se saturen, y por lo tanto pueden ser capaces de manejar corrientes grandes, y evitar la falsa desconexión de disyuntores de circuito que puede ser producida por averías fuera de la unidad de red (por ejemplo, averías dentro de equipo de cliente). Además, las bobinas de Rogowski son generalmente inmunes a campos magnéticos externos, y por lo tanto evitan cualesquiera efectos de dichos campos en las mediciones de corriente. Además, las bobinas de Rogowski son relativamente baratas, y pueden no requerir espacio o cableado sustanciales. Finalmente, las bobinas de Rogowski se instalan fácilmente, por ejemplo, colocando simplemente el conductor relevante a través de las bobinas (o colocando las bobinas alrededor del conductor).

Tanto en sistemas de red puntual como en sistemas de red de distribución, la fiabilidad de servicio es un objetivo de diseño primario. Como resultado, el mantenimiento de tales sistemas puede ser difícil, dado que los componentes fallidos pueden pasar inadvertidos hasta que uno o varios de sus componentes de reserva también fallen. Sin embargo, en las implementaciones descritas, se puede proporcionar información acerca tanto de una magnitud como de la posición de una avería, usando zonas de protección predefinidas. Así, las averías se pueden conocer y corregir antes de que se agote la redundancia del sistema relevante.

Como se muestra anteriormente, las técnicas de detección de averías de las varias implementaciones pueden aplicarse en un lado primario y/o un lado secundario de una unidad de red, para proporcionar protección principal y de reserva tanto localmente como en un sistema de comunicación. La protección puede ser selectiva o no selectiva en grados variables, dependiendo de las necesidades de un usuario concreto.

La figura 8 es un diagrama de circuito de un sistema de protección de subestación 800. En la figura 8, un alimentador primario o de entrada 802 proporciona potencia por un bus 804 a alimentadores secundarios o de salida 806, 808, 810, y 812. Un relé primario 814 recibe información de corriente acerca de las corrientes en el alimentador de entrada 802 a través de una bobina 816 y una bobina 818. Usando la información de corriente de las bobinas 816 y 818, el relé primario 814 proporciona protección principal a un transformador de potencia 820.

Específicamente, como se ha descrito anteriormente, el relé primario 814 puede ser un relé diferencial multifunción que tenga múltiples entradas de corriente y voltaje, y puede comparar la información de corriente de las bobinas 816 y 818 para discernir un diferencial inaceptable entre ellas. Al detectar tal diferencial, el relé primario 814 dispara un disyuntor de circuito 822 para interrumpir la corriente entrante en el alimentador de entrada 802. Aunque el relé primario 814 está conectado al disyuntor de circuito 822 (como se ha mostrado anteriormente en las figuras 4-7), esta conexión no se representa en la figura 8 por razones de claridad.

Un primer relé de alimentador 824 está conectado directamente a una bobina 826 asociada con el primer alimentador 806, y a otra bobina 828 que está asociada con el segundo alimentador 808. El primer relé de alimentador 824 obtiene de la bobina 826 información relativa a una corriente en el primer alimentador 806. Comparando la corriente con una corriente permisible máxima predeterminada, el primer relé de alimentador 824 proporciona protección principal para el primer alimentador 806 en forma de detección de sobrecorrientes. Cuando

el primer relé de alimentador 824 determina que hay una avería, el relé 824 dispara un disyuntor de circuito 830 para interrumpir la potencia al primer alimentador 806.

Igualmente, un segundo relé de alimentador 832 proporciona protección principal para el segundo alimentador 808. Es decir, el segundo relé de alimentador 832 detecta cualquier sobrecorriente en el segundo alimentador 808 por medio de la bobina 828, y repara la avería desconectando un disyuntor de circuito 834. Además, usando la conexión directa a la bobina 828, el primer relé de alimentador 824 proporciona protección de reserva por detección de sobrecorrientes para el segundo alimentador 808. Específicamente, el primer relé de alimentador 824 supervisa la información de la bobina 828, y, al determinar que el segundo relé de alimentador 832 es inoperativo, dispara el disyuntor de circuito 824 al detectar una avería en el segundo alimentador 808.

El primer relé de alimentador 824 puede determinar que el segundo relé de alimentador 832 es inoperativo, por ejemplo, detectando que una avería en el segundo alimentador 808 no ha sido reparada después de cierta cantidad predeterminada de tiempo. Alternativamente, el segundo relé de alimentador 832 puede enviar una señal a la detección de su propio mal funcionamiento, o una tercera parte (por ejemplo, el personal de reparaciones) puede notificar al primer relé de alimentador 824 el mal funcionamiento en el segundo relé de alimentador 832. Como ejemplo final, el primer relé de alimentador 824 puede transmitir periódicamente peticiones de estado al segundo relé de alimentador 832, y puede asumir mal funcionamiento cuando no se recibe una respuesta. Las técnicas para permitir estas y otras comunicaciones entre los relés 824 y 832 (y otros relés dentro del sistema 800) se explican con más detalle más adelante.

De forma análoga, un tercer relé de alimentador 836 proporciona protección primaria contra sobrecorrientes al tercer alimentador 810 usando una conexión a una bobina 838 para determinar si disparar un disyuntor de circuito 840. El segundo relé de alimentador 832 está conectado directamente a la bobina 838 y el disyuntor de circuito 840, y proporciona así la rápida protección de reserva para el tercer relé de alimentador 836.

Un cuarto relé de alimentador 842 proporciona protección primaria al cuarto alimentador 812 usando una conexión a una bobina 844 para determinar si disparar un disyuntor de circuito 846. El tercer relé de alimentador 836 está conectado directamente a la bobina 844 y el disyuntor de circuito 846, y así proporciona protección de reserva rápida para el cuarto relé de alimentador 842. Además, el cuarto relé de alimentador 842 está conectado directamente a la bobina 826 y el disyuntor de circuito 830, y proporciona así protección de reserva rápida al primer relé de alimentador 824.

En resumen, el primer relé de alimentador 824 proporciona protección principal para el primer alimentador 806 y protección de reserva para el segundo alimentador 808. El segundo relé de alimentador 832 proporciona protección principal para el segundo alimentador 808 y protección de reserva para el tercer alimentador 810. El tercer relé de alimentador 836 proporciona protección principal para el tercer alimentador 810 y protección de reserva para el cuarto alimentador 812. Finalmente, el cuarto relé de alimentador 842 proporciona protección principal para el cuarto alimentador 812 y protección de reserva para el primer alimentador 806.

Así, los relés 824, 832, 836 y 842, que actúan en sus capacidades como reservas rápidas, reducen el tiempo durante el que fluye corriente de fallo en un alimentador en mal funcionamiento, y por ello reducen el esfuerzo en componentes del sistema (con relación a los sistemas convencionales).

Además de las protecciones principal y de reserva rápida recién descritas, los alimentadores 806, 808, 810 y 812 están conectados por conexiones 848 a un interruptor de comunicaciones o hub 850, que, a su vez, está conectado por una conexión 852 al relé primario 814. Usando información intercambiada a través del hub de comunicaciones 850, el relé primario 814 proporciona protección diferencial principal para el bus 804, así como protección de reserva rápida contra sobrecorrientes para todos los alimentadores 824, 832, 836 y 842.

Al proporcionar protección diferencial principal para el bus 804, el relé primario 814 recibe información acerca de una corriente que circula en el primer alimentador 806, en base a mediciones tomadas por la bobina 826 y transmitidas a través del primer relé de alimentador 824, las conexiones 848, el hub de comunicaciones 850 y la conexión 852. El relé primario 814 recibe igualmente información acerca de las corrientes que fluyen en cada uno de los alimentadores restantes 832, 836 y 842.

Entonces, actuando en un modo diferencial de operación, el relé primario 814 compara, por ejemplo, una suma de las corrientes en los cuatro alimentadores 806, 808, 810 y 812 con una corriente que circula al bus 804 (detectada por la bobina 818, que está conectada directamente al relé primario 814). En base a esta comparación, el relé primario 814 determina si hay una avería que está asociada con el bus 804. Por ejemplo, el relé primario 814 puede determinar que se ha producido una disminución de corriente simultánea en cada uno de los cuatro alimentadores 806, 808, 810 y 812, y como resultado, puede determinar que hay una avería en el bus 804. En tales casos, el relé 814 puede disparar un disyuntor de circuito 854, para interrumpir la potencia al bus 804.

Aunque el hub de comunicaciones 850 puede comunicar muy rápidamente información entre los varios relés, no obstante, puede haber una cierta cantidad de retardo al transmitir las varias señales. Al comparar las señales de

corriente procedentes de cada uno de los cuatro alimentadores 806, 808, 810, y 812 con una señal de corriente del alimentador primario 802, el relé primario 814 puede requerir así información de tiempo relativa para las señales de corriente con el fin de tener en cuenta dicho retardo (así como otros retardos que puedan producirse) y hacer una comparación significativa de las señales de corriente.

Dicha información de tiempo se puede obtener de varias fuentes. Por ejemplo, se puede crear una red de sincronización externa para proporcionar información de tiempo. Como otro ejemplo, los relés 824, 832, 836, y 842 pueden poner su sello de tiempo en sus respectivas mediciones de corriente antes de la transmisión de las mediciones. La información de tiempo (por ejemplo, para los sellos de tiempo) puede ser usada con relación a una señal de voltaje obtenida de un transformador de voltaje 856, y compartida entre los varios relés usando una conexión 858. Igualmente, se puede usar un transformador de voltaje 860 como una fuente alternativa o de reserva de información de tiempo usando una conexión 862. Naturalmente, los transformadores de voltaje 856 y 860 pueden ser usados para otros varios fines, tal como detectar una magnitud y/o la dirección de una señal de potencia concreta, como se ha descrito anteriormente con respecto a la figura 4.

Al proporcionar protección de reserva rápida contra sobrecorrientes para cada uno de los alimentadores 806, 808, 810, y 812, el relé primario 814 determina que uno o varios relés 824, 832, 836, o 842 han estado inoperativos en cierto grado. El relé primario 814 asume entonces la responsabilidad de las tareas de detección de sobrecorrientes del relé inoperativo, usando mediciones tomadas por la bobina relevante y transmitidas al relé primario 814, por ejemplo, a través del relé inoperativo (o el relé de reserva del relé inoperativo) y el hub de comunicaciones 850.

Resumiendo muchas de las operaciones antes descritas del sistema de protección eléctrica 800 de la figura 8, el relé primario 814 proporciona protección diferencial principal para el transformador de potencia 820 (usando las bobinas 816 y 818), protección diferencial principal para el bus 804 (usando la bobina 818 y las bobinas de alimentador 826, 828, 838, y 844), y protección de reserva secundaria para cada uno de los alimentadores 806, 808, 810, y 812 (usando conexiones directas entre cada relé de alimentador y al menos otra bobina de alimentador).

En las varias comunicaciones usadas en estas técnicas de protección, el hub de comunicaciones 850 (y las conexiones asociadas 848 y 852) puede ser usado para permitir, por ejemplo, comunicaciones digitales centralizadas. Además, o alternativamente, los varios relés pueden comunicar uno con otro (y otros elementos de circuito) usando, por ejemplo, comunicaciones digitales o analógicas entre iguales por las conexiones 858 y/o 862. Además, las varias conexiones, incluyendo las conexiones 848, 852, 856 y 862, pueden usarse como conexiones de reserva mutuas.

En la figura 8, y como se ha indicado anteriormente, se deberá entender que los varios esquemas de protección pueden requerir que todos los varios relés se conecten a uno o más de los varios disyuntores de circuito de manera similar a la ilustrada en las figuras 4-7. Sin embargo, por razones de claridad, estas conexiones no se ilustran en la figura 8.

Como se describe aquí, se usan bobinas de Rogowski como cualquiera de las varias bobinas explicadas con respecto a la figura 8, y el uso de tales bobinas de Rogowski puede impartir varias ventajas. Por ejemplo, aunque se puede usar múltiples bobinas de Rogowski en lugar de alguna bobina concreta de las bobinas representadas en la figura 8, cuando sea necesario, la capacidad de que una bobina de Rogowski concreta evite la saturación puede permitir que una sola bobina de Rogowski proporcione mediciones de corriente virtualmente en todos los niveles de corriente requeridos. Además, una bobina de Rogowski puede suministrar potencia suficiente a su(s) relé(s) asociado(s) para reducir o eliminar la necesidad de fuentes de potencia de relé separadas. Estas y otras varias ventajas de usar bobinas de Rogowski en las técnicas de protección aquí descritas, como las explicadas anteriormente con respecto a las figuras 4-7, se aplican a la explicación anterior de la figura 8, así como la explicación siguiente de las figuras 9-25.

En la figura 8, el relé primario 814 proporciona protección principal del transformador 820 y protección principal del bus 804. En la figura 8, estas protecciones son independientes una de otra. Por ejemplo, si la bobina 816 fallase (eliminando por ello la protección del transformador 820), el relé primario 814 todavía sería capaz de proporcionar protección primaria para el bus 804 (usando la bobina 818, como se ha descrito anteriormente).

La figura 9 es un diagrama de circuito de un sistema de protección de subestación 900. En la figura 9 no se usa la bobina 818. Como resultado, aunque el relé primario 814 proporciona protección primaria para el transformador 820 y el bus 804, estas protecciones ya no son independientes una de otra. Es decir, el relé 814 se basa en la bobina 816 para proporcionar toda la información acerca de corriente que está "hacia arriba" del bus 804. Si el relé 816 quedase inoperativo, entonces la protección tanto para el transformador 820 como para el bus 804 quedaría afectada. Aunque esta implementación da lugar a pérdida de redundancia en la protección del bus 804, también requiere una bobina menos; y por lo tanto puede ser menos cara y más fácil de instalar y configurar que el sistema de protección 800 de la figura 8.

El sistema de protección 900 de la figura 9 incluye además otras variaciones con respecto al sistema de protección 800 de la figura 8. Por ejemplo, en el sistema de protección 900, el relé primario 814 proporciona protección de

reserva rápida para el primer alimentador 806. Esta funcionalidad se realiza por medio de una conexión 902 entre la bobina 826 y el relé primario 814, y libera al cuarto relé de alimentador 842 de servir como la reserva rápida para el primer alimentador 806 (como se ilustra en la figura 8).

5 Además, una conexión 904 incluida en el sistema de protección 900 conecta el cuarto relé de alimentador 842 con la bobina 816 y el relé primario 814. Esta conexión puede ser usada, por ejemplo, para que el cuarto relé de alimentador 842 pueda actuar como una reserva rápida para el relé primario 814, contribuyendo por ello a compensar la pérdida de redundancia producida por la eliminación de la bobina 818.

10 Finalmente, un hub de comunicaciones secundario 906 está conectado a los relés de alimentador a través de una conexión 908, y está conectado al relé primario 814 a través de una conexión 910. El hub de comunicaciones secundario 906 puede servir como una reserva para el hub de comunicaciones 850.

15 Entonces, en el sistema de protección 900, la protección diferencial principal tanto del transformador de potencia 820 como del bus 804 la realiza el relé primario 814 (usando la bobina 816 y las bobinas de alimentador 826, 828, 838, 844). La protección de reserva rápida de los alimentadores 808, 810, y 812 se realiza como se ha descrito anteriormente con respecto a la figura 8, y la protección de reserva rápida del alimentador 806 la realiza el relé primario 814 (usando las conexiones 902 con la bobina 826). El relé primario 814 también proporciona protección de reserva para los cuatro alimentadores 806, 808, 810 y 812, en base a señales transmitidas por los hubs de comunicaciones 850 y/o 906.

20 La figura 10 es un diagrama de circuito de un sistema de protección de subestación 1000 que incluye un relé 1002 conectado a una bobina 1004 (situada entre el transformador 820 y el disyuntor de circuito 854). El relé 1002 también está conectado a una bobina 1006 que está instalada en un devanado neutro del transformador 820. El relé 1002 también está conectado a la bobina 816, las conexiones 858 y 862, y los hubs de comunicaciones 850 y 906.

25 En el sistema de protección 1000, como en el sistema de protección 900 de la figura 9, el relé primario 814 proporciona protección diferencial principal del transformador 820 (usando la bobina 816 y las bobinas de alimentador 826, 828, 838 y 844), y protección de reserva rápida para el primer alimentador 806 (usando la conexión 902 con la bobina 826). Otras conexiones en común con el sistema de protección 900 también actúan de la manera descrita anteriormente.

30 El relé 1002 proporciona protección diferencial principal para el bus 804 usando una salida de la bobina 1004 en unión con salidas de las bobinas de alimentador 826, 828, 838 y 844. Se deberá entender que esta protección es independiente de la protección diferencial principal que el relé primario 814 proporciona al transformador 820.

35 El relé 1002 también proporciona protección principal restringida de fallos a tierra para el transformador usando la bobina 1006. Además, el relé 1002 proporciona protección diferencial de reserva para el transformador de potencia 820.

40 También se puede implementar muchas variaciones en los sistemas de las figuras 8-10. Por ejemplo, en el sistema de protección 1000, el relé primario 814 puede conectarse a la bobina 1004 de modo que el relé primario 814 pueda ser usado para proporcionar protección diferencial de reserva rápida para el bus 804. Además, las conexiones 902 y 904 pueden eliminarse en el sistema de protección 1000, y la protección de reserva rápida para los cuatro alimentadores 806, 808, 810, y 812 se puede obtener de la manera descrita con respecto al sistema de protección 800.

45 La figura 11 es un diagrama de circuito de un sistema de protección eléctrica 1100 en el que los varios relés están conectados a través de convertidores analógico a digital (A/D) (cada uno de los cuales convierte señales de salida de bobina a señales digitales en las posiciones de bobina) al hub de comunicaciones 850. Específicamente, el hub 850 recibe la salida de un convertidor A/D 1102 conectado a la bobina 816, un convertidor A/D 1104 conectado a la bobina 826, un convertidor A/D 1106 conectado a la bobina 828, un convertidor A/D 1108 conectado a la bobina 838, y un convertidor A/D 1110 conectado a la bobina 844. Las salidas de los convertidores A/D 1104, 1106, 1108 y 1110 se congregan en un hub de comunicaciones 1112, que está conectado al hub de comunicaciones 850.

50 En la figura 11, todas las señales de corriente procedentes de las varias bobinas son compartidas entre los relés a través de los hubs de comunicaciones 850 y 1112. Como en las figuras 8-10, los varios relés permanecen conectados uno a otro a través de las conexiones 858 y 862, y los transformadores de voltaje 856 y 860 también están conectados a los relés a través de las conexiones 858 y 862.

55 Así, parte de la funcionalidad de las implementaciones de las figuras 8-10 puede implementarse en el sistema de protección 1100. Por ejemplo, los varios relés pueden comunicar uno con otro usando las conexiones 858 y/o 868, y pueden obtener información de sincronización/tiempo de los transformadores 856 y/o 860.

60 En la figura 11, las señales de corriente procedentes de todas las bobinas están disponibles para todos los relés, a través de los hubs de comunicación 850 y 1112. Además, señales de voltaje asociadas también están disponibles

para los varios relés a través de las conexiones 858 y/o 862. Como resultado, la protección principal y de reserva para los componentes, incluyendo el transformador 820, el bus 804 y los alimentadores 806, 808, 810 y 812, se puede diseñar de varias formas, incluyendo muchas de las técnicas descritas anteriormente.

5 Por ejemplo, el primer relé de alimentador 824 puede servir como protección primaria para el primer alimentador 806, y como protección de reserva para el segundo relé de alimentador 832 (y por ello el segundo alimentador 808), como en las figuras 8-10. Como otro ejemplo, el relé primario 814 puede ser usado para proporcionar protección de reserva al primer relé de alimentador 824 (y por ello el primer alimentador 806), como en las figuras 9 y 10.

10 También se puede implementar otras técnicas de protección, no descritas explícitamente anteriormente. Por ejemplo, el tercer relé de alimentador 826 puede ser usado para proporcionar protección de reserva para el primer relé de alimentador 824. De hecho, virtualmente cualquiera o varios de los varios relés pueden ser usados para proporcionar protección de reserva para cualquiera o varios de los relés restantes.

15 Compartiendo todas las señales de corriente sobre un medio de comunicaciones digitales, el sistema de protección 1100 puede proporcionar una mayor flexibilidad de diseño en comparación con los sistemas de protección de las figuras 8-10. Además, una mayor parte del diseño, la implementación y el mantenimiento del sistema de protección 1100 puede implementarse en software, por ejemplo, en uno o ambos hubs de comunicaciones 850 y 906, o en hardware de ordenador separado (no representado).

20 La figura 12 es un diagrama de circuito de un sistema de protección eléctrica 1200. En la figura 12, todos los convertidores A/D 1102, 1104, 1106, 1108 y 1110 están conectados a una conexión 1202, que a su vez, está conectada a un recurso informático 1204. Además, los transformadores de voltaje 856 y 860 están conectados a un convertidor A/D 1206 y un convertidor A/D 1208, respectivamente.

25 Así, en la figura 12, todas las señales de detección de corriente y voltaje están digitalizadas, y son compartidas mediante la conexión 1202 y el recurso informático 1204. En comparación con los sistemas de las figuras 8-11, se deberá indicar que las conexiones 858 y 862 no están incluidas en el sistema de protección 1200 (aunque podrían estarlo como una técnica de comunicaciones de reserva).

30 Compartiendo las varias señales de detección de corriente y voltaje en una posición central, se puede implementar un número aún mayor de diseños de protección principal y de reserva en software de ordenador que en el sistema de protección 1100 de la figura 11. En la figura 12, en contraposición a las figuras 8-11, se ilustran conexiones directas entre los varios relés y sus disyuntores de circuito asociados. Sin embargo, incluso los disyuntores de circuito 822, 830, 834, 840, y 846 podrían estar conectados a la conexión 1202, y ser controlados por ello por el recurso de ordenador 1204.

35 La figura 13 es un diagrama de circuito de un primer sistema de protección de horno de arco eléctrico 1300. En la figura 13, una entrada primaria recibe potencia en un conductor primario 1302, por ejemplo, de una compañía eléctrica. Un sistema de protección, tal como un disyuntor de circuito 1304, está incluido en el sistema de protección de horno de arco eléctrico (HAE) 1300, con el fin de interrumpir la potencia al HAE a la detección de una avería interrumpiendo un recorrido de una primera corriente primaria I_{1P} a lo largo del conductor primario 1302.

40 Una primera bobina 1306 envía una primera corriente secundaria I_{1S} , que se basa en la corriente primaria I_{1P} , y envía la primera corriente secundaria I_{1S} a un dispositivo de protección, tal como un relé multifunción, trifásico, diferencial 1308 que tiene múltiples entradas de corriente y voltaje.

45 Un transformador 1310 reduce un voltaje asociado con la primera corriente primaria I_{1P} , y correspondientemente eleva la primera corriente primaria I_{1P} a una segunda corriente primaria I_{2P} . La segunda corriente primaria I_{2P} es detectada por una segunda bobina 1312 como una segunda corriente secundaria I_{2S} , que también es introducida al relé 1308. La segunda corriente primaria I_{2P} puede estar dentro del rango de, por ejemplo, 50kA - 80kA o más.

50 La segunda corriente primaria I_{2P} fluye en un conductor 1314 a cables refrigerados por agua 1316, que, a su vez, están conectados a brazos conductores 1318. Los brazos conductores 1318 están acoplados a un electrodo 1320 que se baja a un horno 1322 cubierto con una tapa 1324.

55 En la operación, el horno contiene típicamente, por ejemplo, chatarra de acero u otro material ferroso. El electrodo 1320 se baja al horno 1322, y se pasa una corriente a través del electrodo 1320 para formar un arco. El arco genera suficiente calor para fundir la chatarra dentro del horno 1322, de modo que la chatarra se puede convertir en varios tipos de aceros de calidad especial (por ejemplo, aleaciones de acero) o aceros de calidad ordinaria (por ejemplo, aceros no aleados).

60 Se puede implementar variaciones de los elementos antes descritos y elementos relacionados. Por ejemplo, se puede usar múltiples transformadores en lugar del único transformador 1310, con el fin de reducir, por ejemplo, un voltaje inicial en múltiples pasos. En tal caso, un transformador de voltaje medio puede ir seguido de un transformador de horno de trabajo pesado. Como otro ejemplo, se puede usar un conjunto de barras bus para

proporcionar una conexión eléctrica entre los cables refrigerados por agua 1316 y los electrodos 1320.

Se puede aplicar varios voltajes secundarios diferentes al electrodo 1320, dependiendo, por ejemplo, del tipo de chatarra de acero que se funde. Con el fin de variar el voltaje secundario, la posición de toma del transformador 1310 se puede cambiar. Una posición de toma de corriente en un tiempo dado comunica con el relé 1308 por una señal de toma 1328.

El transformador 1310 y la segunda bobina 1312 pueden estar encerrados dentro de una bóveda 1326 que está diseñada para proporcionar un entorno seguro y limpio. Conjuntamente, la bóveda 1326 y sus elementos internos (que también pueden incluir, por ejemplo, un conjunto de barras bus, dispositivos de detención de sobrecorrientes, y transformadores secundarios (por ejemplo, transformadores de voltaje) que se puede instalar en el lado primario del transformador 1310 para dosificación y control), junto con la primera bobina 1306, se incluyen dentro de una zona de protección 1330 dentro de la que las averías eléctricas pueden ser detectadas por el relé 1308.

En el sistema de protección HAE 1300, se deberá entender que el relé 1308 opera de manera similar a los varios relés explicados anteriormente. Por ejemplo, el relé 1308 determina si las dos corrientes secundarias I_{1S} e I_{2S} están dentro de algún diferencial predeterminado de otra. Específicamente, el relé 1308 determina que $I_0 = I_{1S} - kI_{2S}$, donde I_0 es generalmente cero y la constante "k" representa un nivel de error en la diferencia que serán aceptado antes de que el relé 1308 determine que hay una avería dentro de la zona de protección 1330.

Aunque las averías en el transformador de horno 1310 o de otro modo asociadas con la bóveda 1326 son a menudo lentas y caras de reparar, el disyuntor de circuito 1304, por sí mismo, a menudo es capaz de detectar averías que tienen lugar hacia arriba del transformador 1310. Usando el relé 1308 en unión con las dos bobinas 1306 y 1312 (y/o con bobinas adicionales, como se explica a continuación con respecto a la figura 17), también se puede dar protección contra averías a elementos que estén situados en o hacia abajo del transformador 1310.

Al usar bobinas de Rogowski como las bobinas 1306 y 1312, al sistema de protección HAE 1300 se le imparten muchas o todas las ventajas de las bobinas de Rogowski que se describen anteriormente, incluyendo bajo costo y facilidad de instalación, uso y mantenimiento. Por ejemplo, las bobinas de Rogowski pueden diseñarse al estilo de núcleo dividido, de modo que la desconexión de conductores no sea necesaria durante la instalación. Las bobinas de Rogowski pueden diseñarse de modo que sean inmunes a campos magnéticos externo, eviten la saturación, y reaccionen a averías de nivel bajo (evitando por ello el esfuerzo excesivo en los componentes relacionados).

Además, usando un relé basado en microprocesador como el relé 1308, las señales de corriente detectadas en las bobinas 1306 y/o 1312 pueden ser manipuladas de varias formas. Por ejemplo, las señales de corriente digitales pueden escalarse fácilmente dentro del relé 1308 usando multiplicadores con factores de escala diseñados para desarrollar una señal de relé interno que corresponda a una magnitud de la corriente supervisada. Como otro ejemplo, dado que la magnitud de la señal puede ser escalada, un ángulo de fase asociado con una señal de corriente concreta puede ser desplazado según sea necesario usando manipulación numérica en algoritmos asociados con el relé 1308. Como un ejemplo final, se puede implementar un algoritmo de restricción de armónicos en el relé 1308 con el fin de evitar la desconexión indeseable del disyuntor de circuito 1304 en caso de corrientes de irrupción por energización (es decir, corrientes que resultan del encendido inicial del transformador).

Al usar tal relé basado en microprocesador 1308, se puede usar un recurso informático, tal como, por ejemplo, un ordenador personal, durante la operación del relé 1308 para observar las cantidades de protección calculadas en tiempo real. Tales observaciones en tiempo real pueden permitir la realización de ajustes de calibración finos, incluso después de la instalación, con el fin de lograr alta sensibilidad.

Además, como se ha mencionado anteriormente, la posición de toma del transformador 1310 se puede cambiar durante la operación al objeto de variar el voltaje secundario distribuido por el transformador 1310. Durante tales cambios, las corrientes del sistema 1300 pueden llegar temporalmente a niveles que podrían considerarse erróneamente como eventos de avería. Además, una vez que haya tenido lugar el cambio de posición de toma, las corrientes se alterarán, requiriendo cambios correspondientes, por ejemplo, en el relé 1308.

Tales cambios de posición de toma pueden realizarse en el sistema de protección HAE 1300 usando la señal de posición de toma 1328. Por ejemplo, la señal de posición de toma 1328 puede pasarse al relé 1308 a través de un controlador lógico programable ("PLC"), o mediante alguna otra técnica para comunicar la información de posición de toma al relé 1308. El relé 1308 puede almacenar (o tener acceso de otro modo a) una tabla de consulta de relaciones de devanado del transformador 1310 en las varias posiciones de toma del transformador, y puede usar la tabla de consulta para corregir las señales de corriente recibidas de las bobinas 1306 y 1312 durante y después de los cambios de posición de toma. Como resultado, la combinación de bobina/relé tiene en cuenta las diferentes relaciones de devanado del transformador 1310, y los parámetros de restricción del relé 1308 se pueden poner con alta sensibilidad.

En el sistema de protección HAE 1300, las bobinas de Rogowski pueden proporcionar exactitud de clase de medición en mediciones de sus señales de corriente de salida. Por ejemplo, las bobinas de Rogowski pueden

diseñarse para medir corrientes con una precisión superior a 0,1%, con una precisión típica de 1%-3% o mejor. Además, dado que no se saturan típicamente, las bobinas de Rogowski ofrecen un amplio rango de medición, tal como, por ejemplo, de varios amperios a varios cientos de miles de amperios. Como resultado, tales bobinas pueden ser usadas para medir corrientes que tienen un componente CC grande. Además, tales bobinas de Rogowski pueden operar en un amplio rango de frecuencias, tal como desde aproximadamente 0,1 Hz a más 1 MHz. Las bobinas de Rogowski también pueden diseñarse para proporcionar una respuesta de frecuencia de paso de banda de hasta aproximadamente 200 MHz o más.

La figura 14 ilustra una implementación del sistema de protección HAE 1300 de la figura 13. En términos generales, las bobinas 1306 y 1312 pueden instalarse en varias posiciones. Por ejemplo, las bobinas 1306 y 1312 pueden montarse en una pared de la bóveda 1326 en un punto donde el bus penetre la pared. En la figura 14, las bobinas 1306 están situadas alrededor de conductores 1302, que están conectados a tomas 1402 (etiquetadas h1-h3), y montadas en un dispositivo de conmutación 1404 que es responsable de conmutar el transformador 1310 (véase la figura 15 y la explicación asociada). Las bobinas 1312 están conectadas a terminales de bajo voltaje 1406 (etiquetados X1-X6). En la figura 14, las bobinas 1306 están configuradas de manera similar a la ilustrada en las figuras 2 y 3, con cada fase del (de los) conductor(es) 1302 encerrada por una bobina separada de las bobinas 1306. Las bobinas 1306 y 1312 pueden personalizarse para acomodar los conductores asociados con la bóveda 1326 en formas distintas de la ilustrada en la figura 14.

La figura 15 ilustra una configuración de los conductores 1302 y bobinas 1306, donde las bobinas 1306 están integradas en la pared de la bóveda 1326. La figura 16 ilustra una bobina 1312 configurada con dos de los conductores 1314 contenidos dentro de una sola bobina 1312.

La figura 17 ilustra un sistema de protección HAE 1700 que es similar al sistema 1300 de la figura 13, pero que incluye una tercera bobina 1702 asociada con brazo(s) conductor(es) 1318 y conectada al relé 1308. Como resultado, el sistema de protección HAE 1700 proporciona múltiples zonas de protección redundantes y/o independientes para los varios componentes HAE asociados.

Por ejemplo, una primera zona de protección 1704 incluye todos los componentes entre la bobina 1306 y 1310 (por ejemplo, el transformador 1310). Una segunda zona de protección 1706 incluye todos los componentes situados entre la bobina 1312 y la bobina 1702 (por ejemplo, los cables refrigerados por agua 1316). Finalmente, una tercera zona de protección 1708 incluye todos los componentes situados entre la bobina 1306 y la bobina 1702.

De forma similar a los varios sistemas de protección descritos anteriormente, el relé 1308 puede implementar tres algoritmos distintos, cada uno de los cuales corresponde a una de las zonas de protección 1704, 1706 y 1708. Como resultado, la zona de protección 1704 es independiente del mal funcionamiento de la bobina 1702, mientras que la zona de protección 1706 es independiente del mal funcionamiento de la bobina 1306. Finalmente, la zona de protección 1708 es independiente del mal funcionamiento de la bobina 1312.

Además, el sistema de protección HAE 1700 permite determinar tanto la posición como la magnitud de una avería. Además, con respecto a la zona de protección 1706, no se necesita información acerca de la posición de la toma asociada con el transformador 1310. Como resultado, el algoritmo de protección para la zona de protección 1706 se puede simplificar con respecto a un algoritmo correspondiente para la zona de protección 1704, y, como resultado, el relé 1308 se puede poner de forma más sensible.

La figura 18 es un diagrama de circuito de un primer circuito de prueba para probar un sistema de protección eléctrica. En la figura 18, una fuente 1802 suministra potencia a un transformador 1804. Específicamente, la fuente 1802 suministra una corriente que tiene un valor, por ejemplo, de 2.500 A, que es elevado por el transformador 1804 a una corriente que tiene un valor, por ejemplo, de 60 kA.

Se usan una bobina 1806 y una bobina 1808 para detectar estas corrientes, y están en comunicación con los canales 3 y 6 de un registrador de transitorios 1810, que puede estar asociado con, o ser parte de, un relé diferencial tal como los descritos anteriormente. Se inicia una avería (cortocircuito) en el circuito de prueba 1800 usando un interruptor 1812, donde las corrientes de fallo puede ser del rango de, por ejemplo, 1kA - 10kA, y las bobinas 1806 y 1808 son comprobadas en el rango de estas corrientes de fallo.

Una bobina 1814 mide la corriente diferencial para comparación con la salida de las bobinas 1806 y 1808, y comunica con el canal 4 del registrador 1810. Una bobina 1816 y una bobina 1818 están conectadas a conductores externos (no representados) y se usan para medir los efectos de las corrientes a través de dichos conductores externos al llevar corrientes altas. Las salidas de las bobinas 1816 y 1818 son multiplicadas por un multiplicador 1820 y un multiplicador 1822 (por ejemplo, por 100x), respectivamente, e introducidas, respectivamente, a canales 2 y 7 del registrador 1810.

Se usa un shunt de laboratorio 1824 para protección contra corrientes indeseadas o inseguras, y está conectado al canal 8 del registrador 1810. Una resistencia 1826 está conectada a la fuente 1802 con el fin de limitar una salida de corriente por la fuente 1802, mientras que una resistencia 1828 está conectada al interruptor 1812 y se usa de forma

similar.

Finalmente, se usan un transformador de corriente 1830 y un transformador de corriente 1832 como sensores de corriente que producen mediciones de corriente con las que se pueden comparar los resultados de las mediciones de las varias bobinas. Los transformadores de corriente 1830 y 1832 están conectados a canales 1 y 5 del registrador 1810, respectivamente.

En el circuito de prueba 1800, no se aplicó blindaje externo a las varias bobinas, con el fin de probar más plenamente condiciones extremas de aplicación (como las que podría haber en un HAE).

La figura 19 es un gráfico de resultados de prueba del circuito de prueba 1800 de la figura 18. En la figura 19, se usa una corriente de fallo que es aproximadamente 10% de la corriente de carga, y se ilustran formas de onda resultantes para los varios componentes, etiquetados.

La figura 20 es un primer gráfico de una comparación de las formas de onda ilustradas en la figura 19. Específicamente, en la figura 20, una primera forma de onda 2002 representa una forma de onda asociada con la bobina 1814, que mide directamente la corriente de fallo, en virtud de su conexión al interruptor 1812. Una segunda forma de onda 2004 representa una forma de onda asociada con una diferencia entre las formas de onda asociadas con las bobinas 1806 y 1808 (escaladas por la relación de transformador). La segunda forma de onda 2002 contiene una señal de ruido procedente de canales no blindados del registrador 1810. Esta señal de ruido es virtualmente idéntica después de la prueba como antes, y por lo tanto no es probable que haya sido aportada por ningún efecto asociado con alguna de las varias bobinas.

La figura 21 es un segundo gráfico de la comparación de formas de onda ilustradas en la figura 20. En la figura 21, la comparación de formas de onda se ha amplificado 10x por razones de claridad.

En las figuras 20 y 21, es evidente que las dos formas de onda 2002 y 2004 son virtualmente idénticas, estableciendo por ello una exactitud de las técnicas antes descritas para detectar corrientes de fallo usando un relé diferencial y bobinas de Rogowski.

La figura 22 es un diagrama de circuito de un segundo circuito de prueba 2200 para probar un sistema de protección eléctrica. En la figura 22, una fuente de potencia 2202 suministra potencia a un transformador 2204. Se inicia una corriente de fallo usando un elemento de circuito 2206, que puede ser, por ejemplo, una resistencia de limitación de corriente. Una primera bobina redonda 2208 y una segunda bobina redonda 2210 detectan corrientes en sus posiciones respectivas y comunican los resultados a un registrador 2212. Además, una primera bobina oval 2214 y una segunda bobina oval 2216 detectan corrientes en sus posiciones respectivas y comunican los resultados al registrador 2212. Finalmente, un transformador de corriente 2218 mide la corriente de fallo para comparación con los resultados calculados en base a las bobinas 2208, 2210, 2214 y 2216. El transformador de corriente 2218 puede ser, por ejemplo, un transformador de corriente de 6005 A.

El canal 1 del registrador 2212 detecta una salida de la primera bobina oval 2214, el canal 2 del registrador 2212 detecta una salida de la segunda bobina oval 2216, y el canal 3 determina una diferencia de las dos bobinas ovales 2214 y 2216. El canal 4 del registrador 2212 detecta una salida del transformador de corriente 2218. El canal 5 detecta una salida de la primera bobina redonda 2208, el canal 6 detecta una salida de la segunda bobina redonda 2210, y el canal 7 determina una diferencia entre la primera bobina redonda 2208 y la segunda bobina redonda 2210. Finalmente, el canal 8 determina una diferencia entre la primera bobina oval 2214 y la segunda bobina redonda 2210.

La figura 23 es un gráfico que muestra un resultado de una simulación del circuito de prueba 2200 de la figura 22. En la figura 23 se usó una corriente de carga de 1 kA, junto con niveles de avería en el rango de 10 A a 850 A. Una primera línea 2302 representa las mediciones resultantes del transformador de corriente 2218, mientras que una segunda línea 2304 representa las mediciones resultantes de las varias bobinas (multiplicadas por un factor de 10). Como es evidente en la figura 23, las mediciones de corriente basadas en las varias bobinas de la figura 22 son altamente sensibles y responden a las condiciones de avería comprobadas.

En conclusión, la descripción anterior ilustra varios sistemas de protección para sistemas eléctricos tales como, por ejemplo, redes puntuales, divisores de potencia de subestación, y hornos de arco eléctrico. Los varios sistemas de protección pueden diseñarse y usarse para detectar y reparar averías que puede producirse dentro de los sistemas eléctricos. Por ejemplo, se puede usar un par de bobinas de Rogowski para detectar corriente a lo largo de conductores en sus posiciones respectivas en los conductores, y para enviar señales correspondiente a un relé diferencial multifunción que tiene múltiples entradas de voltaje y corriente. Comparando las señales procedentes de las bobinas de Rogowski, el relé diferencial puede determinar si hay una avería en algún punto a lo largo de los conductores y entre el par de bobinas de Rogowski. Además, el relé puede disparar entonces, en respuesta a la avería, un disyuntor de circuito u otro dispositivo de protección de red para corregir la avería.

Además, cuando se incluyen múltiples relés, al menos uno de los relés puede estar en comunicación con uno o

varios de los otros relés, y/o con una o varias de las bobinas de Rogowski asociada con uno de los otros relés. De esta forma, se puede diseñar y usar muchos esquemas de protección diferentes, incluyendo esquemas diferenciales y esquemas de detección de sobrecorrientes. Además, cada uno de los varios relés puede diseñarse para proporcionar funcionalidad de reserva muy rápida para uno o varios de los otros relés.

- 5 Se han descrito varias implementaciones. No obstante, se entenderá que se puede hacer varias modificaciones. Consiguientemente, otras implementaciones caen dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de protección eléctrica (100) incluyendo:

5 una primera bobina de Rogowski (108; 408) colocada para detectar una primera corriente y generar una primera medición de corriente;

10 una segunda bobina de Rogowski (110; 420) colocada para detectar una segunda corriente y generar una segunda medición de corriente, donde se define una primera zona de protección (104) entre la primera bobina de Rogowski (108; 408) y la segunda bobina de Rogowski (110; 420); y

15 un primer dispositivo de protección (116; 414) operable para determinar la existencia de una primera avería que está asociada con un primer elemento de circuito dentro de la primera zona de protección (104) a partir de la diferencia entre la primera medición de corriente y la segunda medición de corriente.

20 2. El sistema de la reivindicación 1, donde la segunda bobina de Rogowski (110) define una segunda zona de protección (118) conteniendo un segundo elemento de circuito, y el primer dispositivo de protección (116) puede operar para implementar un segundo esquema de protección para detectar una segunda avería asociada con el segundo elemento de circuito.

3. El sistema de la reivindicación 2, donde el segundo esquema de protección incluye un esquema de protección contra sobrecorrientes.

25 4. El sistema de la reivindicación 3, donde el primer dispositivo de protección (116) puede operar para integrar la protección de la primera zona de protección (104) y la segunda zona de protección (118).

30 5. El sistema de la reivindicación 4, donde el primer dispositivo de protección (116) puede operar para proporcionar una tercera zona de protección (120) que sirve como una zona de protección de reserva para la primera zona de protección (104) y la segunda zona de protección (118).

6. El sistema de la reivindicación 1, incluyendo además un primer disyuntor de circuito operable para recibir una primera instrucción del primer dispositivo de protección (116; 414) e interrumpir la primera corriente en respuesta a la primera instrucción.

35 7. El sistema de la reivindicación 6, donde la primera bobina de Rogowski (408), la segunda bobina de Rogowski (420), el primer dispositivo de protección (414), y el primer disyuntor de circuito están asociados con una primera unidad de red (402) de un sistema de red eléctrica (400).

40 8. El sistema de la reivindicación 7, incluyendo además:

una tercera bobina de Rogowski colocada para detectar una tercera corriente y generar una tercera medición de corriente;

45 una cuarta bobina de Rogowski colocada para detectar una cuarta corriente y generar una cuarta medición de corriente, donde se define una segunda zona de protección en base a una posición de la tercera bobina de Rogowski y la cuarta bobina de Rogowski; y

50 un segundo dispositivo de protección operable para determinar a partir de la tercera medición de corriente y la cuarta medición de corriente la existencia de una segunda avería que está asociada con un segundo elemento de circuito dentro de la segunda zona de protección.

55 9. El sistema de la reivindicación 8, incluyendo además un segundo disyuntor de circuito operable para recibir una segunda instrucción del segundo dispositivo de protección e interrumpir la tercera corriente en respuesta a la segunda instrucción.

10. El sistema de la reivindicación 9, donde la tercera bobina de Rogowski, la cuarta bobina de Rogowski, el segundo dispositivo de protección y el segundo disyuntor de circuito están asociados con una segunda unidad de red (404) del sistema de red eléctrica (400).

60 11. El sistema de la reivindicación 10, incluyendo además un enlace de comunicaciones (476) entre el primer dispositivo de protección (414) y el segundo dispositivo de protección (416).

12. El sistema de la reivindicación 11, donde la primera unidad de red (402) y la segunda unidad de red (404) están conectadas a través de una conexión de bus (462).

65 13. El sistema de la reivindicación 12, donde el primer dispositivo de protección (414) y el segundo dispositivo de

protección (416) comparten la primera medición de corriente, la segunda medición de corriente, la tercera medición de corriente, y la cuarta medición de corriente por el enlace de comunicaciones (476), y usan las mediciones de corriente para determinar que hay una avería de bus asociada con la conexión de bus (462).

5 14. El sistema de la reivindicación 12, donde la tercera bobina de Rogowski, la cuarta bobina de Rogowski y el segundo disyuntor de circuito están conectados al primer dispositivo de protección.

15. El sistema de la reivindicación 14, donde:

10 el primer dispositivo de protección puede operar para recibir una notificación de mal funcionamiento que indica un mal funcionamiento del segundo dispositivo de protección, y

el primer dispositivo de protección puede operar para recibir la tercera medición de corriente y la cuarta medición de corriente y determinar que la segunda avería existe en base a la medición de corriente.

15 16. El sistema de la reivindicación 15, donde el primer dispositivo de protección puede operar para operar el segundo disyuntor de circuito en respuesta a la segunda avería.

20 17. El sistema de la reivindicación 1, incluyendo además una tercera bobina de Rogowski colocada para detectar una tercera corriente y generar una tercera medición de corriente, donde se define una segunda zona de protección en base a una posición de la primera bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski, y se define una tercera zona de protección en base a una posición de la segunda bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski.

25 18. El sistema de la reivindicación 17, donde el primer dispositivo de protección es operable para determinar a partir de la primera medición de corriente y la tercera medición de corriente que hay una segunda avería que está asociada con un segundo elemento de circuito dentro de la segunda zona de protección.

30 19. El sistema de la reivindicación 17, donde el primer dispositivo de protección es operable para determinar a partir de la segunda medición de corriente y la tercera medición de corriente que hay una tercera avería que está asociada con un tercer elemento de circuito dentro de la tercera zona de protección.

35 20. El sistema de protección eléctrica de la reivindicación 1, donde la primera bobina de Rogowski (408) y la segunda bobina de Rogowski (420) se incluyen en un primer agrupamiento de dos o más bobinas, e incluyendo además un segundo agrupamiento de dos o más bobinas de Rogowski y un tercer agrupamiento de dos o más bobinas de Rogowski, donde:

40 el primer agrupamiento de bobinas de Rogowski (408, 420) puede operar para generar la primera medición de corriente y la segunda medición de corriente; el segundo agrupamiento de bobinas de Rogowski (410, 422) puede operar para generar segundas señales de corriente asociadas con una segunda unidad de red (404) del sistema eléctrico (400); y

el tercer agrupamiento de bobinas de Rogowski (412, 424) puede operar para generar terceras señales de corriente asociadas con una tercera unidad de red (406) del sistema eléctrico (400).

45 21. El sistema de protección eléctrica de la reivindicación 1, donde la primera bobina de Rogowski está asociada con un alimentador primario de un sistema eléctrico y es operable para detectar una corriente primaria en el alimentador primario y el primer dispositivo de protección puede operar para recibir una primera señal de corriente de la primera bobina de Rogowski, incluyendo además el dispositivo de protección eléctrica:

50 bobinas de Rogowski secundarias, cada una asociada con un alimentador secundario correspondiente del sistema eléctrico y operable para detectar una corriente secundaria correspondiente en el alimentador secundario;

dispositivos de protección secundarios, cada uno operable para recibir una señal de corriente secundaria de una bobina de Rogowski secundaria asociada; y

55 un enlace de comunicación operable para transmitir la primera señal de corriente y las señales de corriente secundarias entre el primer dispositivo de protección y los dispositivos de protección secundarios.

60 22. El sistema de protección eléctrica de la reivindicación 1, donde:

la primera bobina de Rogowski está colocada a lo largo de un primer conductor y es operable para medir una primera corriente en el primer conductor para generar la primera medición de corriente, donde el primer conductor es parte de un sistema de horno de arco eléctrico (HAE); y

65 el dispositivo de protección puede operar además para usar la primera medición de corriente al determinar que existe una avería en el sistema HAE.

23. Un método para proteger un sistema eléctrico, incluyendo el método:

medir una primera corriente a través de un primer conductor (102) en un sistema eléctrico (100; 400) usando una primera bobina de Rogowski (108; 408) colocada a lo largo del primer conductor (102);

enviar una primera señal de corriente correspondiente a la primera corriente;

medir una segunda corriente a través de un segundo conductor (106) en el sistema eléctrico (100; 400) usando una segunda bobina de Rogowski (110; 420) colocada a lo largo del segundo conductor (106);

enviar una segunda señal de corriente correspondiente a la segunda corriente;

proporcionar la primera señal de corriente y la segunda señal de corriente a un primer dispositivo de protección (116; 414); y,

determinar la existencia de una primera avería que está asociada con un primer elemento de circuito dentro de una primera zona de protección (104) definida entre la primera bobina de Rogowski (108; 408) y la segunda bobina de Rogowski (110; 420) a partir de la diferencia entre la primera medición de corriente y la segunda medición de corriente.

24. El método de la reivindicación 23, incluyendo además:

proporcionar protección contra sobrecorrientes a un segundo elemento de circuito que está colocado dentro de una segunda zona de protección (118) del sistema eléctrico (100; 400) que se define por una posición de la segunda bobina de Rogowski (110; 420), usando el primer dispositivo de protección (116; 414).

25. El método de la reivindicación 24, incluyendo:

proporcionar protección de reserva dentro de una tercera zona de protección (120) que incluye la primera zona de protección (104) y la segunda zona de protección (118), usando el primer dispositivo de protección (116).

26. El método de la reivindicación 23, donde el primer conductor y el segundo conductor se incluyen dentro de una primera unidad de red (402) del sistema eléctrico (400), incluyendo además:

medir una tercera corriente a través de un tercer conductor en el sistema eléctrico (400) usando una tercera bobina de Rogowski (410) colocada a lo largo del tercer conductor;

enviar una tercera señal de corriente correspondiente a la tercera corriente;

medir una cuarta corriente a través de un cuarto conductor en el sistema eléctrico (400) usando una cuarta bobina de Rogowski (422) colocada a lo largo del cuarto conductor;

enviar una cuarta señal de corriente correspondiente a la cuarta corriente; y

proporcionar la tercera señal de corriente y la cuarta señal de corriente a un segundo dispositivo de protección (416).

27. El método de la reivindicación 26, donde el tercer conductor y el cuarto conductor se incluyen dentro de una segunda unidad de red (404) del sistema eléctrico (400).

28. El método de la reivindicación 27, incluyendo además determinar, en base a la tercera señal de corriente y la cuarta señal de corriente, que existe una avería asociada con la segunda unidad de red (404).

29. El método de la reivindicación 27, donde el primer dispositivo de protección (414) y el segundo dispositivo de protección (416) están conectados por un enlace de comunicaciones (476);

el sistema eléctrico incluye un bus de conexión (462) que conecta la primera unidad de red (402) a la segunda unidad de red (404), y

el bus de conexión (462) está conectado al segundo conductor y el cuarto conductor entre la primera bobina de Rogowski (408) y la segunda bobina de Rogowski (420).

30. El método de la reivindicación 29, incluyendo además:

transmitir la primera señal de corriente y la segunda señal de corriente desde el primer dispositivo de protección (414) al segundo dispositivo de protección (416);

transmitir la tercera señal de corriente y la cuarta señal de corriente desde el segundo dispositivo de protección (416) al primer dispositivo de protección (414); y

- 5 determinar que existe una avería asociada con el bus de conexión (462), en base a la primera señal de corriente, la segunda señal de corriente, la tercera señal de corriente y la cuarta señal de corriente.

31. El método de la reivindicación 26, incluyendo además:

- 10 transmitir la tercera señal de corriente desde la tercera bobina de Rogowski al primer dispositivo de protección, a través de una primera conexión;

transmitir la cuarta señal de corriente desde la cuarta bobina de Rogowski al primer dispositivo de protección, a través de una segunda conexión; y

- 15 determinar, en el primer dispositivo de protección y en base a la tercera señal de corriente y la cuarta señal de corriente, que existe una avería asociada con la segunda unidad de red.

32. El método de la reivindicación 23, incluyendo además:

- 20 medir una tercera corriente a través de un tercer conductor en el sistema eléctrico usando una tercera bobina de Rogowski colocada a lo largo del tercer conductor;

enviar una tercera señal de corriente correspondiente a la tercera corriente; e

- 25 introducir la tercera señal de corriente en el primer dispositivo de protección.

33. El método de la reivindicación 32, incluyendo además determinar que existe una avería entre la primera bobina de Rogowski y la tercera bobina de Rogowski en base a la primera señal de corriente y la tercera señal de corriente.

- 30 34. El método de la reivindicación 32, incluyendo además determinar que existe una avería entre la tercera bobina de Rogowski y la segunda bobina de Rogowski en base a la tercera señal de corriente y la segunda señal de corriente.

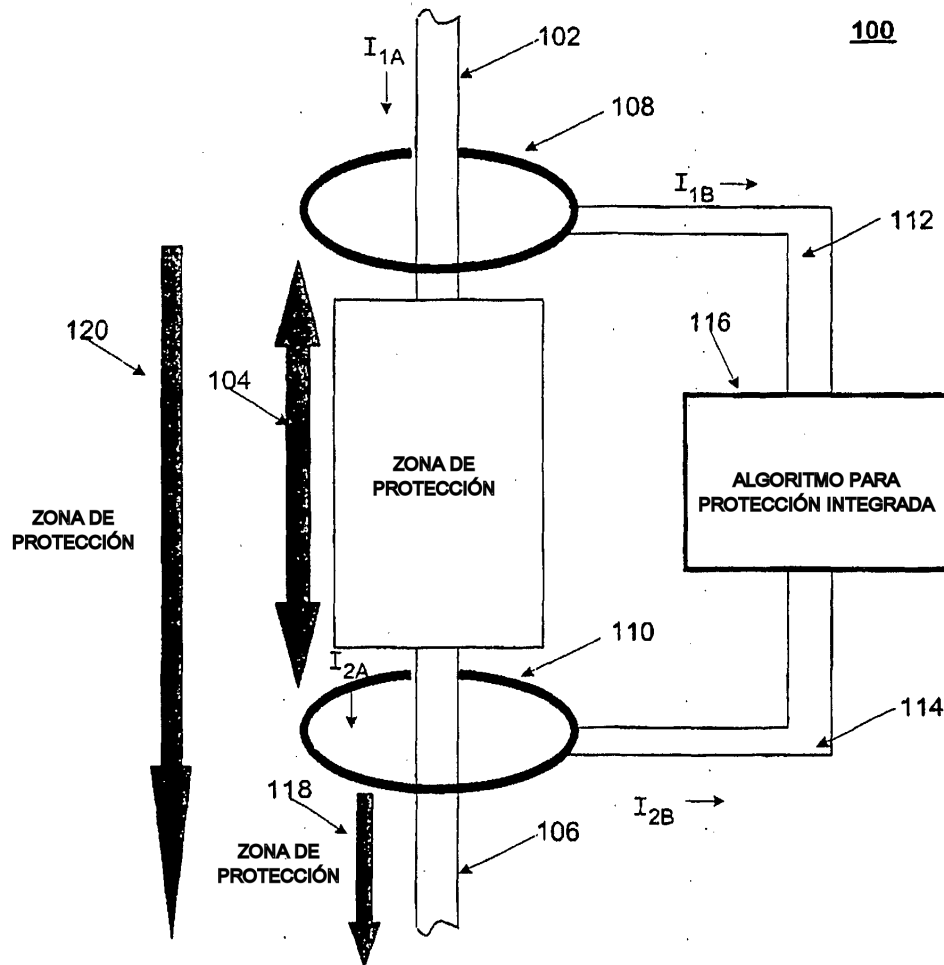


FIG. 1

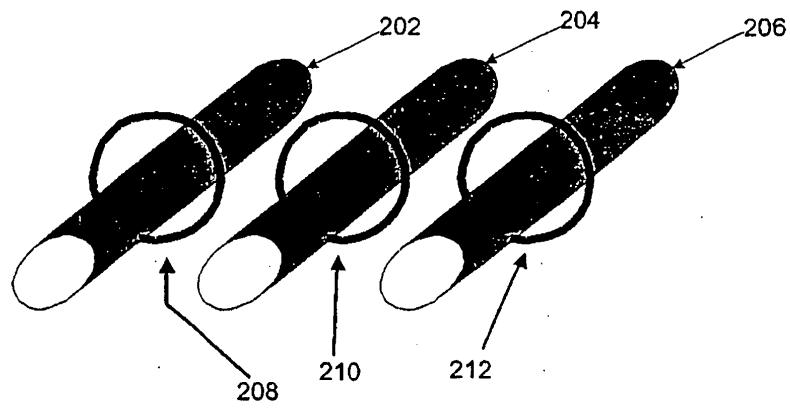


FIG. 2

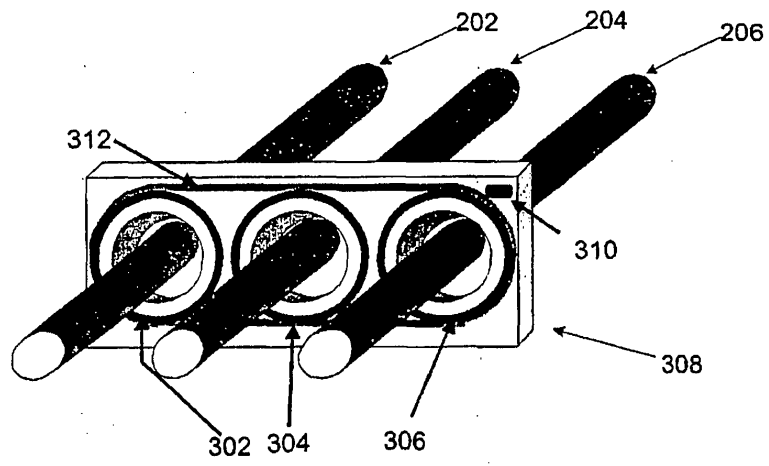


FIG. 3

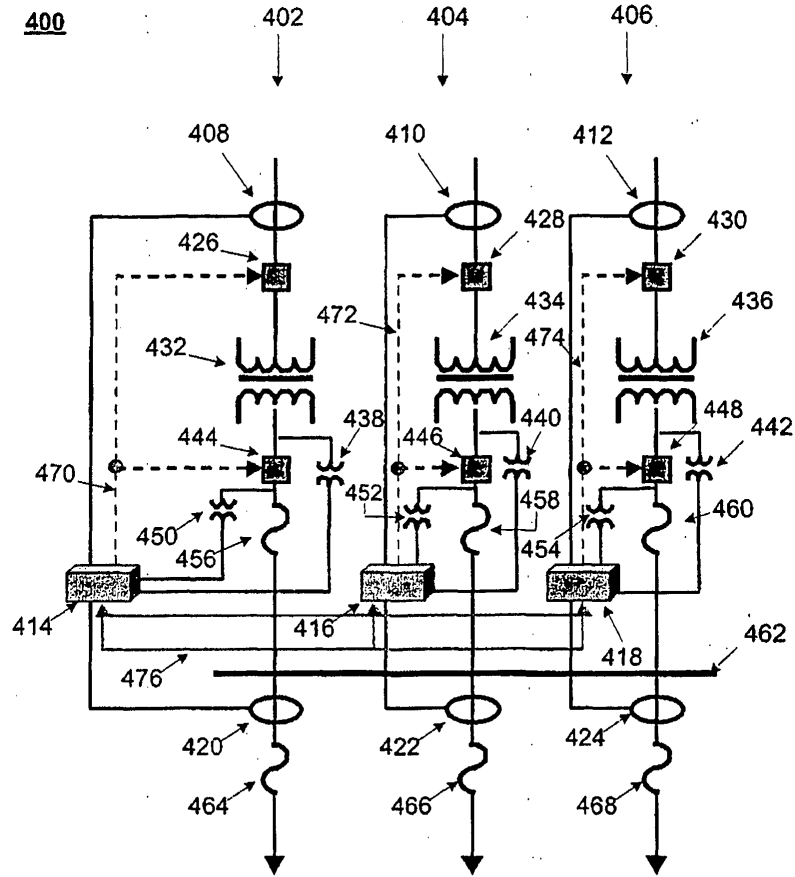


FIG. 4

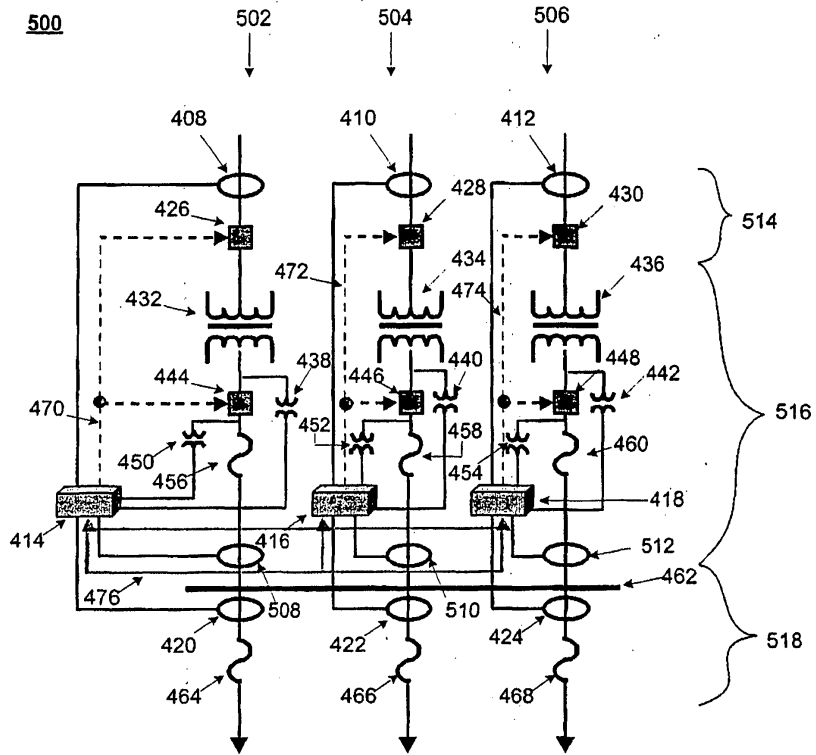


FIG. 5

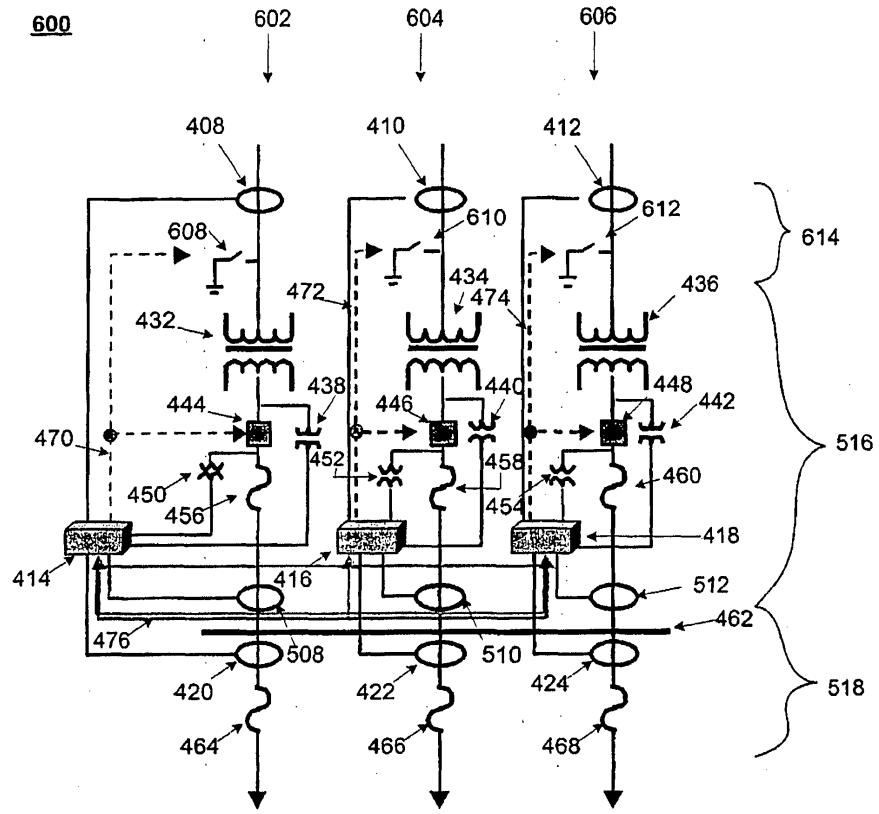


FIG. 6

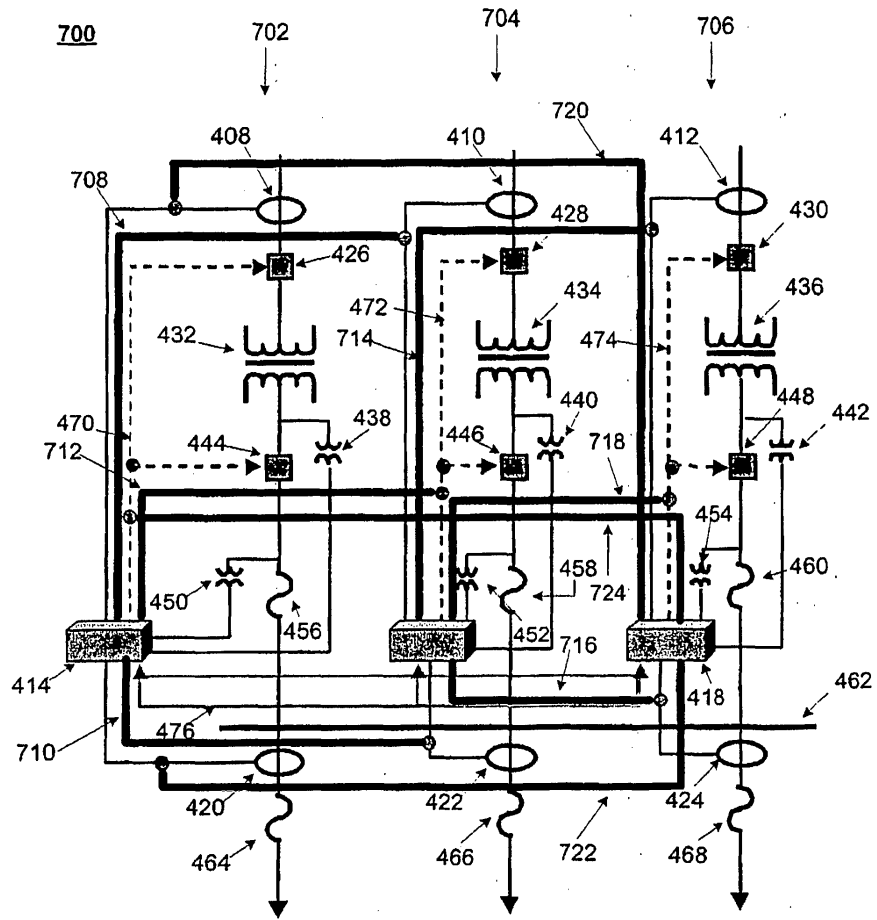


FIG. 7

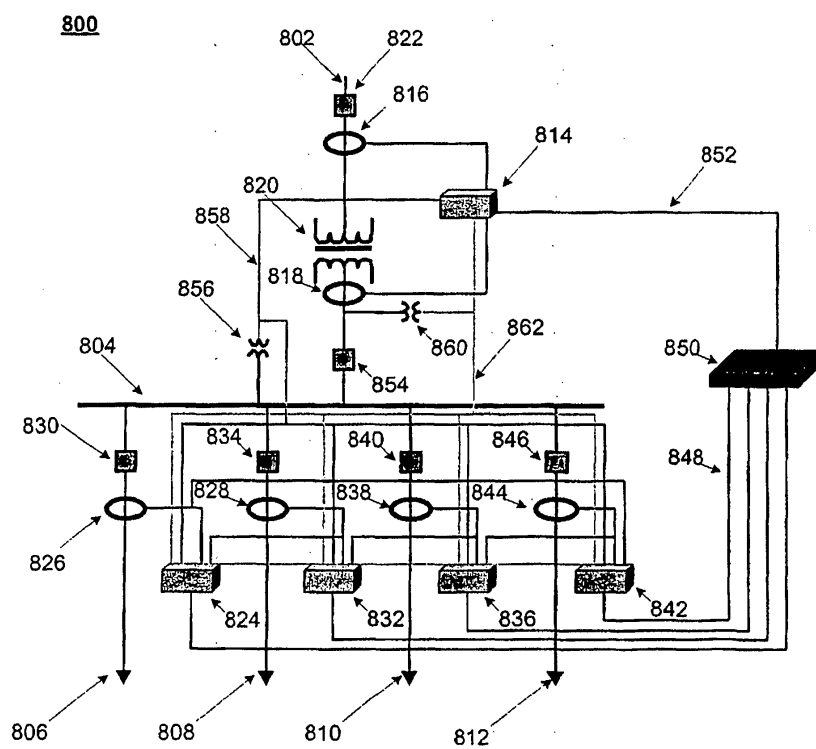


FIG. 8

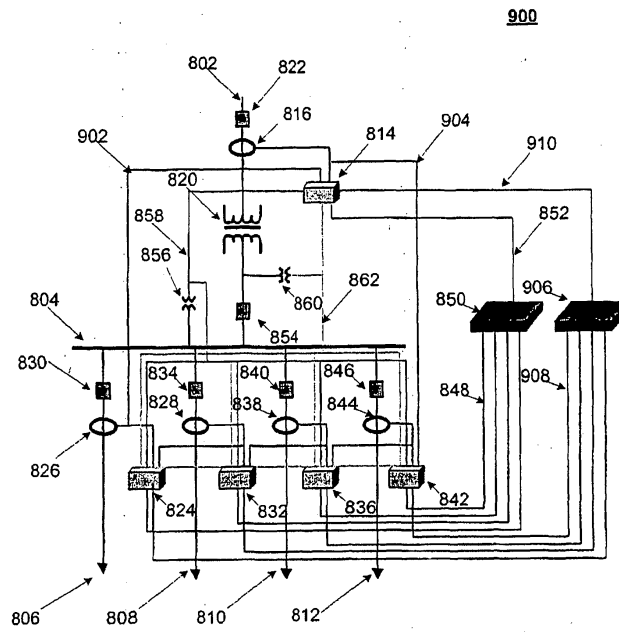


FIG. 9

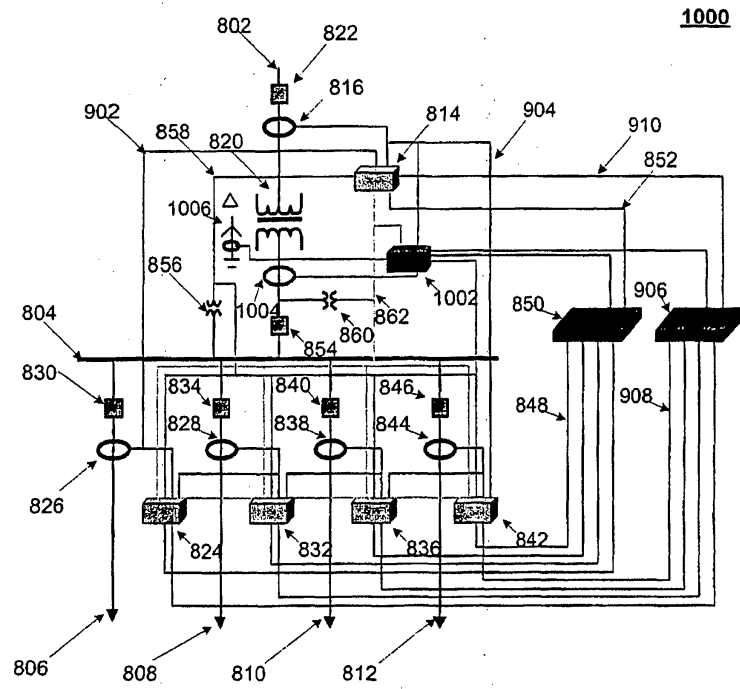


FIG. 10

1100

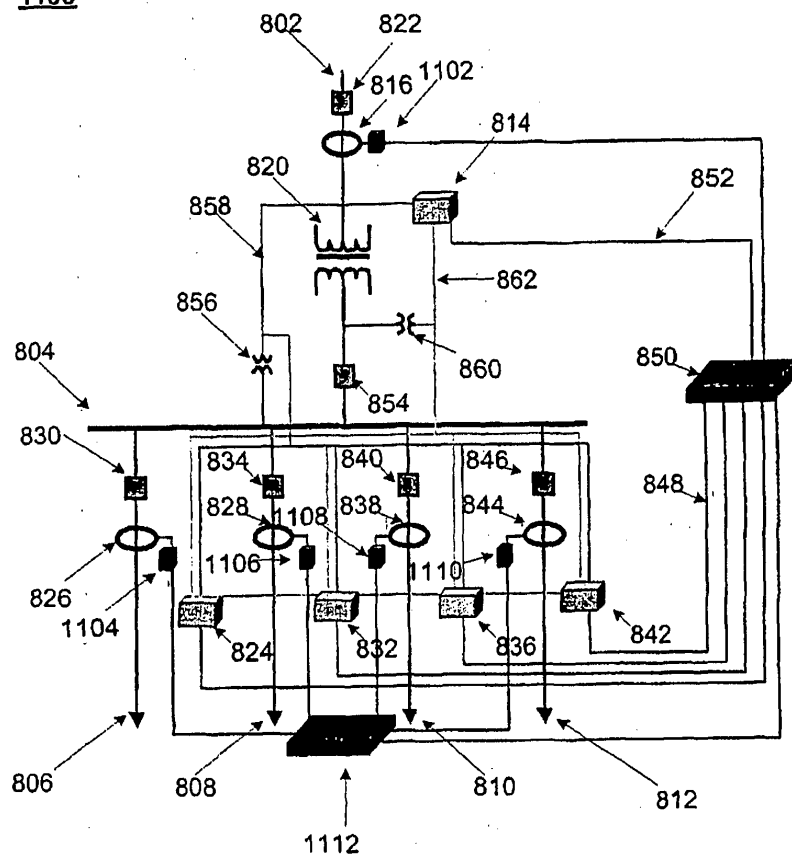


FIG. 11

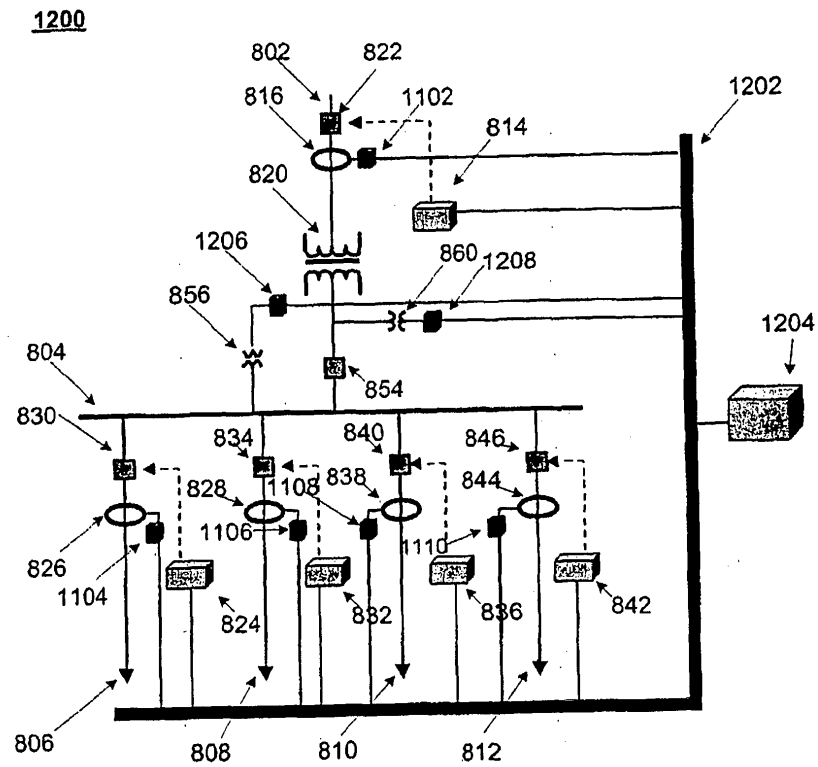


FIG. 12

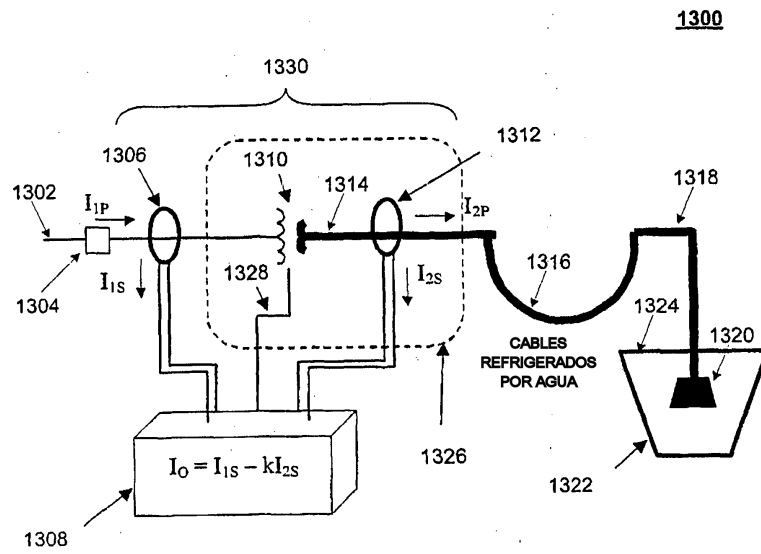


FIG. 13

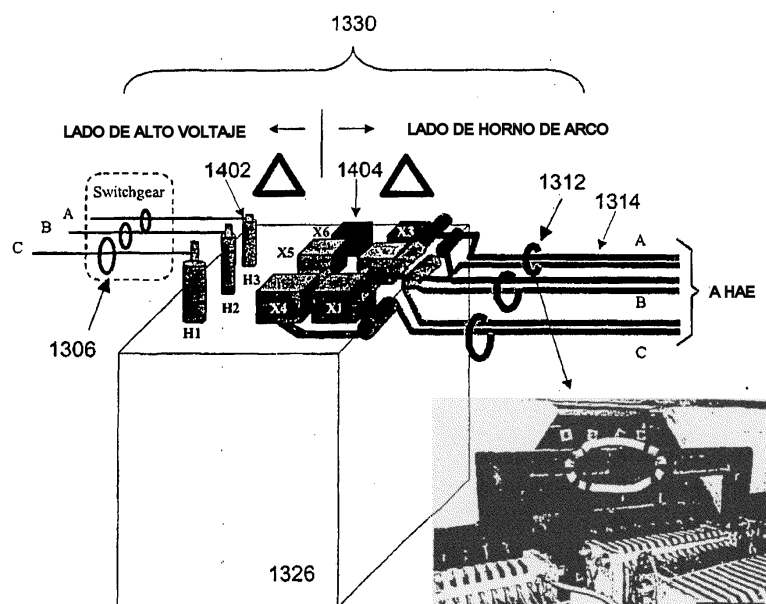


FIG. 14

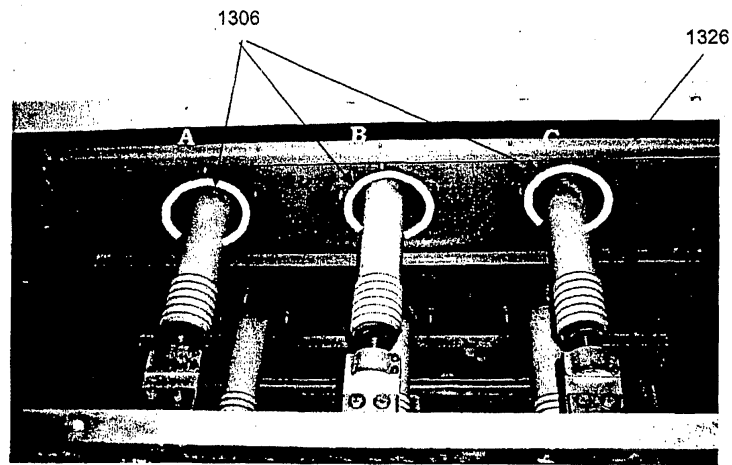


FIG. 15

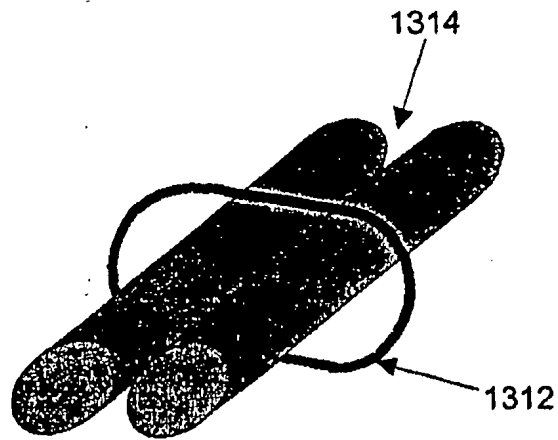


FIG. 16

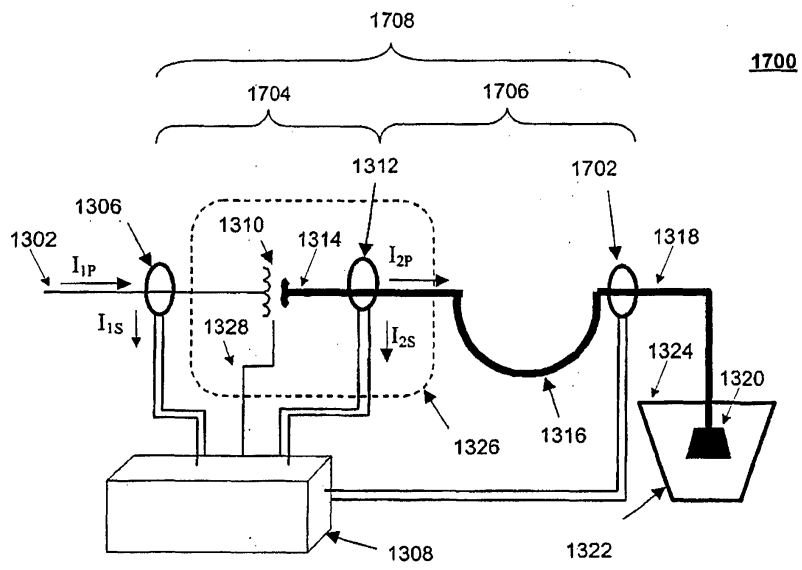


FIG. 17

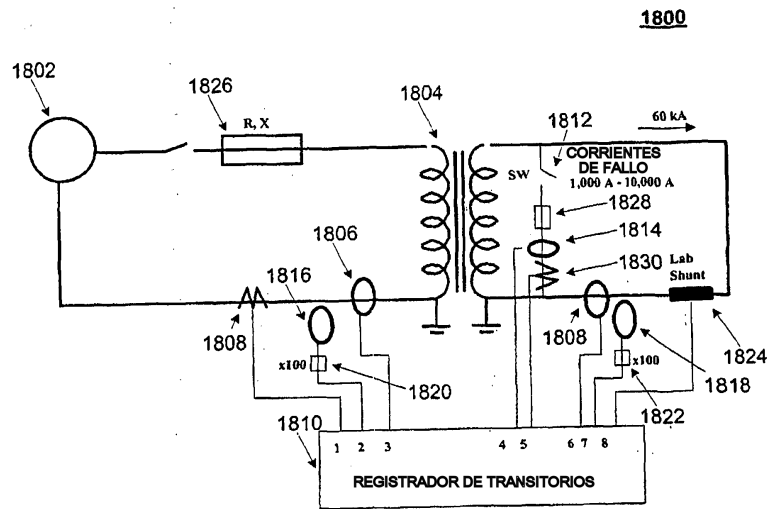


FIG. 18

RESULTADOS DE PRUEBA: CORRIENTE DE FALLO 10% DE LA CORRIENTE DE CARGA

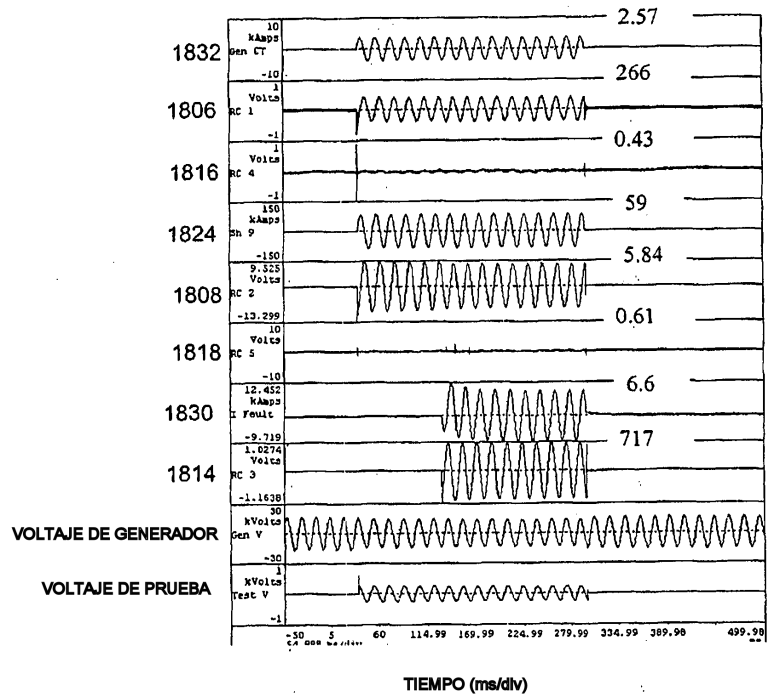


FIG. 19

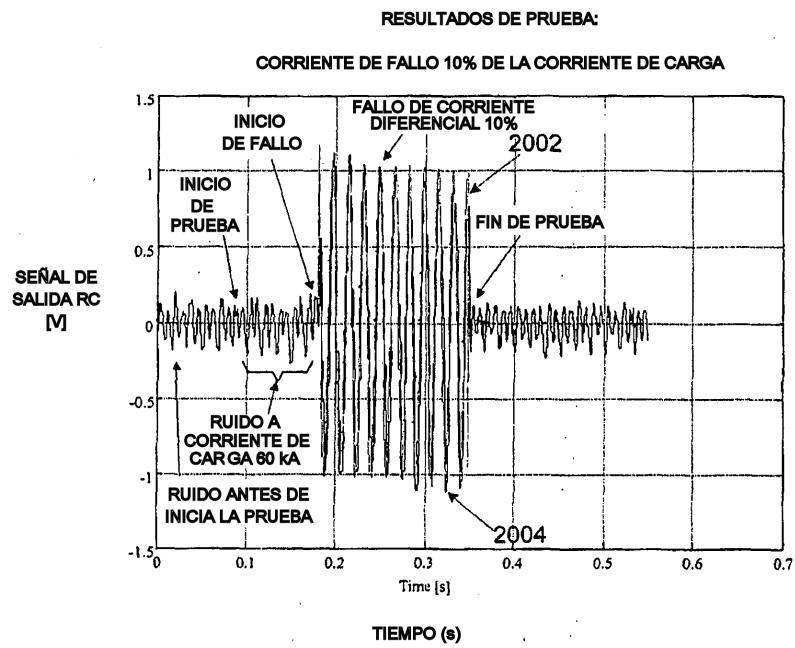


FIG. 20

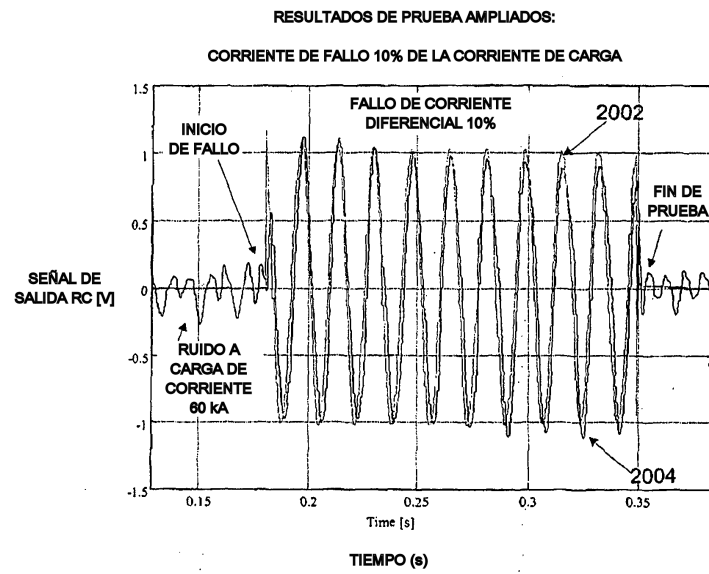


FIG. 21

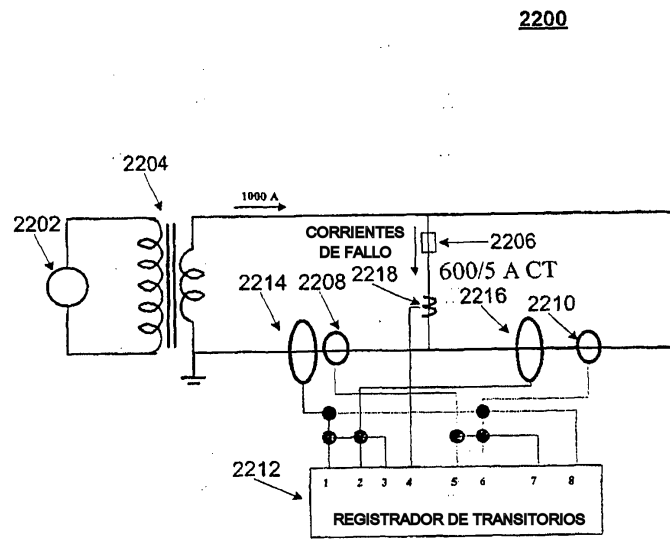


FIG. 22

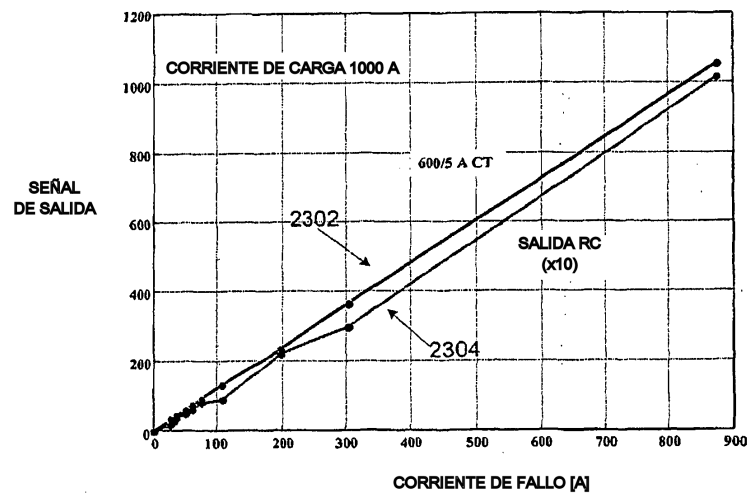


FIG. 23