

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 792**

51 Int. Cl.:

G01R 15/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.02.2013** E 13156591 (3)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019** EP 2637027

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de medición de corriente en una red eléctrica**

30 Prioridad:

05.03.2012 FR 1251967

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

18.10.2019

73 Titular/es:

**SMARTFUTURE (100.0%)
25 Impasse Belle Lame
83390 Pierrefeu du Var, FR**

72 Inventor/es:

BERTRAND, PAUL

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 727 792 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo de medición de corriente en una red eléctrica

5 La presente invención concierne a un procedimiento de medición de corriente en una red eléctrica. La medición de consumo de corriente en una red eléctrica permite establecer un diagnóstico energético. Al ofrecer al usuario la posibilidad de supervisar su consumo eléctrico aparato por aparato, llamado "uso eléctrico", se le puede permitir realizar considerables ahorros.

10 El empleo de dispositivos de medición de consumo eléctrico en edificaciones del sector terciario y residenciales se está viendo fomentado por nuevas normativas térmicas, previendo, en cada cuadro eléctrico, una estimación y la presentación de los consumos de los diversos equipos conectados (calefacción, refrigeración, producción de agua caliente, iluminación, cocinado, tomas de corriente, etc.).

Son conocidos varios métodos que permiten estimar los usos eléctricos. Ciertos métodos consisten en una medida directa mediante instalación de un subcontador de uso en el cuadro eléctrico, otros consisten en una medida indirecta mediante análisis de la curva de carga de conjunto en la red y correlación con unos parámetros de uso de los diversos dispositivos conectados.

15 Los métodos indirectos proporcionan una estimación de los usos mediante análisis de la curva de carga en el punto de entrada del cuadro eléctrico. Estos presentan un reducido campo de aplicación, limitado a las cargas que conmutan un escaso número de veces en un día. Utilizan un algoritmo de estimación por correlación que es poco fiable cuando las cargas presentan un consumo eléctrico que varía de manera continua, por ejemplo un acondicionador de aire, una bomba de calor o un motor de mando variable, o que conmutan muy a menudo con intervalos de tiempo de unos segundos. Por lo tanto, estos métodos son difícilmente aplicables en el sector terciario o en los comercios.

Los métodos por medida directa precisan de la instalación en el cuadro eléctrico de módulos de subcontaje, cada uno de los cuales comprende un sensor de corriente, que se tienen que establecer en serie con los disyuntores de protección. Asimismo, se han propuesto disyuntores que incorporan medios de medición de corriente.

25 Los métodos por medida directa son de una puesta en práctica compleja y costosa cuando han de llevarse a la práctica en una instalación existente. En efecto, es necesario, en este caso, modificar el cableado del cuadro eléctrico, e incluso cambiar el cuadro con el fin de permitir la instalación de los módulos de subcontaje o de nuevos disyuntores. El coste de la instalación sobrepasa entonces en mucho las repercusiones económicas para el particular, un comercio pequeño o un pequeño edificio del sector terciario. Por lo tanto, raramente se pone en práctica este método.

30 El documento WO 2012/003492 describe la utilización de un magnetómetro de efecto Hall, establecido próximo a un mazo de hilos de cuadro eléctrico, para medir la corriente total que atraviesa el cuadro eléctrico.

35 Para reducir el precio de coste de los módulos de contaje, se han propuesto disyuntores equipados con un sensor de corriente de sistema microelectromecánico o MEMS (Microelectromechanical systems), tal y como se describe, por ejemplo, en el documento WO 2008 042 483. No obstante, los disyuntores convencionales no dejan generalmente de ser preferidos debido a su escaso precio de coste. Además, los disyuntores equipados con sensores de corriente conciernen al mercado de productos nuevos y no tienen ninguna salida en los edificios existentes debido a sus considerables costes de compra y de instalación.

El documento WO 0150142 describe asimismo módulos de contaje a partir de sensores MEMS que se establecen alrededor de los hilos eléctricos. Estos sensores se deben unir a un circuito electrónico de medida y el precio de coste del conjunto es elevado.

40 Por lo tanto, cabría desear prever un procedimiento de medición de corriente en una red eléctrica que sea de reducido precio de coste y fácilmente adaptable a una instalación eléctrica existente, sin precisar sustituir los elementos que incluye.

45 Unas formas de realización de la invención conciernen a un procedimiento de medición de corriente en una red eléctrica, que comprende al menos una primera línea eléctrica, que comprende las etapas consistentes en unir la primera línea eléctrica a un primer disyuntor que comprende una primera bobina de protección y que presenta una pared atravesada por un campo magnético emitido por la bobina; establecer en la pared del primer disyuntor un primer magnetómetro digital triaxial síncrono sobre microplaqueta de semiconductor; por medio del primer magnetómetro digital, medir al menos una componente del campo magnético emitido por la primera bobina; y determinar el valor de una corriente que atraviesa la línea eléctrica a partir de la componente medida.

50 De acuerdo con una forma de realización, el procedimiento comprende una etapa consistente en establecer alrededor del magnetómetro un blindaje magnético para limitar la influencia sobre el magnetómetro de un campo magnético emitido por un disyuntor vecino.

De acuerdo con una forma de realización, el procedimiento comprende las etapas consistentes en unir al menos una segunda línea eléctrica a un segundo disyuntor que comprende una segunda bobina de protección que presenta una

pared atravesada por un campo magnético emitido por la segunda bobina; establecer en la pared del segundo disyuntor un segundo magnetómetro digital triaxial síncrono sobre microplaqueta de semiconductor; por medio del segundo magnetómetro, medir al menos una componente de un campo magnético emitido por la primera bobina; corregir las componentes medidas por cada magnetómetro, descontando de cada componente una fracción de la componente medida por el otro magnetómetro, con el fin de neutralizar un fenómeno de interferencia magnética entre los dos disyuntores; y determinar el valor de una corriente que atraviesa cada línea eléctrica a partir de las componentes corregidas.

De acuerdo con una forma de realización, la etapa de corrección comprende una etapa de determinación, para cada disyuntor, de un parámetro de interferencia del disyuntor sobre un magnetómetro asociado a otro disyuntor, representativo de una variación del campo magnético detectado por el magnetómetro asociado al otro disyuntor, cuando varía el campo magnético emitido por el disyuntor.

De acuerdo con una forma de realización, el procedimiento comprende una etapa de determinación de una matriz de interferencia que incluye el conjunto de los parámetros de interferencia, una etapa de determinación de una matriz inversa de la matriz de interferencia y una etapa de corrección de las componentes medidas a partir de la matriz de interferencia invertida.

De acuerdo con una forma de realización, la etapa de determinación del parámetro de interferencia comprende las siguientes etapas: muestrear de manera síncrona, en dos instantes sucesivos, una componente del campo magnético medida por el primer magnetómetro y una componente del campo magnético medida por el segundo magnetómetro, determinar una variación de la primera componente y una variación de la segunda componente y determinar el parámetro de interferencia de un disyuntor sobre el magnetómetro asociado al otro disyuntor, dividiendo la más pequeña de las dos variaciones en valor absoluto por la más grande de las dos variaciones en valor absoluto.

De acuerdo con una forma de realización, el procedimiento comprende una etapa de calibración de cada magnetómetro para asociar, a un valor de campo magnético alterno medido, un valor de corriente que circula por la correspondiente línea eléctrica.

De acuerdo con una forma de realización, la medición de una componente de un campo magnético emitido por la bobina de un disyuntor comprende una etapa de supresión de una componente continua de campo magnético terrestre.

Unas formas de realización de la invención conciernen asimismo a un dispositivo de medición de corriente en una red eléctrica, que comprende al menos un primer disyuntor unido a una primera línea eléctrica, que comprende una primera bobina de protección y que presenta una pared atravesada por un campo magnético emitido por la bobina; un primer magnetómetro digital triaxial síncrono sobre microplaqueta de semiconductor, establecido en la pared del primer disyuntor; y un circuito de control y de tratamiento, para medir, por medio del primer magnetómetro, al menos una componente del campo magnético emitido por la primera bobina, y determinar el valor de una corriente que atraviesa la línea eléctrica a partir de la componente medida.

De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo comprende un blindaje magnético establecido alrededor del magnetómetro para limitar la influencia sobre el magnetómetro de un campo magnético emitido por un disyuntor vecino.

De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo comprende al menos un segundo disyuntor unido a una segunda línea eléctrica, que comprende una segunda bobina de protección y que presenta una pared atravesada por un campo magnético emitido por la segunda bobina, un segundo magnetómetro digital triaxial síncrono sobre microplaqueta de semiconductor, establecido en la pared del segundo disyuntor y unido al circuito de control y de tratamiento, estando el circuito de control y de tratamiento configurado para corregir las componentes medidas por cada magnetómetro, descontando de cada componente una fracción de la componente medida por el otro magnetómetro, con el fin de neutralizar un fenómeno de interferencia magnética entre los dos disyuntores, y determinar el valor de una corriente que atraviesa cada línea eléctrica a partir de las componentes corregidas.

De acuerdo con una forma de realización, el circuito de control y de tratamiento está configurado para determinar, para cada disyuntor, un parámetro de interferencia del disyuntor sobre un magnetómetro asociado a otro disyuntor, representativo de una variación del campo magnético detectado por el magnetómetro asociado al otro disyuntor, cuando varía el campo magnético emitido por el disyuntor.

De acuerdo con una forma de realización, el circuito de control y de tratamiento está configurado para muestrear de manera síncrona, en dos instantes sucesivos, una componente del campo magnético medida por el primer magnetómetro y una componente del campo magnético medida por el segundo magnetómetro, determinar una variación de la primera componente y una variación de la segunda componente y determinar el parámetro de interferencia de un disyuntor sobre el magnetómetro asociado al otro disyuntor, dividiendo la más pequeña, en valor absoluto, de las dos variaciones por la más grande de las dos variaciones en valor absoluto.

De acuerdo con una forma de realización, el dispositivo comprende un módulo de medición que comprende una caja configurada para establecerse en la pared de un disyuntor, un soporte de interconexión que recibe un magnetómetro,

y medios de acoplamiento eléctrico del magnetómetro con al menos otro magnetómetro establecido en otro módulo de medición.

5 Unas formas de realización de la invención conciernen asimismo a un sistema de gestión del consumo eléctrico en una red eléctrica que comprende líneas eléctricas, que comprende un dispositivo de medición según la invención y un dispositivo de gestión apartado configurado para memorizar valores de corriente proporcionados por el dispositivo de medición.

En lo que sigue se describirán formas de realización de un procedimiento y de un dispositivo de medición de corriente según la invención, a título no limitativo, en relación con las figuras adjuntas, de las cuales:

la figura 1 muestra un magnetómetro digital triaxial existente en el mercado,

10 la figura 2 muestra la estructura del magnetómetro,

la figura 3 es una vista en sección de un disyuntor convencional equipado con el magnetómetro,

la figura 4 muestra módulos de medición de corriente según la invención,

las figuras 5A, 5B son sendas vistas en perspectiva y de perfil de un conjunto de disyuntores que reciben los módulos de medición de corriente,

15 la figura 6 es el esquema eléctrico de un dispositivo de medición de corriente que comprende los módulos de medición,

la figura 7 ilustra una etapa de un procedimiento de corrección de interferencia según la invención, y

la figura 8 muestra una variante de un módulo de medición de corriente según la invención.

20 La presente invención incluye la observación según la cual, en el mercado, existen magnetómetros digitales triaxiales diseñados para medir el campo magnético terrestre y destinados al mercado de los teléfonos móviles, para aplicaciones de tipo soporte lógico de brújula, detector de metales, analizador de plata pura, etc.

Estos magnetómetros basados en MEMS (sistemas microelectromecánicos) están integrados sobre una pastilla de semiconductor e incluyen, a más de sensores del campo magnético terrestre, un circuito de medición y de control y un circuito de interfaz de comunicación apto para dialogar con un controlador externo por mediación de un bus de datos.

25 Por causa de las grandes cantidades comercializadas, estos magnetómetros son de un precio de coste muy bajo, y con creces muy inferior al de un detector de campo magnético y su asociado circuito electrónico de medición, del tipo montado en los cuadros eléctricos para medir una corriente.

Tales magnetómetros, por otro lado, pueden efectuar medidas síncronas merced a una entrada de sincronización que puede recibir una señal de sincronización externa.

30 La figura 1 representa, a título de ejemplo, la caja de tal magnetómetro digital triaxial Mi y la figura 2 representa el esquema eléctrico del magnetómetro Mi. Se trata, por ejemplo, del magnetómetro comercializado por la empresa Freescale bajo la referencia MAG3110. La caja presenta una escasa superficie, típicamente del orden de 3 mm x 3 mm.

35 El magnetómetro Mi es capaz de medir un campo magnético con una frecuencia de hasta 80 Hz, correspondiente a un intervalo de muestreo de aproximadamente 12 ms. Incluye una etapa de detección equipada con tres sensores XDET, YDET y ZDET configurados para medir el campo magnético terrestre según tres ejes ortogonales X, Y y Z y proporcionar señales analógicas de medida Cxi, Cyi, Czi. Asimismo, incluye un multiplexador MUX que une los sensores a un convertidor analógico/digital ADC, cuya salida proporciona señales de sensores digitalizadas DCx, DCy, DCz a un circuito de control y de tratamiento DSPCT. El circuito DSPCT está configurado para proporcionar, por mediación de una salida compatible con un bus de datos DTB (por ejemplo, un bus I2C de dos hilos en el caso del magnetómetro MAG3110), unas componentes de campo magnético Bxi, Byi, Bzi. El circuito DSPCT comprende asimismo una entrada de sincronización SIN (por ejemplo, el contacto INT1 en la documentación de magnetómetro MAG3110). Asimismo, incluye contactos de alimentación Vcc y GND (masa) y otros diversos contactos que no se detallarán en la presente memoria.

45 Tal magnetómetro, por causa de su materialización en forma de microcaja y las aplicaciones para las cuales se ha diseñado, normalmente se estima inadecuado para una medición de corriente en una línea eléctrica. En especial, estudios han mostrado que su sensibilidad no es suficiente para una medición fiable del campo magnético próximo a un hilo eléctrico sometido a una corriente de intensidad media representativa del consumo eléctrico en una rama de una red eléctrica domiciliaria.

50 No obstante, se advierte que su frecuencia de medida máxima de 80 Hz lo hace apto para muestrear de manera síncrona un campo magnético alterno oscilante, especialmente un campo oscilante a 50 Hz ó 60 Hz generado por una

corriente alterna de la red eléctrica. Tal muestreo no será acorde con el teorema de Nyquist-Shannon, cosa que puede acarrear un error en la estimación del valor de la señal oscilante a 50 ó 60 Hz. Tal error, no obstante, puede ser admisible en el ámbito de la estimación de la corriente que pasa por una línea eléctrica, que no requiere una precisión metrológica. Por otro lado, en el futuro, es susceptible de proporcionarse al mercado un magnetómetro del expresado tipo pero que presente una frecuencia de muestreo más elevada y, entonces, podrá ser adoptado para la puesta en práctica de la invención.

La presente invención incluye asimismo la observación según la cual, en los actuales cuadros eléctricos, generalmente se utilizan disyuntores magnetotérmicos en lugar de los fusibles corrientes. La figura 3 representa la estructura convencional de un disyuntor magnetotérmico Di. El disyuntor comprende una palanca de rearme 21, un órgano de disyunción térmica y un órgano de disyunción magnética. Estos órganos son conocidos y no se describirán en detalle en la presente memoria. El órgano de disyunción magnética incluye un solenoide, o bobina de protección 22. Una vez montado en un cuadro eléctrico, el disyuntor Di es atravesado por la misma corriente que la que atraviesa la línea que ha de supervisarse, y esta corriente pasa asimismo a través de la bobina de protección 22.

La bobina de protección 22 genera un campo magnético Bi proporcional a la corriente que la atraviesa. Cuando la línea eléctrica aguas abajo del disyuntor presenta un cortocircuito, la corriente sobrepasa un cierto umbral y, entonces, el campo magnético se hace suficientemente intenso para provocar el disparo del disyuntor.

Se han realizado estudios sobre un conjunto de disyuntores existentes en el mercado, de marcas diferentes. Para cada disyuntor, se ha trazado una cartografía del campo magnético emitido por los disyuntores. Se ha descubierto que todos los disyuntores estudiados presentan una pared atravesada por un campo magnético y que presenta un punto de concentración del campo, donde el mismo es más intenso que en cualquier otro punto del disyuntor accesible desde el exterior. Esta pared es generalmente la cara anterior de los disyuntores, y el punto de concentración generalmente se sitúa al lado de la palanca de rearme 21. Esta cara anterior se denomina generalmente "cara menor", pues los disyuntores incluyen generalmente una caja que comprende una parte anterior de escaso volumen y una parte posterior más voluminosa, siendo la cara en cuestión la cara anterior de la parte anterior de la caja, como se ve en la figura 3.

Estos estudios indican asimismo que el campo magnético Bi en la zona de concentración incluye generalmente una componente dominante. Con ciertos modelos, se trata de la componente Bzi según un eje Z perpendicular al plano de la cara anterior del disyuntor, siendo menores las componentes Bxi y Byi, según unos ejes X e Y paralelos a la cara anterior. Se deduce de lo anterior que esta concentración de campo magnético y, más en particular, la presencia de una componente dominante se debe a la presencia de la bobina de protección.

De este modo, de acuerdo con un aspecto de la presente invención, en la cara anterior del disyuntor Di se establece un magnetómetro digital triaxial Mi del tipo antes expresado. El magnetómetro Mi se puede utilizar sin modificaciones, es decir, tal y como es vendido, integrado en una caja de escasas dimensiones, o utilizarse como pastilla de semiconductor desnuda que va montada en un módulo de medición descrito más adelante. El magnetómetro Mi se utiliza para detectar al menos una componente del campo magnético presente en la cara anterior del disyuntor, preferentemente la componente dominante, por ejemplo Bzi y, opcionalmente, las demás componentes Bxi, Byi de este campo.

La figura 4 representa un dispositivo de medición de corriente 50 según la invención. El dispositivo 50 incluye una pluralidad de módulos de medición 30-1 idénticos, establecidos unos al lado de otros. Cada módulo 30-1 incluye una caja abierta 31 que comprende un zócalo 32, una cubierta 33 que se extiende en prolongación del zócalo 32 y que recubre parcialmente el mismo, una pared lateral izquierda 34l y una pared lateral derecha 34r. Sobre el zócalo 32 se establece un circuito impreso 40. El circuito impreso 40 recibe un magnetómetro digital triaxial Mi del tipo descrito más arriba, estando los contactos de la caja del magnetómetro soldados a unas palas de contacto del circuito impreso (no representadas). Alternativamente, el magnetómetro Mi puede estar montado como "pastilla desnuda" sobre el circuito impreso. El circuito impreso recibe asimismo componentes electrónicos auxiliares representados esquemáticamente en forma de un bloque 41, por ejemplo condensadores y resistencias.

Cada módulo 30-1 incluye pistas conductoras transversales 42-i, realizadas, por ejemplo, sobre el circuito impreso 40. Estas pistas transversales están recubiertas por una tapa de protección en el ejemplo representado. El magnetómetro Mi está unido eléctricamente a las pistas conductoras transversales 42-i por mediación de pistas conductoras intermedias del circuito impreso (no representadas). Las pistas conductoras transversales 42-i están unidas eléctricamente a un conector izquierdo 43l y a un conector derecho (no representado) del módulo 30-1. El conector izquierdo 43l atraviesa la pared lateral izquierda 34l y el conector derecho atraviesa la pared lateral derecha 34r. Cada conector 43l coopera o puede cooperar eléctricamente con el correspondiente conector de un módulo adyacente 30-(i+1) o 30-(i-1), de manera que las pistas conductoras transversales 42-i de los diferentes módulos estén interconectadas y configuren, conjuntamente, un bus de datos y de alimentación 42 al que están unidos todos los magnetómetros Mi.

Las figuras 5A y 5B representan, respectivamente mediante una vista en perspectiva y de perfil, una organización del dispositivo de medición de corriente 50 sobre un conjunto de ocho disyuntores magnetotérmicos D1 a D8 establecidos lado a lado, que controlan las diversas ramas de una red eléctrica. El dispositivo 50 comprende, en este punto, ocho

5 módulos 30-i (30-1 a 30-8) cada uno de los cuales comprende un magnetómetro Mi, esto es, ocho magnetómetros M1 a M8 en total. Como se ve en la figura 5B, la cara posterior del zócalo de cada módulo 30-1i está fijada sobre la cara anterior ("cara menor") del correspondiente disyuntor Di, en este punto, por encima de la palanca de rearme 21, por ejemplo por medio de un adhesivo de doble cara. Por lo tanto, cada disyuntor Di está asociado a un magnetómetro Mi, que permite medir el campo magnético emitido por la bobina del disyuntor.

La forma abierta de la caja de cada módulo Mi está prevista, en este punto, para permitir pasar el dedo por encima del circuito impreso, para el rearme de un disyuntor, estableciéndose los módulos 30-i por encima de la palanca de rearme 21. En este caso, la palanca 21, representada en la figura 5B en posición baja, se encuentra en efecto en una posición alta y se extiende por encima del circuito impreso del módulo Mi (M8).

10 La figura 6 es un esquema de bloques de la arquitectura eléctrica del dispositivo 50. Se distinguen los ocho magnetómetros M1 a M8 interconectados por el bus de datos y de alimentación 42. El bus 42 comprende un bus de datos DTB que incluye un hilo de reloj, un hilo de sincronización SW e hilos de masa GND y de alimentación Vcc. El hilo de sincronización SW permite aplicar a los magnetómetros una señal de sincronización Sync, para disparar la medición simultánea de los campos magnéticos emitidos por los disyuntores. El bus 42 permite conducir unas componentes muestreadas EBxi, EByi, EBzi de los campos magnéticos medidos por los magnetómetros Mi.

15 El dispositivo 50 está unido por mediación del bus 42 a un circuito de medición y de control MCT, por ejemplo un microcontrolador. El circuito MCT puede ir alojado en uno de los módulos de control 30-i del dispositivo 50 (figura 4), que entonces configura, a la vez, un módulo de medición y un módulo de control de los demás módulos ("módulo maestro"). Alternativamente, puede estar previsto un módulo de control específico equipado con el circuito MCT. El módulo de control se establece en cualquier punto del cuadro eléctrico y está conectado al dispositivo 50 por mediación del conector izquierdo 43l del primer módulo 30-1 o del conector derecho del último módulo 30-8.

El circuito MCT proporciona la señal de sincronización Sync y recibe muestras de al menos una componente de los campos magnéticos medidos por los magnetómetros Mi, por ejemplo, muestras EBzi de la componente Bzi. Asimismo, puede recibir y tratar muestras EBxi, EByi de las componentes Bxi, Byi, si se persigue una mayor precisión de medida.

25 El circuito MCT aplica una etapa de procesamiento a las muestras EBzi, o a las muestras de las componentes Bxi, Byi, Bzi, para suprimir de las mismas una componente continua debida al campo magnético terrestre y calcular el valor eficaz. La supresión de la componente continua se lleva a cabo calculando el valor medio de todas las muestras sobre N muestras, y restando este valor medio al valor de cada muestra. El valor eficaz de las componentes, o valor RMS, es determinado a continuación por el circuito MCT calculando la raíz cuadrada de la suma de las muestras al cuadrado dividida por el número N1 de muestras, según la fórmula tradicional $\sqrt{[(1/N1)(\sum EBzi)]}$. Para efectuar este cálculo de valor eficaz de manera simple, se pueden utilizar algoritmos simplificadores en sí conocidos, ahorrando recursos de cálculo o memoria.

30 En lo que sigue, se designará por "Bxi", "Byi", "Bzi" los valores eficaces de las componentes que llevan la misma referencia, calculados como se acaba de indicar. Por "componente", se entenderá este valor eficaz, calculado en un instante dado a partir de varias muestras. Este valor eficaz se recalcula regularmente, para obtener varios valores de la componente y seguir su evolución en el tiempo para la puesta en práctica de las etapas que pasamos a describir.

35 El circuito MCT aplica a continuación, a la componente Bzi así calculada, o a las componentes Bxi, Byi, Bzi así calculadas, una etapa de tratamiento encaminada a neutralizar los efectos de un fenómeno de interferencia magnética entre disyuntores. Esta etapa de tratamiento permite obtener componentes corregidas CBzi, o grupos de componentes corregidas CBxi, CByi, CBzi.

El circuito MCT está configurado asimismo para transformar cada componente corregida CBzi, o cada grupo de componentes corregidas CBxi, CByi, CBzi, en un valor de corriente que circula por el disyuntor D1 asociado al magnetómetro de interés Mi, esto es, el valor de la corriente que circula por la rama de la red eléctrica que el disyuntor protege.

45 La transformación de una componente corregida CBzi en un valor de corriente se verifica por medio de parámetros de conversión memorizados por el circuito MCT, determinados durante una fase de calibración. Esta fase de calibración comprende, por ejemplo, para cada disyuntor:

- una etapa de apertura de todos los disyuntores salvo aquel que va a calibrarse, que se deja en estado de conducción,
- 50 - una etapa de medición de la corriente por la línea eléctrica protegida por el disyuntor; por todo medio convencional, o de estimación de esta corriente conectando la línea a una carga eléctrica cuyo consumo es conocido,
- una etapa de medición de la componente Bzi del campo magnético correspondiente, por medio del correspondiente magnetómetro Mi, y
- 55 - una etapa de memorización de la corriente I medida de la componente Bzi, o de la relación I/Bzi entre la

corriente medida y la componente Bzi.

Estas etapas de calibración se pueden repetir con varios valores de corriente, para más precisión. Si el circuito MCT hace asimismo uso de las componentes Bxi, Byi para medir la corriente, se aplica a las mismas una etapa de calibración similar. El circuito MCT obtiene a continuación tres valores de corriente a partir de cada componente, y saca la media de estos valores para determinar el valor de la corriente, o calcula el módulo del vector campo magnético asociado a estas tres componentes para inferir el valor de la corriente.

El circuito MCT comprende, por otro lado, medios de comunicación, por ejemplo una interfaz de comunicación inalámbrica de tipo Wifi, para establecer una comunicación con un dispositivo central SRV de gestión del consumo eléctrico. El dispositivo central SRV es, por ejemplo, un servidor o un ordenador individual. Puede estar dedicado a la gestión de la red eléctrica de interés, o de un conjunto de redes eléctricas equipadas con dispositivo de medición 50 según la invención. La comunicación entre el circuito MCT y el dispositivo central se lleva a cabo por mediación de una red informática SW tal como la red Internet. El dispositivo central SRV administra una base de datos que contiene el consumo eléctrico de cada línea de la red eléctrica y, preferentemente, de los aparatos que están conectados a ella.

Se expondrán ahora aspectos de la invención alusivos a la neutralización del efecto de interferencia magnética entre disyuntores. A efectos de simplicidad, tan sólo se atenderá a la supresión de las interferencias en la componente Bzi, siendo de aplicación lo siguiente a las otras dos componentes, cuando hace uso de ellas el circuito MCT.

Como se ilustra esquemáticamente en la figura 7, consideremos a título de ejemplo la fila de 8 disyuntores D1 a D8 del dispositivo 50, estando cada uno de ellos equipado con un magnetómetro Mi (M1 a M8). Cada disyuntor Di crea un campo magnético que está regido por la ley de Biot y Savard y abarca una cierta distancia, con un decrecimiento en 1/d en las 3 direcciones de detección, siendo "d" la distancia relativamente a la bobina del disyuntor. En un instante dado t0, a la recepción de la señal de sincronización Sync enviada por el circuito MCT, cada magnetómetro Mi proporciona la componente Bzi del campo magnético emitido por el correspondiente disyuntor Di. Esta componente Bzi está viciada por un error causado por la suma de los campos magnéticos emitidos por los disyuntores vecinos, si son atravesados por corriente, por lo que ya no es proporcional sólo a la corriente que pasa por el disyuntor Di.

Un experto en la materia puede definir métodos o algoritmos que permitan restar a la componente Bzi los efectos de la interferencia. Consiste un método, por ejemplo, en una calibración antes de la puesta en servicio del dispositivo: para cada disyuntor Di, se mide sistemáticamente, para todo un rango de valores de corrientes, la interferencia producida por el disyuntor Di en todos los disyuntores vecinos. Se configura así una base de datos que es proporcionada al circuito MCT y utilizada por este último para corregir las componentes Bzi proporcionadas por los magnetómetros Mi.

De acuerdo con un aspecto opcional de la invención, el circuito MCT ejecuta un procedimiento de supresión de interferencia por aprendizaje, que no precisa de calibración. Este procedimiento comprende una fase de aprendizaje y una fase de explotación.

Fase de aprendizaje:

i) el circuito MCT mide las componentes Bzi (Bz1 a Bz8), en dos instantes t0 y t1, y calcula la variación $\text{dB-z}_i = \text{Bzi}(t1) - \text{Bzi}(t0)$ de cada componente Bzi.

ii) el circuito MCT busca la variación más fuerte dBzi en valor absoluto. Se trata, por ejemplo, de dBz4 en el ejemplo mostrado en la figura 7.

iii) el circuito MCT atribuye el origen de la variación de cada componente Bzi a una variación de corriente en el disyuntor que presenta la variación más fuerte de su campo magnético, en este punto, el disyuntor D4 y, por tanto, supone que la corriente no ha variado en los demás disyuntores (esta etapa está implícita y en ella estriba la etapa iv que sigue).

iv) el circuito MCT calcula, para el disyuntor D4, un parámetro de interferencia $P_{i,4}$ que representa la influencia del disyuntor D4 sobre los magnetómetros Mi asociados a los demás disyuntores, con:

$$P_{i,4} = \text{dBzi}/\text{dBz4}$$

Para el magnetómetro M4, este parámetro es, pues, igual a 1.

v) el circuito MCT reitera las etapas i a iv con las variaciones de corriente en los diversos disyuntores, hasta obtener un parámetro de interferencia $P_{i,j}$ de cada disyuntor de orden j sobre cada magnetómetro de orden i, esto es:

$$P_{i,j} = \text{dBzi}/\text{dBzj}$$

para i oscilando, en este punto, entre 1 y 8 y j oscilando entre 1 y 8. Cada cálculo se basa, al igual que anteriormente, en la detección de la mayor variación medida dBz en valor absoluto. Cada parámetro de interferencia $P_{i,j}$ se puede calcular varias veces y promediar a continuación, para obtener un valor más preciso.

vi) Al cabo de la etapa de aprendizaje, el circuito MCT obtiene un conjunto de vectores de interferencia VINTi. Cada

vector de interferencia VINTi está asociado a un disyuntor Di y comprende los parámetros de interferencia de este disyuntor sobre los magnetómetros asociados a los demás disyuntores. Por ejemplo, para el disyuntor D4, el vector de interferencia VINT4 es igual a:

$$VINT4 = \{dBz1/dBz4, dBz2/dBz4, dBz3/dBz4, 1, dBz5/dBz4, dBz6/dBz4, dBz7/dBz4, dBz8/dBz4\}$$

5
$$VINT4 = \{P_{1,4}, P_{2,4}, P_{3,4}, 1, P_{5,4}, P_{6,4}, P_{7,4}, P_{8,4}\}$$

El circuito MCT determina a continuación la matriz de interferencia "MINT" que seguidamente se muestra, asociando a cada columna de la matriz un vector de interferencia VINTi. El vector VINT1 forma la primera columna de la matriz, el vector VINT2, la segunda columna, etc.

Matriz MINT:

1	dBz1/dBz2	dBz1/dBz3	dBz1/dBz4	dBz1/dBz5	dBz1/dBz6	dBz1/dBz7	dBz1/dBz8
dBz2/dBz1	1	dBz2/dBz3	dBz2/dBz4	dBz2/dBz5	dBz2/dBz6	dBz2/dBz7	dBz2/dBz8
dBz3/dBz1	dBz3/dBz2	1	dBz3/dBz4	dBz3/dBz5	dBz3/dBz6	dBz3/dBz7	dBz3/dBz8
dBz4/dBz1	dBz4/dBz2	dBz4/dBz3	1	dBz4/dBz5	dBz4/dBz6	dBz4/dBz7	dBz4/dBz8
dBz5/dBz1	dBz5/dBz2	dBz5/dBz3	dBz5/dBz4	1	dBz5/dBz6	dBz5/dBz7	dBz5/dBz8
dBz6/dBz1	dBz6/dBz2	dBz6/dBz3	dBz6/dBz4	dBz6/dBz5	1	dBz6/dBz7	dBz6/dBz8
dBz7/dBz1	dBz7/dBz2	dBz7/dBz3	dBz7/dBz4	dBz7/dBz5	dBz7/dBz6	1	dBz7/dBz8
dBz8/dBz1	dBz8/dBz2	dBz8/dBz3	dBz8/dBz4	dBz8/dBz5	dBz8/dBz6	dBz8/dBz7	1

10 La matriz MINT obtenida en el curso de la fase de aprendizaje puede ser imperfecta. Por lo tanto, el aprendizaje puede proseguirse durante la fase de explotación, para afinar los parámetros de interferencia. De este modo, la fase de aprendizaje se puede superponer a la fase de explotación. Se puede prever un criterio de parada de la fase de aprendizaje, por ejemplo cuando cada uno de los parámetros de interferencia calculados se estabiliza en la proximidad de un valor medio.

15 Fase de explotación:

La fase de explotación radica en el siguiente razonamiento:

1) Sea M un vector de las medidas magnéticas verdaderas, es decir, viciadas por interferencias, que comprende el conjunto de las componentes Bzi:

20
$$M = \{Bz1, Bz2, Bz3, Bz4, Bz5, Bz6, Bz7, Bz8\}$$

2) Sea S un vector de medidas magnéticas sin interferencia, que comprende componentes CBzi que serían medidas si no hubiera interferencias:

$$S = \{CBz1, CBz2, CBz3, CBz4, CBz5, CBz6, CBz7, CBz8\}$$

Se puede escribir:

25
$$M = MINT \times S$$

A tal efecto, se asume que la matriz MINT tan sólo depende de la topología de los disyuntores y no de las corrientes que circulan por ellos. Un experto en la materia reconocerá en esta hipótesis el hecho de que los campos no se acoplan de un disyuntor al otro. Esta hipótesis se ha comprobado mediante mediciones en laboratorio.

30 Dicho de otro modo, el vector de las medidas magnéticas verdaderas M es igual al producto del vector de las medidas magnéticas sin interferencias S por la matriz de interferencia MINT. Esto significa que cada componente Bzi medida sobre un disyuntor Di es igual a la componente sin interferencias CBzi del disyuntor a la que se añade la suma de las interferencias, esto es, la suma de los productos de cada parámetro de interferencia dBzi/dBzj por los valores de la componente correspondiente sin interferencias CBzj medida sobre otro disyuntor, esto es, por ejemplo:

35
$$Bz1 = CBz1 + CBz2 * dBz1/dBz2 + CBz3 * dBz1/dBz3 + CBz4 * dBz1/dBz4 + CBz5 * dBz1/dBz5 + CBz6 * dBz1/dBz6 + CBz7 * dBz1/dBz7 + CBz8 * dBz1/dBz8$$

Por lo tanto, es posible escribir:

$$S = MINT^{-1} \times M$$

siendo $MINT^{-1}$ la matriz invertida de M.

De este modo, en el curso de la fase de explotación, el circuito MCT calcula la matriz invertida $MINT^{-1}$ y la utiliza para transformar el vector de medidas magnéticas verdaderas M en vector de medidas magnéticas sin interferencias S. El cálculo del vector S proporciona al circuito MCT los valores corregidos CBzi de las componentes medidas Bzi, a partir de los cuales infiere el valor de la corriente que atraviesa cada disyuntor.

Al poder estar la matriz MINT mal acondicionada, su inversión se puede calcular recurriendo a métodos tales como el método de las pseudoinversas, o también métodos de tipo SVD ("Singular Value Decomposition" o "descomposición por valor singular") que permiten obtener un valor exacto o aproximado de la matriz inversa $MINT^{-1}$. Se entiende por "mal acondicionada" el hecho de que la matriz puede estar viciada por incertidumbres de mediciones. En este caso, el cálculo de la matriz inversa puede hacer que aparezcan relaciones de valores muy pequeñas que produzcan valores aleatorios. El método SVD, por ejemplo, consiste en poner a 0 los valores bajos y en formar una matriz pseudoinversa que tiene en cuenta los valores nulos, método este que es bien conocido por un experto en la materia.

Asimismo, se pondrá claramente de manifiesto para un experto en la materia que el cálculo del vector S efectuado por medio de la matriz inversa $MINT^{-1}$ es susceptible de efectuarse siguiendo otros diversos métodos matemáticos o algoritmos de cálculo, no siendo la matriz más que un mero útil matemático. Por ejemplo, se podría poner en práctica un método que utilice algoritmos neuronales.

Este cálculo permite restar a cada componente medida Bzi la suma de los productos de las demás componentes Bzi por sus respectivos parámetros de interferencia, para obtener la componente corregida CBzi. En efecto, si designamos por $C_{i,j}$ los términos de la matriz inversa, se puede escribir que:

$$CBzi = \sum_{(j=1 \rightarrow N2)} C_{i,j} * Bzj$$

con j oscilando entre 1 y N2, siendo N2 el número de disyuntores e i, el rango del disyuntor de interés.

De este modo, las componentes corregidas CBzi se obtienen cada una de ellas como una combinación lineal de las componentes medidas Bzj, para j variando de 1 a N2. Los coeficientes de estas combinaciones lineales son generalmente negativos para los campos que siempre presentan la misma orientación, a no ser que se conciba el caso de que las corrientes estuvieran desfasadas 180° de un disyuntor a otro por efecto de una carga capacitiva pura, lo cual, en la práctica, se revela imposible.

El procedimiento que se acaba de describir puede ser aplicado asimismo, opcionalmente, a las componentes Bxi, Byi, para una medición de campo más precisa, especialmente en aplicaciones en las que los disyuntores presentan una componente Bzi que no es claramente superior a las componentes Bxi y Byi. Igualmente, si sucede que ciertos modelos de disyuntores presentan una componente Bxi o Byi superior a las otras dos, esta componente puede ser utilizada preferiblemente en lugar de la componente Bzi, si no se desea utilizar las tres componentes. Se podrían utilizar asimismo dos componentes de tres, en lugar de una sola o de las tres a la vez.

Se hará claramente manifiesto para un experto en la materia que la presente invención es susceptible de otras diversas variantes y formas de realización.

En especial, no se descarta que puedan existir en el mercado modelos de disyuntores que tengan un punto de concentración del campo magnético situado en otro punto que no sea próximo a la palanca de rearme, por ejemplo en otra pared del disyuntor. En este caso, módulos según la invención podrían tener otra forma distinta a la mostrada en los dibujos.

Asimismo, un módulo de medición 30-i según la invención puede ser utilizado solo, para medir la corriente en una sola línea de una red eléctrica. En este caso, puede ocurrir que el módulo 30-i se establezca sobre un disyuntor circundado por otros disyuntores. Estos otros disyuntores pueden perturbar la medida llevada a cabo por medio del magnetómetro M, por efecto de interferencia. En este caso, no se puede poner en práctica el método de corrección descrito más arriba, ni incluso un método de corrección por calibración, como quiera que no se conoce en tiempo real el valor de la corriente que pasa por los demás disyuntores.

Se puede utilizar en este caso una forma de realización 30'-i del módulo, representada en la figura 8. El módulo 30'-i se distingue del módulo 30-i por que incluye, alrededor del magnetómetro Mi, un blindaje magnético 50 realizado en un metal que preferentemente presenta una buena permeabilidad magnética. El blindaje 50 rodea el magnetómetro Mi y, por tanto, deja pasar la componente Bzi perpendicular al zócalo 31 del módulo 30'-i, que es emitida por el disyuntor sobre el cual se establece el módulo 30'-1, al propio tiempo que bloquea las componentes Bxi y Byi emitidas por los demás disyuntores, que se propagan paralelamente al zócalo 31.

El módulo 30'-i se puede utilizar asimismo para realizar el dispositivo 50 mostrado en la figura 4. En este caso, el fenómeno de interferencia se ve atenuado acusadamente merced al blindaje que incluye cada módulo. Entonces, puede no ser ya necesario calcular componentes corregidas CBzi, pudiendo el circuito MCT hacer uso de las

componentes Bzi sin corrección, previa supresión de la componente continua del campo magnético terrestre. En una variante, se combina la previsión del blindaje magnético y del procedimiento de corrección de las componentes Bzi, para una medición aún más precisa.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de medición de corriente en una red eléctrica, que comprende al menos una primera línea eléctrica, caracterizado por comprender las etapas consistentes en:
 - 5 - unir la primera línea eléctrica a un primer disyuntor (Di) que comprende una primera bobina de protección (22) y que presenta una pared atravesada por un campo magnético (Bi, Bxi, Byi, Bzi) emitido por la bobina,
 - establecer en la pared del primer disyuntor un primer magnetómetro digital triaxial síncrono (Mi) sobre microplaqueta de semiconductor,
 - por medio del primer magnetómetro digital (Mi), medir al menos una componente (Bzi) del campo magnético emitido por la primera bobina, y
 - 10 - determinar el valor de una corriente que atraviesa la línea eléctrica a partir de la componente medida.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende una etapa consistente en establecer alrededor del magnetómetro (Mi) un blindaje magnético (50) para limitar la influencia sobre el magnetómetro de un campo magnético emitido por un disyuntor vecino.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende las etapas consistentes en:
 - 15 - unir al menos una segunda línea eléctrica a un segundo disyuntor (Di) que comprende una segunda bobina de protección (22) que presenta una pared atravesada por un campo magnético (Bxi, Byi, Bzi) emitido por la segunda bobina,
 - establecer en la pared del segundo disyuntor un segundo magnetómetro digital triaxial síncrono (Mi) sobre microplaqueta de semiconductor,
 - 20 - por medio del segundo magnetómetro (Mi), medir al menos una componente (Bzi) de un campo magnético emitido por la primera bobina,
 - corregir las componentes (Bzi) medidas por cada magnetómetro, descontando de cada componente una fracción de la componente medida por el otro magnetómetro, con el fin de neutralizar un fenómeno de interferencia magnética entre los dos disyuntores, y
 - 25 - determinar el valor de una corriente que atraviesa cada línea eléctrica a partir de las componentes corregidas.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que la etapa de corrección comprende una etapa de determinación, para cada disyuntor, de un parámetro de interferencia del disyuntor sobre un magnetómetro asociado a otro disyuntor, representativo de una variación (dBz1) del campo magnético detectado por el magnetómetro asociado al otro disyuntor, cuando varía (dBz4) el campo magnético emitido por el disyuntor.
- 30 5. Procedimiento según la reivindicación 4, que comprende una etapa de determinación de una matriz de interferencia que incluye el conjunto de los parámetros de interferencia, una etapa de determinación de una matriz inversa de la matriz de interferencia y una etapa de corrección de las componentes medidas (Bz) a partir de la matriz de interferencia invertida.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 4 y 5, en el que la etapa de determinación del parámetro de interferencia comprende las siguientes etapas:
 - 35 - muestrear de manera síncrona, en dos instantes sucesivos, una componente (Bzi) del campo magnético medida por el primer magnetómetro y una componente del campo magnético medida por el segundo magnetómetro,
 - determinar una variación de la primera componente y una variación de la segunda componente, y
 - 40 - determinar el parámetro de interferencia de un disyuntor sobre el magnetómetro asociado al otro disyuntor dividiendo la menor de las dos variaciones en valor absoluto por la mayor de las dos variaciones en valor absoluto.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende una etapa de calibración de cada magnetómetro para asociar, a un valor de campo magnético alterno medido, un valor de corriente que circula por la correspondiente línea eléctrica.
- 45 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la medición de una componente de un campo magnético emitido por la bobina de un disyuntor comprende una etapa de supresión de una componente continua de campo magnético terrestre.
9. Dispositivo de medición de corriente en una red eléctrica, caracterizado por comprender:

- al menos un primer disyuntor (Di) unido a una primera línea eléctrica, que comprende una primera bobina de protección (22) y que presenta una pared atravesada por un campo magnético (Bi, Bxi, Byi, Bzi) emitido por la bobina,
 - un primer magnetómetro digital triaxial síncrono (Mi) sobre microplaqueta de semiconductor, establecido en la pared del primer disyuntor, y
 - un circuito de control y de tratamiento (MCT), para medir, por medio del primer magnetómetro, al menos una componente (Bzi) del campo magnético emitido por la primera bobina, y determinar el valor de una corriente que atraviesa la línea eléctrica a partir de la componente medida.
- 5
10. Dispositivo según la reivindicación 9, que comprende un blindaje magnético (50) establecido alrededor del magnetómetro (Mi) para limitar la influencia sobre el magnetómetro de un campo magnético emitido por un disyuntor vecino.
- 10
11. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 y 10, que comprende
- al menos un segundo disyuntor (Di) unido a una segunda línea eléctrica, que comprende una segunda bobina de protección (22) y que presenta una pared atravesada por un campo magnético (Bxi, Byi, Bzi) emitido por la segunda bobina,
 - un segundo magnetómetro digital triaxial síncrono (Mi) sobre microplaqueta de semiconductor, establecido en la pared del segundo disyuntor y unido al circuito de control y de tratamiento (MCT),
- 15
- en el que el circuito de control y de tratamiento (MCT) está configurado para corregir las componentes (Bzi) medidas por cada magnetómetro, descontando de cada componente una fracción de la componente medida por el otro magnetómetro, con el fin de neutralizar un fenómeno de interferencia magnética entre los dos disyuntores, y determinar el valor de una corriente que atraviesa cada línea eléctrica a partir de las componentes corregidas.
- 20
12. Dispositivo según la reivindicación 11, en el que el circuito de control y de tratamiento (MCT) está configurado para determinar, para cada disyuntor, un parámetro de interferencia del disyuntor sobre un magnetómetro asociado a otro disyuntor, representativo de una variación (dBz1) del campo magnético detectado por el magnetómetro asociado al otro disyuntor, cuando varía (dBz4) el campo magnético emitido por el disyuntor.
- 25
13. Dispositivo según la reivindicación 12, en el que el circuito de control y de tratamiento (MCT) está configurado para:
- muestrear de manera síncrona, en dos instantes sucesivos, una componente (Bzi) del campo magnético medida por el primer magnetómetro y una componente del campo magnético medida por el segundo magnetómetro,
 - determinar una variación de la primera componente y una variación de la segunda componente, y
 - determinar el parámetro de interferencia de un disyuntor sobre el magnetómetro asociado al otro disyuntor dividiendo la menor, en valor absoluto, de las dos variaciones por la mayor de las dos variaciones en valor absoluto.
- 30
14. Dispositivo de medición según una de las reivindicaciones 9 a 13, que comprende un módulo de medición (30-i) que comprende una caja (31) configurada para establecerse en la pared de un disyuntor, un soporte de interconexión (40) que recibe un magnetómetro (Mi), y medios de acoplamiento eléctrico (42i, 431) del magnetómetro con al menos otro magnetómetro establecido en otro módulo de medición.
- 35
15. Sistema de gestión del consumo eléctrico en una red eléctrica que comprende líneas eléctricas, caracterizado por comprender un dispositivo de medición según una de las reivindicaciones 9 a 14 y un dispositivo de gestión apartado (SRV) configurado para memorizar valores de corriente proporcionados por el dispositivo de medición.
- 40

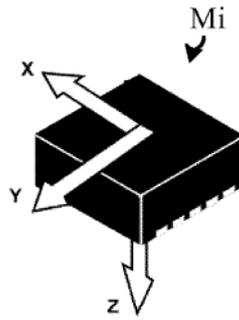


Fig. 1
Técnica anterior

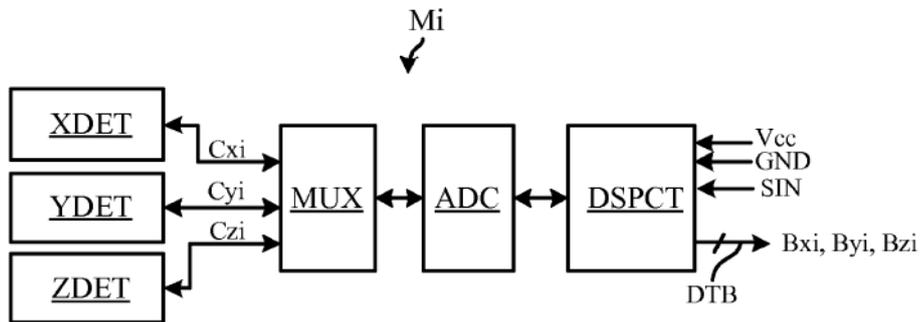


Fig. 2
Técnica anterior

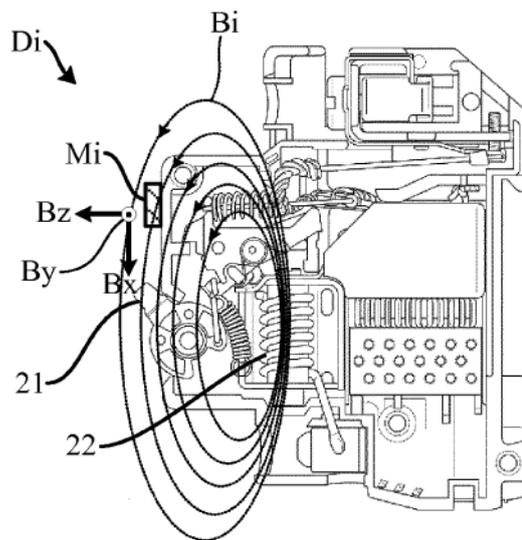


Fig. 3

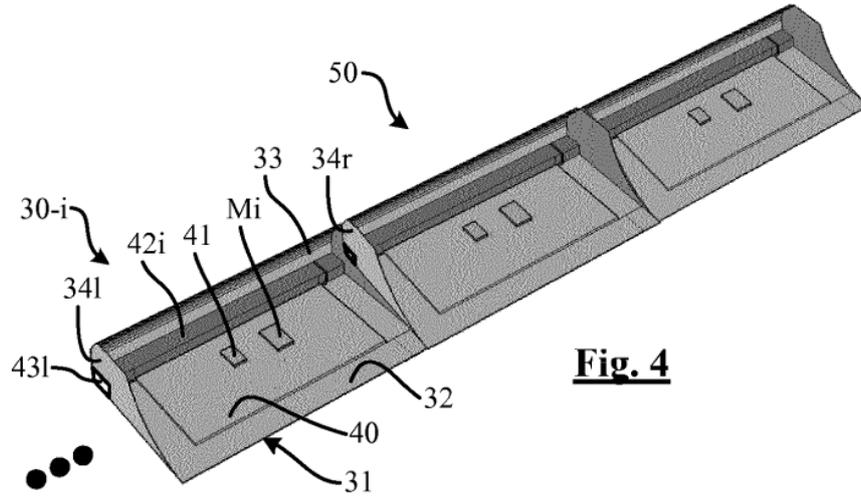


Fig. 4

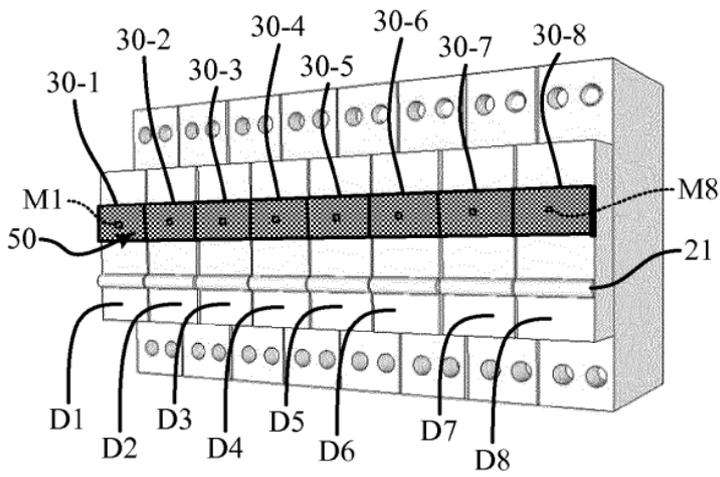


Fig. 5A

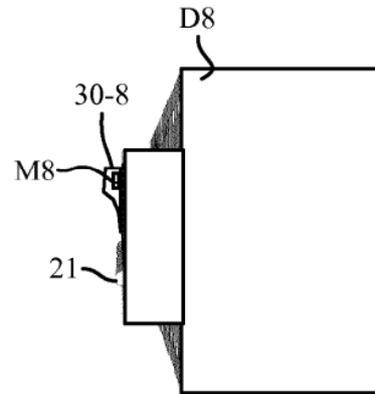


Fig. 5B

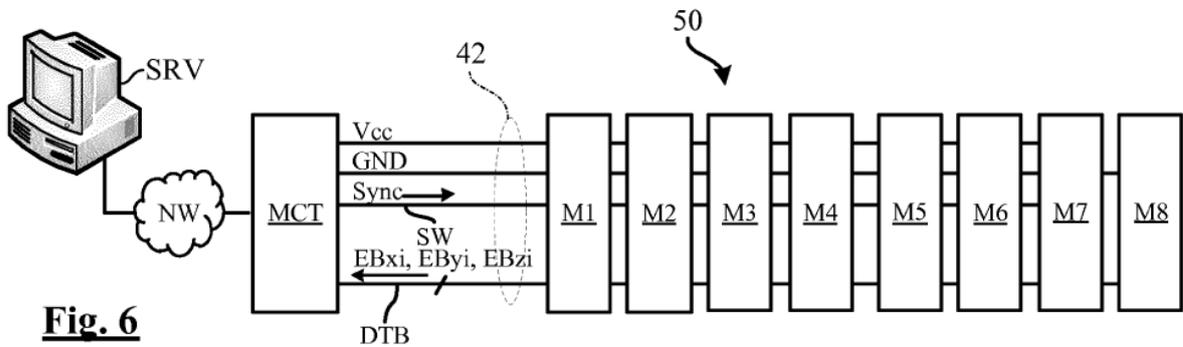


Fig. 6

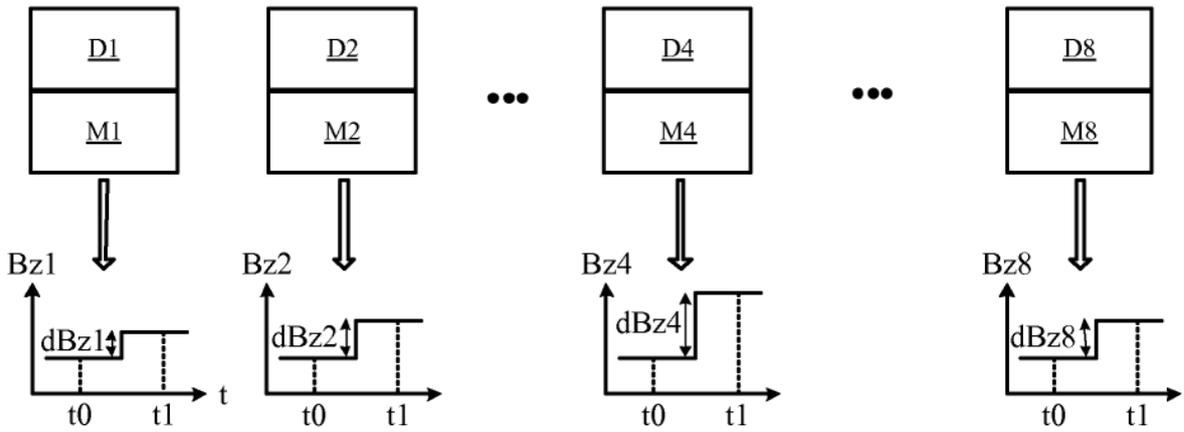


Fig. 7

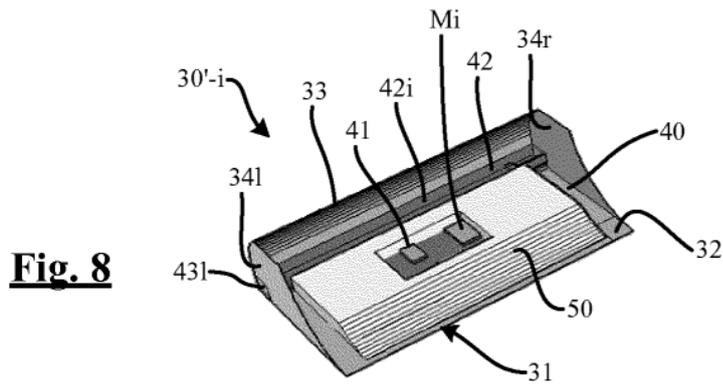


Fig. 8