



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 336 374**

51 Int. Cl.:  
**G01R 15/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07150185 .2**

96 Fecha de presentación : **20.12.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **1936389**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **25.06.2008**

54 Título: **Sensor inductivo de medida de corriente.**

30 Prioridad: **22.12.2006 FR 06 55887**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**12.04.2010**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**12.04.2010**

73 Titular/es: **Actaris S.A.S.**  
**62 bis rue André Morizet**  
**92100 Boulogne Billancourt, FR**

72 Inventor/es: **Tissier, Jean-François;**  
**Fichen, Yvon y**  
**Rowe, Malcolm**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 336 374 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).

# ES 2 336 374 T3

## DESCRIPCIÓN

Sensor inductivo de medida de corriente.

5 La presente invención se refiere a un sensor de medida de corriente alterna de tipo inductivo.

Los sensores de medida de corriente alterna se utilizan clásicamente en los contadores de consumo eléctrico de uso industrial o residencial. Más precisamente, un sensor está asociado a cada fase del contador. Así, en el caso de un contador monofásico, se utiliza un solo sensor, mientras que en el caso de un contador trifásico, se utilizan tres sensores de medición para permitir la medición de la corriente en cada fase.

Tales sensores son de realización difícil puesto que requieren una gran inmunidad a las restricciones ambientales, ya sean de tipo termodinámico (temperatura, presión, humedad) o electromagnético (campos eléctricos y magnéticos).

15 El sensor de medida de corriente debe además tener una linealidad y una precisión en una gran dinámica de corriente y en una gran banda pasante frecuencial, pudiendo la onda de corriente medida contener numerosos intervalos armónicos.

Hoy en día, las soluciones clásicas para tales sensores pueden agruparse en cuatro grandes familias:

- 20 - los sensores pasivos de tipo resistivo (shunt),
- los transformadores de corriente de núcleo magnético,
- 25 - los sensores inductivos,
- los sensores activos de tipo de Efecto Hall, o sensores de campo magnético.

30 El principio físico utilizado por el sensor de corriente condiciona su inmunidad a los parámetros ambientales y determina particularmente los medios de fraude que pueden ser aplicados al contador para falsificar la medición de corriente, y como consecuencia, la compatibilización de la energía eléctrica consumida.

35 Por ejemplo, un sensor resistivo de tipo shunt, basado en la ley de Ohm, es insensible por principio a los campos magnéticos continuos, y poco sensible a los campos magnéticos alternos. Por el contrario, presenta una mala estabilidad en temperatura.

40 Un sensor inductivo, que posee un blindaje de gran permeabilidad magnética, tendrá por lo que a él se refiere una buena inmunidad a los campos magnéticos alternos externos y, en el caso de un contador eléctrico de multifases que necesita un sensor de fase, un muy buen rechazo de las influencias magnéticas de interfases internas al contador. En cambio, tal sensor inductivo tendrá una baja inmunidad a los campos magnéticos continuos, particularmente a los producidos por imanes permanentes de gran potencia.

45 El sensor de medida de corriente de tipo inductivo, basado en un acoplamiento magnético en el aire entre un circuito primario que es una fase de la red sobre la cual está situado el contador de electricidad y un circuito secundario galvánicamente aislado del circuito primario, representa no obstante el mejor compromiso técnico y económico, y se prestará atención posteriormente únicamente a este tipo de sensor.

Hoy, existen principalmente tres sub-familias de sensores de corriente de tipo inductivo.

50 En una primera sub-familia, los circuitos primario y secundario están realizados mediante piezas electromecánicas ensambladas. Se conoce particularmente del documento FR 2803914 un sensor que comprende un conductor primario lineal de cobre en forma de U, destinado a transportar la corriente alterna que se va a medir, así como una bobina dispuesta en el interior de la U, formando un circuito secundario. Un elemento de blindaje de material de elevada permeabilidad magnética (de tipo aleación de hierro-níquel, de elevado contenido en níquel) rodea al conjunto. La función de este elemento de blindaje es doble: Se trata, por una parte, de alojar en el seno del sensor el campo magnético generado por la corriente que circula en el circuito primario, y por otra parte, obtener un sensor que sea insensible a los campos magnéticos alternos exteriores.

60 El inconveniente principal de tal sensor reside en la existencia misma del elemento de blindaje que utiliza un material costoso. Se han llevado a cabo ensayos para intentar reducir el espesor del blindaje, pero esto se hace en detrimento de los rendimientos de este blindaje. Además, tal elemento de blindaje puede ser fácilmente saturado mediante la utilización fraudulenta de un imán permanente, que lleva a una medición errónea de la corriente.

65 En una segunda sub-familia, el circuito secundario del sensor de medida de corriente está realizado mediante una o varias bobinas en plano sobre circuito impreso. Ya no es necesario aquí utilizar elementos ferromagnéticos o blindajes de material de elevada permeabilidad magnética. Sin embargo, este tipo de sensor tiene una baja sensibilidad (inferior a  $100 \mu\text{V/A}$  a 50 Hz) que resulta de la baja sección total de la bobina secundaria que asegura la función de

## ES 2 336 374 T3

captación del flujo magnético primario, provocando esta baja sensibilidad elevadas restricciones para la electrónica de acondicionamiento y de tratamiento de las señales emitidas por los sensores. Este tipo de sensor posee una sensibilidad a los campos magnéticos alternos externos, así como una sensibilidad a la presencia de masas ferromagnéticas en el entorno próximo del sensor.

5 En una tercera sub-familia, el circuito secundario del sensor de medida de corriente lleva a cabo una bobina Rogowski. Su principio es construir una bobina sin núcleo magnético, cerrada alrededor del conductor primario. Esta bobina tiene una densidad de espiras constante por unidad de ángulo. La sección de estas espiras es de la misma manera perfectamente constante en todo el bobinado. Este tipo de sensor, como los de la segunda sub-familia es naturalmente  
10 inmune frente a campos magnéticos continuos, tiene igualmente una baja sensibilidad (inferior a  $500 \mu\text{V/A}$  a 50 Hz); su punto débil está en la dificultad de realización de una bobina que tenga una densidad angular de espiras constante y elevada controlando la sección media de estas espiras a lo largo de la bobina.

15 Se prestará atención en lo que sigue únicamente al sensor de la primera sub-familia (piezas electromecánicas).

A la vista de lo que precede, el objetivo principal de la presente invención es proponer un sensor inductivo de medida de corriente que no necesite ya elemento de blindaje, ofreciendo la doble función precedente, a saber una muy buena concentración de líneas de campo magnético inducido por el circuito primario en el interior del sensor, y una buena inmunidad a los campos magnéticos alternos exteriores.

20 Se conoce ya del documento EP 1 515 146 un sensor inductivo de medida de corriente del tipo que comprende un circuito primario destinado a ser recorrido por una corriente alterna que se va a medir, y un circuito secundario acoplado magnéticamente en el aire al circuito primario, en el cual el circuito primario comprende dos grupos que contienen cada uno  $2^p$  espiras coaxiales según un eje, siendo  $p$  un entero mayor o igual que 0, estando los dos grupos  
25 situados a la misma distancia a uno y otro lado de un punto del citado eje que constituye el centro del circuito primario, de manera que dos espiras tomadas en cada uno de los dos grupos, y situadas de manera simétrica respecto al centro del circuito primario están destinadas a ser recorridas por una corriente de la misma intensidad pero de sentido opuesto, correspondiente a la corriente alterna que se va a medir o a una porción de la corriente alterna que se va a medir, y el circuito secundario comprende al menos dos bobinas de multi espiras conectadas en serie, siendo las dos bobinas  
30 coaxiales y estando dispuestas a lo largo del citado eje en el interior de uno de los dos grupos, poseyendo cada bobina espiras arrolladas en un sentido opuesto respecto a las espiras de la otra bobina.

La presente invención tiene por objeto un sensor inductivo de acuerdo con la reivindicación 1. Se caracteriza porque cada uno de los dos grupos del circuito primario comprende dos espiras coaxiales según el citado eje, estando cada una  
35 de las dos espiras destinada a ser recorrida por una porción de la corriente alterna que se va a medir complementaria de la porción de la corriente alterna en la otra espira.

Gracias a esta geometría particular de los circuitos primario y secundario, y a su disposición relativa, la componente del campo magnético sobre el eje de simetría de los circuitos primario y secundario, generada por la corriente que  
40 circula en el circuito primario es predominante en dos zonas del espacio simétrico respecto al centro del circuito primario, zonas en las cuales se encuentran cada una de las bobinas del circuito secundario, mientras que decrece muy rápidamente en el exterior del sensor. Además, se puede demostrar que con tal geometría del circuito primario, la componente del campo magnético es una función impar con relación a un sistema de eje cuyo origen es el centro del sensor. Así, las dos bobinas del circuito secundario generan una tensión idéntica en amplitud, pero opuesta en fase. En  
45 consecuencia, esto permite eliminar las tensiones inducidas por un campo magnético alterno constante.

Finalmente, suprimiendo el elemento de blindaje, se evita otro inconveniente intrínseco a este elemento, a saber su baja inmunidad al campo magnético continuo, generado por ejemplo por un imán permanente.

50 El circuito secundario puede comprender dos agrupamientos idénticos que comprenden cada uno dos bobinas de multi espiras coaxiales dispuestas a lo largo del citado eje, estando los dos agrupamientos dispuestos simétricamente respecto al citado centro y conectados en serie, estando las dos bobinas de un mismo agrupamiento conectadas en serie pero presentando espiras arrolladas en sentidos opuestos, estando las ganancias y las posiciones según el eje de las bobinas de un mismo agrupamiento determinadas para compensar la influencia de un campo magnético alterno de  
55 gradiente lineal en toda la longitud del circuito secundario.

En variante, el circuito secundario puede comprender dos agrupamientos idénticos que comprenden cada uno tres bobinas de multi espiras coaxiales dispuestas a lo largo del citado eje, estando los dos agrupamientos dispuestos simétricamente respecto al citado centro y conectados en serie, estando las tres bobinas de un mismo agrupamiento  
60 conectadas en serie pero presentando espiras arrolladas en sentidos opuestos, estando las ganancias y las posiciones según el eje de las bobinas de un mismo agrupamiento determinadas para compensar la influencia de un campo magnético alterno de gradiente lineal en una longitud correspondiente a la longitud de cada agrupamiento del circuito secundario.

65 Generalizando el principio de la variante precedente, se puede ventajosamente prever que el circuito secundario comprenda dos agrupamientos idénticos que comprendan cada uno al menos un sub-agrupamiento de tres bobinas de multi espiras coaxiales dispuestas a lo largo del citado eje, estando los dos agrupamientos dispuestos simétricamente respecto al citado centro y conectados en serie, estando las tres bobinas de un mismo sub-agrupamiento conectadas en

## ES 2 336 374 T3

serie pero presentando espiras arrolladas en sentidos opuestos, estando las ganancias y las posiciones según el eje de las bobinas de un mismo sub-agrupamiento determinadas para compensar la influencia de un campo magnético alterno de gradiente lineal en una longitud correspondiente a la longitud de cada sub-agrupamiento del circuito secundario

5 De manera ventajosa, las dos bobinas o los dos agrupamientos del circuito secundario están conectados, al nivel del centro del circuito primario, a un mismo potencial de referencia. Gracias a esta disposición particular, es posible aplicar un tratamiento diferencial de las tensiones obtenidas en cada una de las dos bobinas, o en cada uno de los dos agrupamientos, lo que permite eliminar las señales de modo común, particularmente las tensiones debidas al acoplamiento electrostático entre primario y secundario.

10 La invención y las ventajas que procura se comprenderán mejor a la vista de la descripción siguiente, hecha en referencia a las figuras adjuntas en las cuales:

15 - las figuras 1a a 1c ilustran esquemáticamente varios casos de conjuntos de espiras que forman multi polos magnéticos;

- las figuras 2a y 2b representan diferentes curvas de variaciones del campo magnético según el eje de las espiras para los casos de las figuras 1a a 1c;

20 - las figuras 3 y 4 ilustran en perspectiva un circuito primario y un circuito secundario de un primer sensor, respectivamente en vista despiezada y en vista ensamblada;

- las figuras 5a y 5b ilustran vistas en planta respectivamente de los circuitos primario y secundario del sensor de las figuras 3 y 4;

25 - la figura 6 ilustra una vista frontal parcial de un contador eléctrico provisto de tres sensores idénticos;

- la figura 7 es una variante del circuito primario del primer sensor;

30 - la figura 8a es una primera variante del circuito secundario del primer sensor;

- la figura 8b es una segunda variante del circuito secundario del primer sensor;

35 - la figura 9a y 9b ilustran, respectivamente en perspectiva y en vista desarrollada desde arriba, un circuito primario de un segundo sensor;

- las figuras 10a y 10b ilustran, respectivamente en vista desarrollada y en perspectiva, un circuito primario de un sensor de acuerdo con un modo de realización posible de acuerdo con la invención;

40 - la figura 11 representa diferentes curvas de variaciones del campo magnético según el eje de las espiras obtenidas con el circuito primario de acuerdo con la figura 10b.

45 En referencia en primer lugar por una parte a las figuras 1a a 1c, y por otra parte a las figuras 2a y 2b, se describen a continuación los principios de electromagnetismo sobre los cuales se fundamenta la presente invención.

50 Una espira circular recorrida por una corriente es equivalente a un dipolo magnético. Resulta que en el exterior de la espira y a una distancia de este dipolo magnético, la amplitud del campo magnético decrece en  $1/x^3$ , siendo  $x$  la abscisa de un punto del espacio con respecto a un referencial ortogonal que pasa por el centro de la espira y que utiliza el eje de la espira como eje horizontal. En este mismo referencial, la variación del campo magnético sobre el eje de la espira es una función par, es decir una función simétrica respecto al eje vertical del referencial.

55 La figura 1a extiende este principio al caso de dos espiras S1, S2 coaxiales según un eje XX', situadas a igual distancia de uno y otro lado de un punto O que constituye el centro de la estructura así formada, y recorridas por corrientes idénticas en amplitud pero de sentidos opuestos, como lo indica el sentido de las flechas sobre las dos espiras de la figura 1a. En este caso, se puede demostrar que el conjunto de las dos espiras se comporta como un cuadrupolo magnético, con un decrecimiento del campo magnético en  $1/x^4$  a distancia de este cuadrupolo. En la figura 2a, la curva 1 representa la variación en amplitud del campo magnético sobre el eje XX' que pasa por el centro O que resulta de la espira S1, mientras que la curva 2 representa la variación en amplitud del campo magnético sobre el eje XX' que pasa por el centro O resultante de la espira S2. La curva 3 muestra la resultante total que es la superposición de los dos campos generados por las espiras S1 y S2. Así, se nota que el campo magnético sobre el eje de las espiras que pasan por el centro de la estructura varía según una función impar, es decir que pasa por el centro O y es simétrica respecto al centro O. La figura 2b representa igualmente esta variación con la curva referenciada 3.

65 En la figura 1b, otra estructura está constituida por cuatro espiras idénticas, o incluso por dos grupos G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> de cuadrupolos tales como el representado en la figura 1a. Las cuatro espiras son coaxiales según el eje XX', y los dos grupos de dos espiras están situados a igual distancia de uno y otro lado del centro O de la estructura. En cambio, al contrario que el caso ilustrado en la figura 1a, dos espiras tomadas en cada uno de los grupos G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, y situadas a igual

## ES 2 336 374 T3

distancia de uno y otro lado del centro O son recorridas en el mismo sentido por la misma corriente, mientras que dos espiras de un mismo grupo son recorridas por corrientes idénticas en amplitud, pero de sentidos opuestos. Se puede mostrar que tal estructura es equivalente a un octopolo magnético, con un decrecimiento del campo magnético en  $1/x^5$ . En cambio, como se ilustra mediante la curva 4 en la figura 2b, el campo magnético sobre el eje XX' varía según una función par, es decir presentando una simetría respecto al eje vertical del referencial.

En la figura 1c, se representa una tercera estructura. Esta estructura está constituida por ocho espiras idénticas, o incluso por dos grupos  $G'_1, G'_2$  de octopolos tales como el representado en la figura 1b. Las ocho espiras son coaxiales según el eje XX' y los dos grupos  $G'_1, G'_2$  de cuatro espiras están situados a igual distancia de uno y otro lado del centro O de la estructura. Más precisamente, los grupos  $G'_1, G'_2$  están dispuestos de tal manera que dos espiras tomadas en cada uno de los grupos y situadas a igual distancia de uno y otro lado del punto O, son recorridas por corrientes idénticas en amplitud pero de sentido opuesto como lo indica el sentido de las flechas sobre las espiras de la figura 1c. Tal estructura es equivalente a un hexadecapolo magnético, con un decrecimiento del campo magnético en  $1/x^6$ . Como en el caso del cuadrípulo y como se ilustra mediante la curva 5 en la figura 2b, el campo magnético sobre el eje XX' inducido por esta estructura varía según una función impar, es decir presentando una simetría respecto al centro O de la estructura.

Se puede generalizar lo que precede de la manera siguiente: Con una estructura constituida por dos grupos compuestos cada uno por  $2^{2n}$  espiras idénticas (siendo n un entero mayor o igual que 0), estando los dos grupos situados a igual distancia de uno y otro lado del centro O de la estructura de manera que dos espiras tomadas en cada uno de los grupos, y situadas de forma simétrica respecto al centro O de la estructura, estén recorridas por corrientes idénticas en amplitud pero de sentidos opuestos, se obtiene un decrecimiento del campo magnético en  $1/x^{2(n+2)}$ , y una variación del campo magnético sobre el eje de las espiras según una función impar. Si  $n=0$ , se encuentra el cuadrípulo de la figura 1a con un decrecimiento del campo magnético en  $1/x^4$ . Con  $n=1$ , se encuentra el hexadecapolo de la figura 1c con un decrecimiento del campo magnético en  $1/x^6$ .

A la vista de lo que precede, y particularmente mirando las curvas 3 a 5 de la figura 2b, se observa que es posible, con las estructuras equivalentes a multipolos magnéticos descritos precedentemente, confinar el campo magnético por el hecho del decrecimiento del campo magnético en el exterior de las espiras. Los principios precedentes se aplicarán aquí para realizar el circuito primario de un sensor.

Más precisamente, un sensor inductivo de medida de corriente será tal que:

- por una parte, el circuito primario comprende dos grupos que comprenden cada uno  $2^{2n}$  espiras idénticas y coaxiales según un eje, siendo n un entero mayor o igual que cero, estando los dos grupos situados a igual distancia de uno y otro lado de un punto del citado eje que constituye el centro del circuito primario, de manera que dos espiras tomadas en cada uno de los grupos, y situadas de forma simétrica respecto al centro, estén destinadas a ser recorridas por una corriente de la misma intensidad pero de sentido opuesto, correspondiente a la corriente alterna que se va a medir, y

- por otra parte, el circuito secundario comprende al menos dos bobinas conectadas en serie, siendo las dos bobinas coaxiales y estando dispuestas a lo largo del citado eje simétricamente respecto al centro del circuito primario de manera que cada una de las dos bobinas se encuentran en el interior de uno de los dos grupos, presentando cada bobina espiras arrolladas en un sentido opuesto respecto a las espiras de la otra bobina.

Gracias a la simetría particular utilizada para el circuito primario, pero también para el circuito secundario, se lleva a cabo un sensor de medida de corriente que no necesita un blindaje particular, pero que realiza la doble función citada anteriormente de este blindaje.

En referencia a las figuras 3 a 5, se describirá ahora un primer sensor. Este sensor comprende esencialmente un circuito primario 10 y un circuito secundario 20 representados separadamente en la figura 3, y ensamblados en la figura 4. Las figuras 5a y 5b ilustran en lo que a ellas se refiere el circuito primario 10, respectivamente el circuito secundario 20, vistos desde arriba.

El circuito primario 10 está constituido ventajosamente por una pieza única de material conductor, por ejemplo de cobre, que comprende dos extremos 11, 12 que constituyen respectivamente los bornes de entrada y de salida del sensor de medida de corriente, entre los cuales va a poder circular la corriente alterna I que se va a medir. Estos bornes de entrada y de salida se extienden preferentemente de manera paralela y están contenidos en un primer plano.

Entre estos dos extremos 11, 12, la pieza presenta una parte plegada según una forma sensiblemente cilíndrica y hueca de manera que forma dos grupos idénticos  $G'_1, G'_2$  de una espira cada uno, siendo las espiras coaxiales según un eje XX' que forma el eje de revolución de la forma cilíndrica, conectadas en serie entre los dos bornes de entrada y de salida gracias a una conexión 13 que se extiende paralelamente al eje XX', y formada aquí integralmente en la pieza. Si se considera la corriente que se va a medir entrando por el extremo 11 y saliendo por el extremo 12, se comprende fácilmente que esta misma corriente va a recorrer las espiras idénticas de los dos grupos  $G'_1$  y  $G'_2$  en sentidos opuestos, como muestran las flechas a trazos gruesos de la figura 4. Se encuentra aquí en el caso particular representado esquemáticamente en la figura 1a, comportándose el circuito primario como un cuadrípulo magnético,

## ES 2 336 374 T3

con un decrecimiento del campo magnético en  $1/x^4$ , y una variación del campo magnético en el eje XX' según una función impar respecto a su centro de la disposición de las espiras primarias.

5 La pieza constitutiva del primario presenta por ejemplo las características siguientes en términos de dimensiones, utilizando una placa de cobre de espesor 2,2 mm:

- un diámetro interno de la forma cilíndrica hueca del orden de 11 mm;
- una longitud de cilindro del orden de 20 mm constituida por dos bandas que forman las espiras de anchura 9,5 mm separadas aproximadamente 1 mm.

Estas dimensiones son compatibles con una corriente permanente en el circuito primario de 100 A eficaces.

15 Como se puede constatar en las figuras 3 a 5a, el eje XX' está, en este modo particular no limitativo de la invención, elegido extendiéndose en un plano paralelo que contiene los bornes de entrada 11 y de salida 12. No obstante, presenta en este plano una inclinación tal que su proyección en el plano que contiene los bornes 11 y 12 no es perpendicular a la dirección longitudinal de los bornes. La ventaja ligada a esta disposición particular es visible en la figura 6 que representa una vista de frente parcial de un contador eléctrico trifásico equipado con tres sensores C1, C2, C3 idénticos al representado en la figura 4. Más precisamente, la figura 6 ilustra la parte inferior o caja de bornes de tal contador provista de su cubre borne. Así, se constata que los ejes de los primarios (representados a trazos discontinuos) para los tres sensores C1 a C3 son paralelos pero no coaxiales, lo que reduce incluso las posibles interferencias magnéticas entre dos sensores de fases diferentes en el caso de un contador trifásico.

25 Otras disposiciones son sin embargo posibles para obtener este mismo resultado. Así, la figura 7 ilustra el circuito primario en el cual el eje XX' de la forma cilíndrica hueca es perpendicular al plano que contiene a los bornes de entradas 11 y 12.

30 En referencia a la figura 5b, el circuito secundario 20 comprende en lo que a él se refiere dos bobinas de multi espiras idénticas 21, 22 situadas coaxialmente sobre el eje XX' en el interior de la forma hueca cilíndrica (figura 4) de manera que se encuentran situadas simétricamente respecto al centro de esta forma.

Cada una de las bobinas 21 y 22 del circuito secundario presenta por ejemplo las características dimensionales siguientes:

- longitud H de la bobina de aproximadamente 6 mm formada por un conductor de diámetro 0,07 mm rodeado alrededor de un mandril en aproximadamente 84 vueltas por capa;
- diámetro externo D1 de la bobina de aproximadamente 7,7 mm;
- diámetro interno D2 de la bobina de aproximadamente 4 mm;
- separación E entre las dos bobinas de aproximadamente 2,5 mm para una longitud total HT del circuito secundario de 17,5 mm.

Tales características permiten obtener un sensor cuya sensibilidad es del orden de 2 mV/A a 50 Hz.

50 - Cada una de las bobinas se encuentra por consiguiente situada en el interior de uno de los grupos  $G'_1$  y  $G'_2$  del circuito primario 10. Las dos bobinas 21 y 22 están además conectadas en serie, presentando cada bobina espiras arrolladas en un sentido opuesto respecto a las espiras de la otra bobina. Así, como la inducción magnética sobre el eje del primario es una función impar, las dos bobinas van a generar cada una una tensión idéntica en amplitud pero opuesta en fase. Las tensiones inducidas por un campo magnético alterno externo y constante en cada una de las bobinas se anularán así. Además, las dos bobinas 21, 22 están ventajosamente conectadas, al nivel del centro del circuito primario, a un mismo potencial de referencia. Obteniendo la diferencia de las tensiones obtenidas en cada una de las bobinas, se dobla así la señal útil, eliminando las señales de modo común, a saber las tensiones debidas al acoplamiento electrostático entre el circuito primario y el circuito secundario.

60 Estas tensiones de modo común afectan particularmente a la precisión del sensor de muy baja corriente primaria (10 mA).

65 La estructura del circuito secundario puede ser aun mejorada para permitir igualmente la supresión de las componentes inducidas por un campo magnético alterno de gradiente lineal. La figura 8a ilustra de manera esquemática una estructura de circuito secundario que permite suprimir las componentes de un campo magnético alterno externo de gradiente lineal:

## ES 2 336 374 T3

Para ello, y como se esquematiza en la figura 8a, el circuito secundario 20 está compuesto por dos agrupamientos idénticos de dos bobinas de multi espiras L1 a L4, situados coaxialmente según el eje XX', y simétricamente respecto a un plano perpendicular al eje XX' y que pasa por el centro del circuito primario 10.

5 Más precisamente, el primer agrupamiento (a la derecha en la figura) está constituido por dos bobinas de multi espiras L1 y L2, y el segundo agrupamiento está constituido por dos bobinas de multi espiras L3 y L4. Las bobinas L1 y L3, correspondientes a las bobinas de extremos del circuito secundario 20, son idénticas. Igualmente, las bobinas L2 y L4, correspondientes a las bobinas centrales en el circuito secundario, son idénticas. Dos bobinas de un mismo agrupamiento están conectadas en serie pero presentan espiras arrolladas en sentidos opuestos, como se indica por las  
10 diferentes flechas en el interior de las diferentes bobinas. El primer agrupamiento posee un borne de salida T1 y un borne de referencia T2. El segundo agrupamiento posee un borne de salida T3 y un borne de referencia T2. Así, los dos agrupamientos de bobinas están ventajosamente destinados a estar conectados, al nivel del centro del primario, a un mismo potencial de referencia de electrónica metrológica en el borne T2, este borne corresponde al punto bajo de las dos bobinas L2 y L4.

15 La salida global del circuito secundario, correspondiente a la diferencia entre los bornes de salidas T1 y T3 puede ser expresada mediante la relación siguiente:

$$20 \quad S \doteq (S2 - S1) - (S4 - S3) \quad (1)$$

relación en la cual Si corresponde a la salida de la bobina Li.

25 Para ilustrar el principio de la compensación, se han representado en la figura 8a las diferentes abscisas según el eje XX' que permiten marcar la posición de las diferentes bobinas L1 a L4 respecto a un referencial que pasa por el centro de la estructura. Así:

30 - la bobina L1 está situada entre las abscisas x3 y x4;

- la bobina L2 está situada entre las abscisas x1 y x2;

- la bobina L3 está situada entre las abscisas -x3 y -x4;

35 - la bobina L4 está situada entre las abscisas -x1 y -x2.

40 Además, se ha representado igualmente una recta d correspondiente a la variación en amplitud de un campo magnético alterno externo de gradiente lineal sobre el eje XX'. Esta recta puede explicarse según la relación:

$$45 \quad B(x) = \frac{(B1 - B3)}{(x3 + x4)} x + \frac{(B1 + B3)}{2}$$

En la cual B1 y B3 corresponden a las amplitudes del campo magnético alterno externo vistas en el centro de las bobinas L1 y L3, es decir las dos bobinas exteriores en la disposición de los dos grupos secundarios.

50 Con los parámetros precedentes y considerando la relación (1) anterior que da la salida global S del sensor, se puede demostrar que se obtiene la relación siguiente:

$$55 \quad S = (G_{2,4} \cdot (A \cdot (x1 + x2) / 2 + B) - G_{1,3} \cdot (A \cdot (x3 + x4) / 2 + B)) - (G_{2,4} \cdot (A \cdot (-x1 - x2) / 2 + B) - G_{1,3} \cdot (A \cdot (-x3 - x4) / 2 + B))$$

60 Con  $A = (B1 - B3) / (x3 + x4)$  y  $B = (B1 + B3) / 2$ .

Siendo  $G_{2,4}$  la ganancia de las bobinas L2 y L4, y siendo  $G_{1,3}$  la ganancia de las bobinas L1 y L3. Sea  $S = A \cdot [G_{2,4} \cdot (x1 + x2) - G_{1,3} \cdot (x3 + x4)]$

65

## ES 2 336 374 T3

El campo magnético externo de gradiente lineal no tiene influencia si la relación de las ganancias entre las bobinas L2, L4 y L1, L3 verifica la ecuación:

$$G_{2,4} / G_{1,3} = (x_3 + x_4) / (x_1 + x_2)$$

En otros términos, determinando correctamente las ganancias de las bobinas de un mismo agrupamiento, así como las posiciones de las bobinas del eje, es posible anular el efecto de un campo magnético externo cuyo gradiente es lineal en toda la longitud del circuito secundario, como lo muestra la recta d de la figura 8a.

Se puede mejorar aun este principio aumentando el número que constituye cada agrupamiento del circuito secundario. La figura 8b ilustra un segundo ejemplo en el cual el circuito secundario está constituido por dos agrupamientos idénticos que comprenden cada uno tres bobinas de multi espiras, estando los dos agrupamientos dispuestos a igual distancia de uno y otro lado del centro de la estructura, y conectados en serie. El punto medio de los dos agrupamientos está además ventajosamente unido a un mismo potencial de referencia, de manera que se haga posible un tratamiento diferencial que permite eliminar, como se ha explicado precedentemente, las tensiones de modo común.

Se encuentran en la figura 8b las cuatro bobinas L1 a L4 del circuito secundario de la figura 8a, a las cuales se han añadido dos bobinas L5 y L6 entre las abscisas  $-x_1$  y  $x_1$ .

En este caso, la salida global del circuito secundario, correspondiente a la diferencia entre los bornes de salidas T1 y Y3 puede ser expresada mediante la relación siguiente:

$$S = (S_2 - S_1 - S_6) - (S_4 - S_3 - S_5) \quad (2)$$

relación en la cual S1 corresponde a la salida de la bobina L1.

Con tal estructura, es posible suprimir la influencia de un campo magnético externo que varía según dos gradientes lineales, como se ilustra mediante las dos rectas d1 y d2 de la figura 8b. Para ello, la ganancia  $G_{2,4}$  de las bobinas L2 y L4 debe ser el doble de las ganancias  $G_{1,3}$  y  $G_{5,6}$  de las bobinas L1, L3 y L5, L6.

De esta manera, el agrupamiento de las bobinas L1, L2 y L6 a la derecha en la figura 8b va a anular las contribuciones del campo magnético externo cuya amplitud varía según la recta d1, mientras que el agrupamiento de las bobinas L3, L4 y L5 a la izquierda en la figura 8b va a anular las contribuciones del campo magnético externo cuya amplitud varía según la recta d2.

Así, determinando correctamente las ganancias de un mismo agrupamiento, así como las posiciones de las bobinas sobre el eje, la estructura de circuito secundario según la figura 8b permite anular el efecto de un campo magnético externo cuyo gradiente es lineal en una longitud correspondiente a cada agrupamiento del circuito secundario.

El principio del circuito secundario de la figura 8b puede ser generalizado a cualquier circuito secundario que comprenda dos agrupamientos idénticos que comprenden cada uno al menos un sub-agrupamiento de tres bobinas idénticas coaxiales dispuestas a lo largo del citado eje. Los dos agrupamientos deben estar dispuestos simétricamente respecto al centro y estar conectados en serie. Por otra parte, las tres bobinas de un mismo sub-agrupamiento están conectadas en serie pero presentan espiras arrolladas en sentidos opuestos. Con tal estructura, las ganancias y las posiciones según el eje de las bobinas de un mismo sub-agrupamiento pueden ser ajustadas para compensar la influencia de un campo magnético externo de gradiente lineal en una longitud correspondiente a la longitud de cada sub-agrupamiento del circuito secundario. Finalmente, como en los casos precedentes, los dos agrupamientos presentan preferentemente un punto medio, al nivel del centro del circuito primario, conectado a un mismo potencial de referencia, de manera que permita un tratamiento diferencial, y eliminar así las tensiones de modo común.

El sensor que acaba de ser descrito está particularmente adaptado para la medición de corrientes de gran amplitud (típicamente entre 10 mA a 100 A). Estos sensores son utilizados sobre contadores de electricidad situados en redes de baja tensión para los cuales las fases de la red atraviesan los contadores.

Se va a describir ahora, en referencia a las figuras 9a y 9b el circuito primario de un segundo sensor más particularmente adaptado a la medición de corriente de baja amplitud (típicamente entre 1 mA a 10 A). Estos sensores son utilizados sobre contadores de electricidad situados en redes de baja tensión de gran potencia o alta tensión, redes para las cuales los sensores de corrientes están conectados a transformadores de corriente reductores.

El circuito primario 10 representado en las figuras 9a y 9b responde muy exactamente al esquema de principio representado en la figura 1c. Este circuito primario está ventajosamente obtenido a partir de una placa de material eléctricamente conductor, por ejemplo de cobre, cortado en láminas idénticas y paralelas según el motivo visible en la figura

## ES 2 336 374 T3

9b. La placa es arrollada a continuación para formar el cilindro hueco de eje XX' de la figura 8a, en el interior del cual debe ser colocado el circuito secundario. Se encuentran así los dos grupos  $G_1$  y  $G_2$  de cuatro espiras cada uno. Todas las espiras están conectadas en serie, de manera que todas están destinadas a ser recorridas por la corriente alterna I que se va a medir. El recorrido de esta corriente ha sido esquematizado mediante flechas a trazos gruesos sobre el circuito primario desarrollado de la figura 9b. Una vez plegada la placa, se obtiene muy exactamente el sentido de recorrido de la corriente en las diferentes espiras indicadas en la figura 1c. Debe observarse que el corte de la placa comprende una pieza añadida 14 que forma puente eléctrico, destinada a conectar en serie las dos espiras situadas delante de la última posición. El arrollamiento de la placa permite además la obtención de un circuito primario de multi-capas, lo que presenta la ventaja de aumentar la sensibilidad del sensor destinado a la medición de corrientes de baja amplitud.

El circuito primario 10 que acaba de ser descrito puede estar asociado a un circuito secundario 20 de dos bobinas de multi espiras similar al descrito precedentemente en referencia a la figura 5b, o a un circuito secundario de cuatro bobinas o más, del tipo del descrito en referencia a la figura 8.

En las diferentes estructuras de circuitos primarios descritas anteriormente, se ha visto que la corriente de la misma intensidad que recorre las diferentes espiras del circuito primario corresponde a la corriente alterna que se va a medir. En otros términos, las diferentes espiras están conectadas en serie entre el borne de conexión de entrada y el borne de conexión de salida del circuito primario.

Un circuito primario según un modo de realización de acuerdo con la invención se va a describir ahora en referencia a las figuras 10a, 10b y 11. Aquí, el circuito primario está constituido por dos grupos que comprenden cada uno dos espiras coaxiales según el eje XX'. Los dos grupos están situados a igual distancia de una y otra parte del centro del circuito primario, y dos espiras tomadas en cada uno de los grupos y situadas de manera simétrica respecto a este centro, están destinadas a ser recorridas por una corriente de la misma intensidad, pero de sentido opuesto. Es esta geometría particular la que permite, como se ha visto precedentemente, obtener un campo magnético inducido sobre el eje XX' que varía de acuerdo con una función impar. En cambio, la particularidad de este circuito primario de acuerdo con el modo de realización reside en el hecho de que las dos espiras de un mismo grupo no son recorridas por la corriente alterna que se va a medir, sino solamente por una porción de esta corriente, complementaria de la porción de corriente que pasa a la otra espira.

Así, si I representa la amplitud de la corriente alterna externa que se va a medir, una de las espiras de un grupo será recorrida por una corriente de amplitud igual a  $aI$  (siendo a un número inferior a 1), mientras que la otra espira será recorrida por una corriente de amplitud  $(1-a)I$ . El circuito primario representado en vista desarrollada sobre la figura 10a es tal que las dos espiras de un mismo grupo tienen un mismo espesor y una relación de lados en anchura de  $a/(1-a)$ , lo que permite obtener un reparto de las corrientes en cada una de las espiras proporcional a su anchura respectiva ( $aI$  y  $(1-a)I$ ). La realización mecánica consiste en plegar sobre una matriz cilíndrica cada uno de los dos circuitos en sentidos opuestos, lo que permite constituir dos grupos de dos espiras con circulaciones de corrientes diferentes y de sentidos opuestos.

Las variaciones del campo magnético inducido por tal circuito primario están representadas en la figura 11. Más precisamente:

- la curva 6 ilustra la variación según el eje XX' del campo magnético inducido por las dos espiras centrales del circuito, recorridas por una corriente de amplitud  $aI$ ;
- la curva 7 ilustra la variación según el eje XX' del campo magnético inducido por las dos espiras de extremo del circuito, recorridas por una corriente de amplitud  $(1-a)I$ ;
- la curva 8 ilustra la variación según el eje XX' del campo magnético total inducido por el circuito primario en su conjunto y que es la superposición de los dos campos de las curvas 6 y 7.

Gracias a esta estructura particular, se obtiene una concentración óptima de las líneas de campo magnético en el interior del circuito primario.

Como en el caso de las estructuras precedentes, se podrá asociar a este circuito primario:

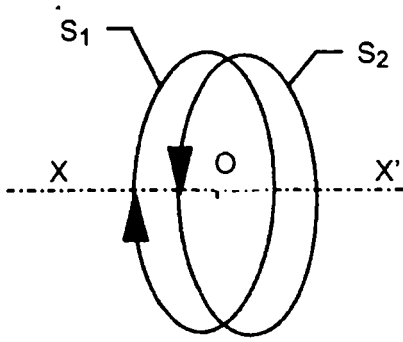
- bien sea un circuito secundario de dos bobinas de multi espiras, del tipo del descrito en referencia a la figura 5b.
- bien sea un circuito secundario del tipo del descrito en referencia a las figuras 8a y 8b para aumentar la inmunidad al campo magnético alterno externo de gradiente lineal.

Por otra parte, todas las variantes descritas precedentemente de realización del circuito primario utilizan un conductor único (placa plegada). Se podría por supuesto reemplazar este conductor único por un conjunto de espiras bobinadas utilizando un hilo aislado de pequeña sección adaptado para corrientes de baja intensidad.

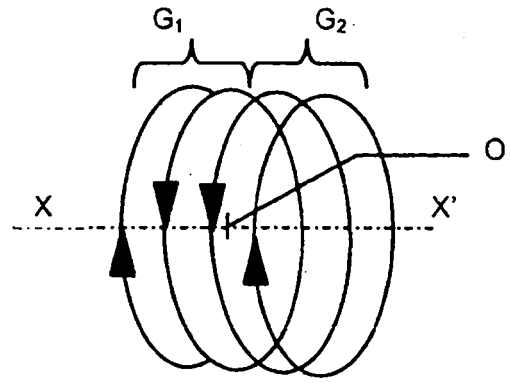
Además, en las diferentes figuras, las espiras de los circuitos primarios y secundarios tienen una forma circular. Por supuesto, los diferentes principios de la invención son aplicables a otras formas de espiras (rectangulares, cuadradas...).

## REIVINDICACIONES

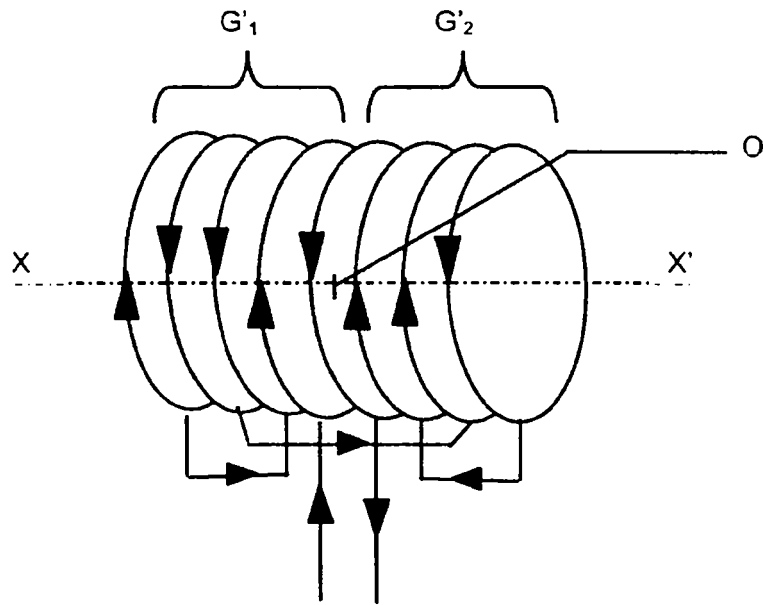
- 5 1. Sensor inductivo de medida de corriente del tipo que comprende un circuito primario (10) destinado a ser recorrido por una corriente alterna (I) que se va a medir y un circuito secundario (20) acoplado magnéticamente en el aire al circuito primario, comprendiendo el citado circuito primario (10) dos grupos ( $G'_1$ ,  $G'_2$ ) que comprenden cada uno 2<sup>p</sup> espiras coaxiales según un eje (XX'), siendo p un entero mayor o igual que cero, estando los dos grupos situados a igual distancia de uno y otro lado de un punto del citado eje que constituye el centro (O) del circuito primario (10), de manera que dos espiras tomadas en cada uno de los grupos ( $G'_1$ ,  $G'_2$ ), y situadas de manera asimétrica respecto al centro (O) del circuito primario están destinadas a ser recorridas por una corriente de la misma intensidad pero de sentido opuesto, correspondiente a la corriente alterna (I) que se va a medir o a una porción de la corriente alterna (I) que se va a medir, y el circuito secundario (20) que comprende al menos dos bobinas de multi espiras conectadas en serie, siendo las dos bobinas coaxiales y estando dispuestas a lo largo del citado eje (XX') simétricamente respecto al citado centro (O) de manera que cada una de las dos bobinas se encuentra en el interior de uno de los dos grupos ( $G'_1$ ,  $G'_2$ ), poseyendo cada bobina espiras arrolladas en un sentido opuesto respecto a las espiras de la otra bobina, **caracterizado** porque cada uno de los dos grupos ( $G'_1$ ,  $G'_2$ ) del circuito primario comprende dos espiras coaxiales según el citado eje (XX'), estando cada una de las dos espiras destinada a ser recorrida por una porción de corriente alterna (I) que se va a medir complementaria de la porción de la corriente alterna en la otra espira.
- 20 2. Sensor inductivo de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el circuito primario (10) está formado por una pieza única de material eléctricamente conductor, que comprende dos extremos que forman respectivamente los bornes de entrada y de salida del circuito primario, así como una parte entre los dos extremos plegada según una forma sensiblemente cilíndrica y hueca cuyo eje de revolución define el citado eje (XX').
- 25 3. Sensor inductivo de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque el eje (XX') se extiende en un plano paralelo al plano que contiene los bornes de entrada y de salida, con una inclinación tal que su proyección en el plano que contiene a los bornes de entrada y de salida no es perpendicular a la dirección longitudinal de los bornes.
- 30 4. Sensor inductivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque las dos bobinas del circuito secundario (20) están conectadas, al nivel del centro del circuito primario (10), a un mismo potencial de referencia.
- 35 5. Sensor inductivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque el circuito secundario (20) comprende dos agrupamientos idénticos que comprenden cada uno dos bobinas de multi espiras (L1, L2; L3, L4) coaxiales dispuestas a lo largo del citado eje (XX'), estando los dos agrupamientos conectados en serie pero presentando espiras arrolladas en sentidos opuestos, estando las ganancias y las posiciones según el eje de las bobinas de un mismo agrupamiento determinadas para compensar la influencia de un campo magnético alterno externo de gradiente lineal en toda la longitud del circuito secundario.
- 40 6. Sensor inductivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el circuito secundario (20) comprende dos agrupamientos idénticos que comprenden cada uno tres bobinas de multi espiras (L1-L3; L4-L6) coaxiales dispuestas a lo largo del citado eje (XX'), estando los dos agrupamientos dispuestos simétricamente respecto al citado centro (O) y estando conectados en serie, estando las tres bobinas de un mismo agrupamiento conectadas en serie pero presentando espiras arrolladas en sentidos opuestos, estando las ganancias y las posiciones según el eje de las bobinas de un mismo agrupamiento determinadas para compensar la influencia de un campo magnético alterno externo de gradiente lineal en una longitud correspondiente a la longitud de cada agrupamiento del circuito secundario.
- 45 7. Sensor inductivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el circuito secundario comprende dos agrupamientos idénticos que comprenden cada uno al menos un sub-agrupamiento de tres bobinas de multi espiras coaxiales dispuestas a lo largo del citado eje (XX'), estando los dos agrupamientos dispuestos simétricamente respecto al citado centro (O) y estando conectados en serie, estando las tres bobinas de un mismo sub-agrupamiento conectadas en serie pero presentando espiras arrolladas en sentidos opuestos, estando las ganancias y las posiciones según el eje de las bobinas de un mismo sub-agrupamiento determinadas para compensar la influencia de un campo magnético alterno externo de gradiente lineal sobre una longitud correspondiente a la longitud de cada sub-agrupamiento del circuito secundario.
- 50 8. Sensor inductivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 y 7, **caracterizado** porque las tres bobinas de un mismo agrupamiento o sub-agrupamiento son tales que la ganancia de la bobina central de un mismo agrupamiento o sub-agrupamiento corresponde al doble de la ganancia de las otras dos bobinas.
- 60 9. Sensor inductivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, **caracterizado** porque los dos agrupamientos del circuito secundario (20) están conectados, al nivel del centro del circuito primario (10), a un mismo potencial de referencia.



**FIG. 1a**



**FIG. 1b**



**FIG. 1c**

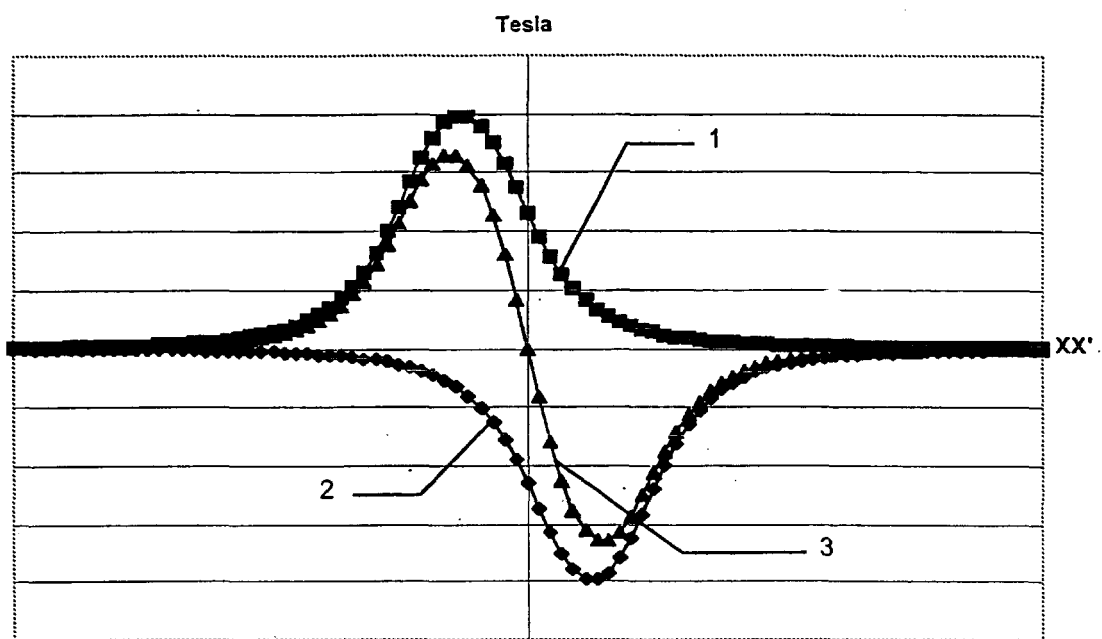


FIG. 2a

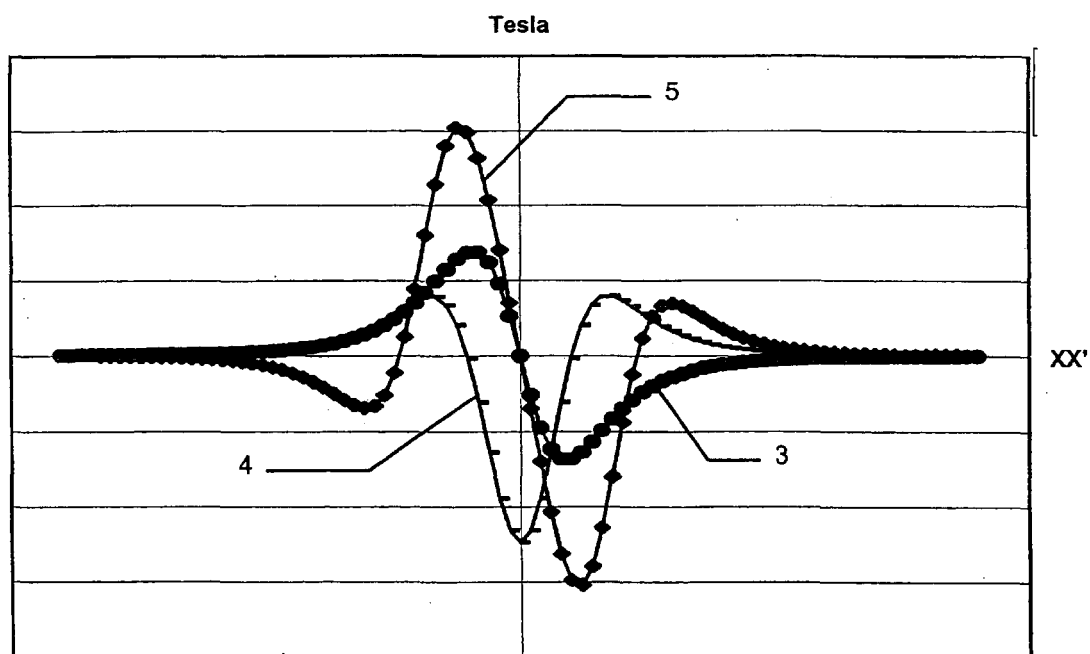
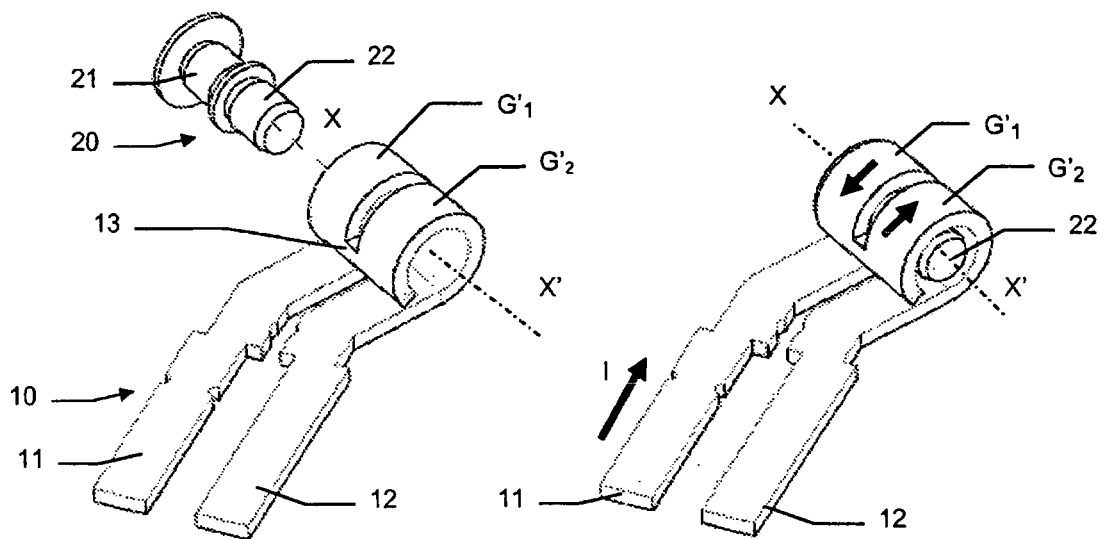
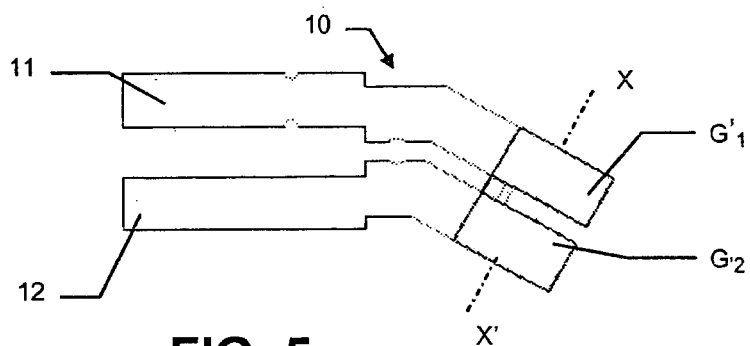


FIG. 2b

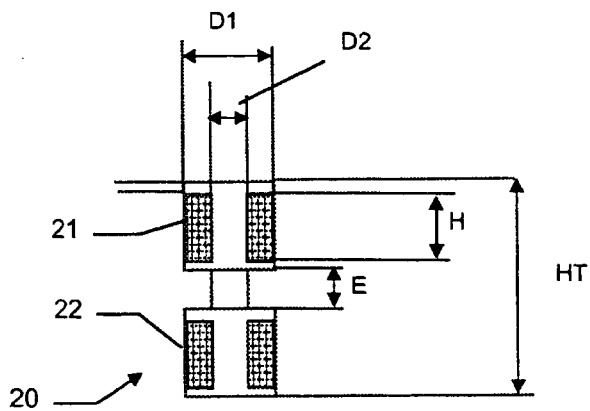


**FIG. 3**

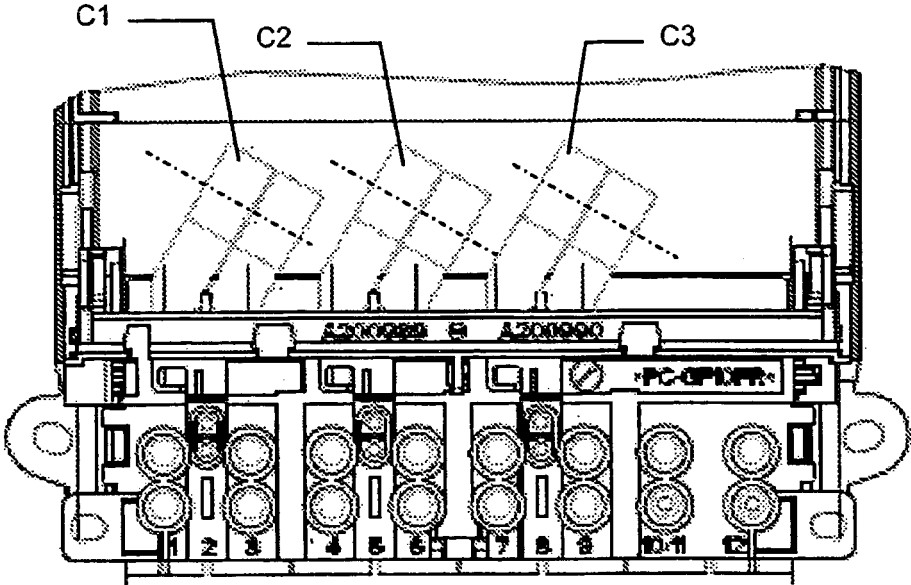
**FIG. 4**



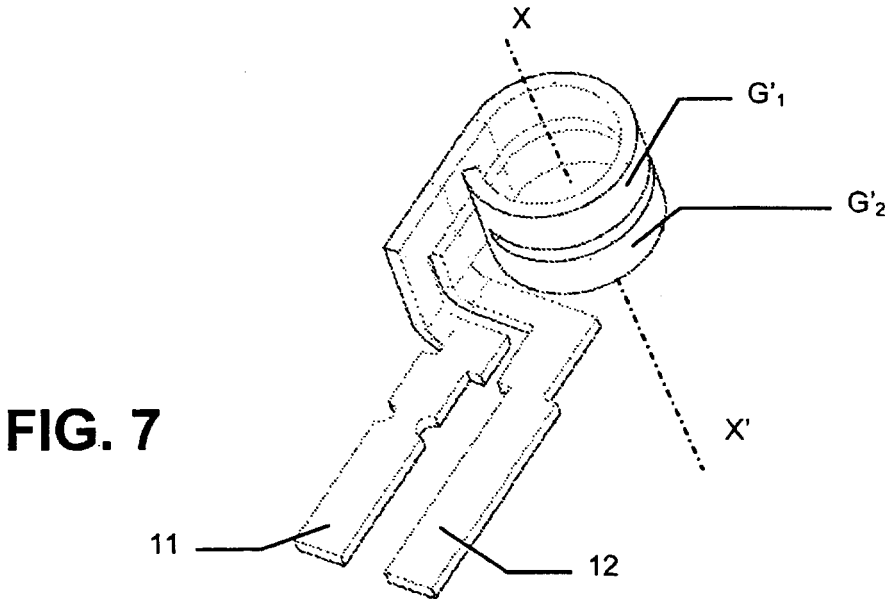
**FIG. 5a**



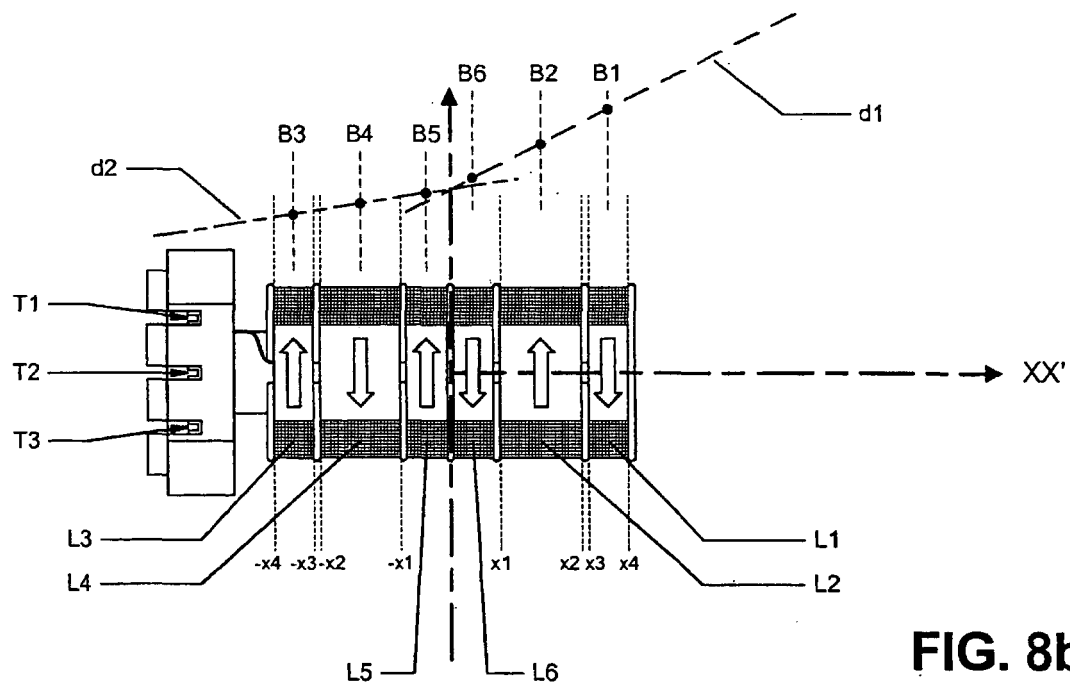
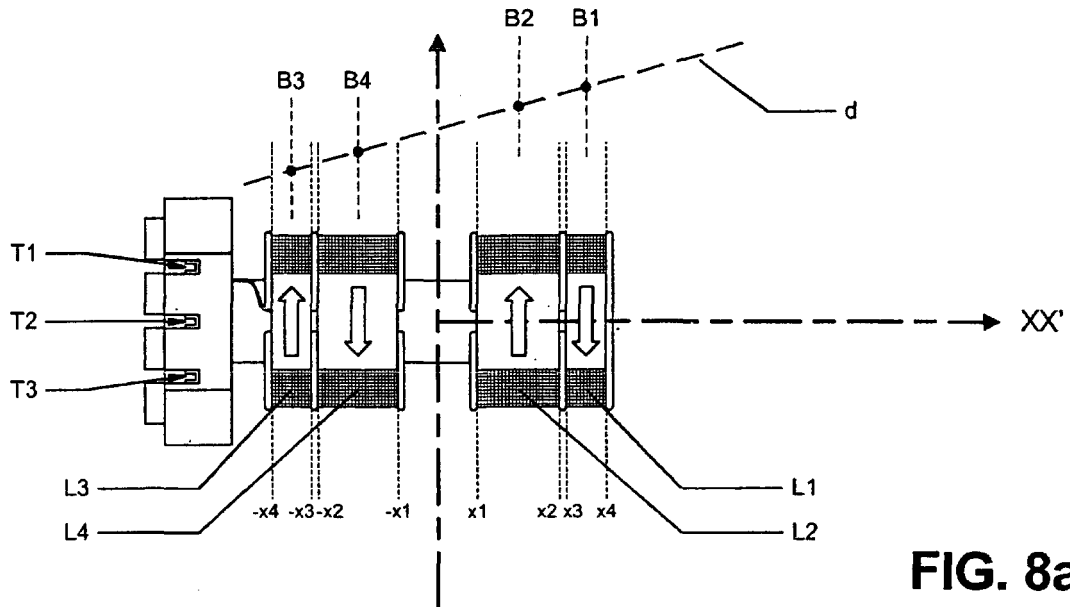
**FIG. 5b**



**FIG. 6**



**FIG. 7**



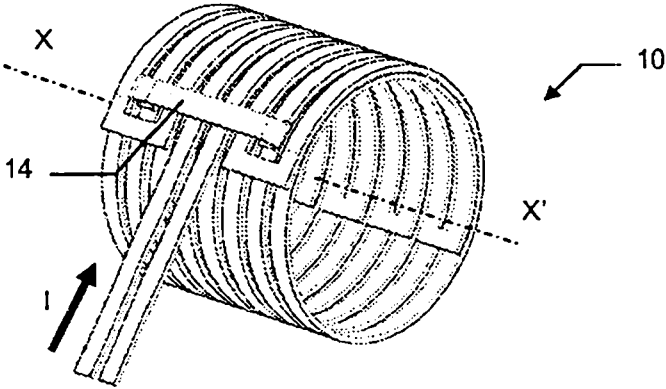


FIG. 9a

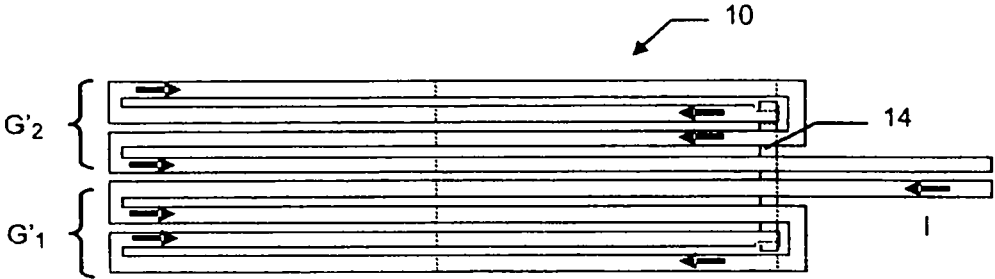


FIG. 9b

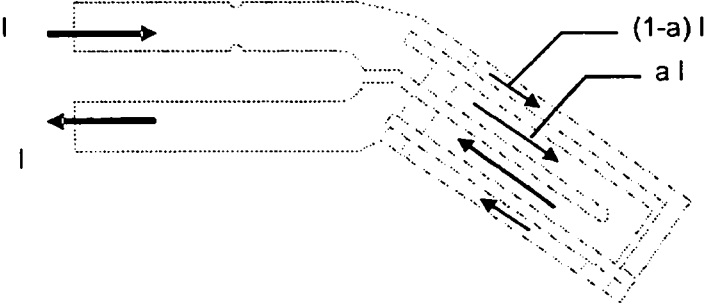


FIG. 10a

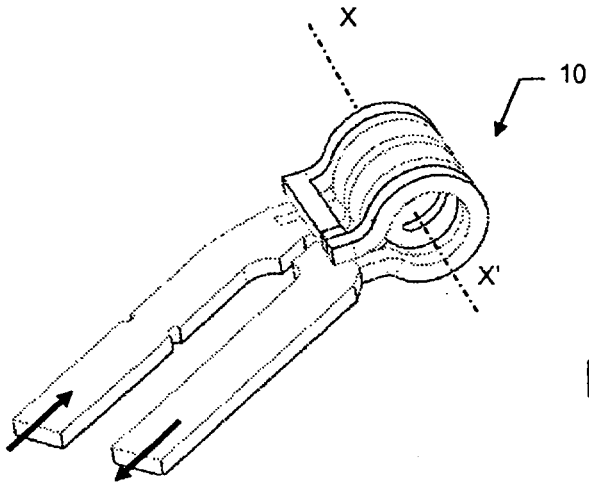


FIG. 10b

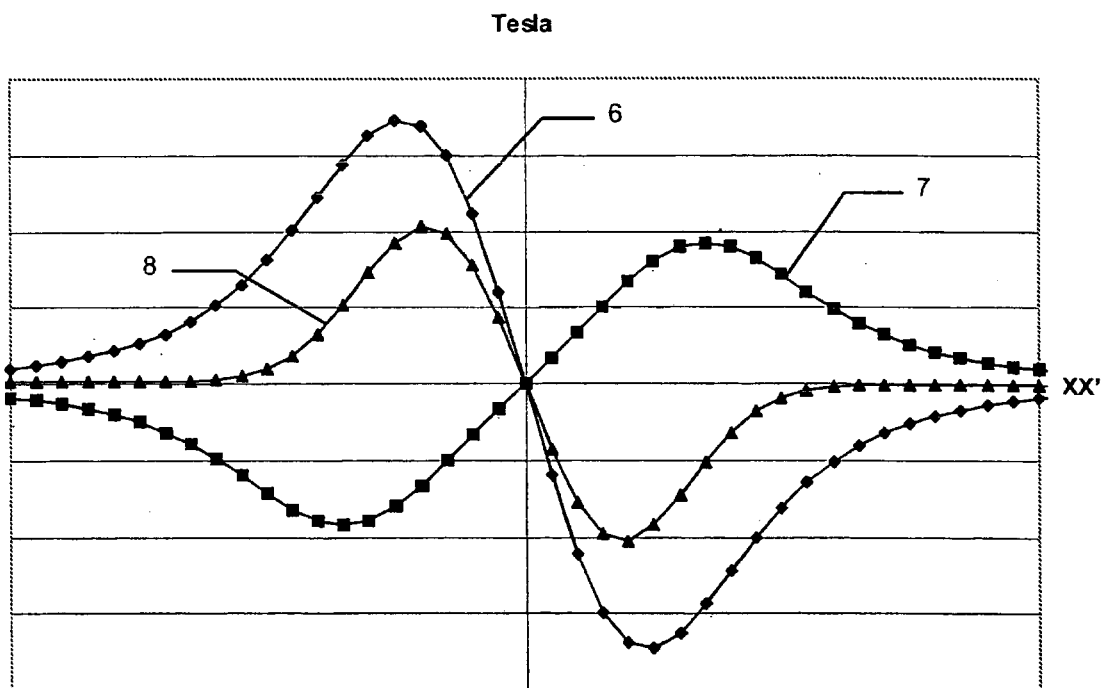


FIG. 11