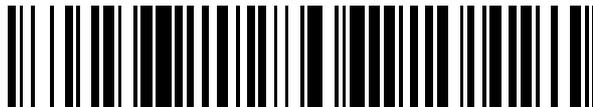


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 609 968**

51 Int. Cl.:

G01R 33/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.08.2013** **E 13181195 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.08.2016** **EP 2700967**

54 Título: **Sensor de campo magnético**

30 Prioridad:

22.08.2012 DE 102012214892

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

25.04.2017

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (50.0%)**

Hansastraße 27c

80686 München, DE y

TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU (50.0%)

72 Inventor/es:

**RYBALKO, RUSLAN;
HOFMANN, CHRISTIAN y
HAUEISEN, JENS**

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Monica

ES 2 609 968 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).

Sensor de campo magnético

DESCRIPCIÓN

5 Ejemplos de realización de la presente invención se refieren a un sensor de campo magnético. Otros ejemplos de realización de la presente invención se refieren a un procedimiento para detectar un campo magnético externo. Algunos ejemplos de realización se refieren a un dispositivo y a un procedimiento para la medición de alta resolución de campos magnéticos para intensidades de campo débiles y amplitudes mínimas. Algunos ejemplos de realización se refieren a una estructura nueva o a un modelo nuevo del sensor del flujo magnético para la detección de campos magnéticos muy débiles.

15 Un magnetómetro de flujo magnético es un elemento de sensor o dispositivo de medición para la determinación vectorial del campo magnético. Los magnetómetros de flujo magnético también se denominan como magnetómetros de núcleo saturado o en el área lingüística alemana, según el inventor (1937) Friedrich Förster, como "sonda-Förster". La denominación inglesa y la denominación más habitualmente usada en el ámbito científico es sensor Fluxgate.

20 Las aportaciones y patentes publicadas anualmente documentan el amplio espectro de aplicación de sensores de flujo magnético. A día de hoy pueden usarse sensores de flujo magnético en variados escenarios de aplicación. Son imprescindibles en la medición precisa de campos magnéticos, como por ejemplo, a bordo de satélites y en aviones, así como para el mapeo de la estructura fina del campo magnético terrestre, por ejemplo, en la prospección de reservas de petróleo. En los aeropuertos se usan para la detección de armas de fuego, las bibliotecas y los grandes almacenes protegen sus productos frente a robo con etiquetas magnéticas, las cuales son detectadas por sensores de flujo magnético. La marina utiliza magnetómetros para detectar submarinos bajo el agua y los geógrafos localizan durante trabajos de medición con la ayuda de sensores de flujo magnético, marcas de demarcación enterradas en el suelo o cubiertas por vegetación.

30 Un sensor de flujo magnético es un dispositivo, el cual es sensible a campos magnéticos externos. Con las tecnologías actuales pueden medirse tanto campos magnéticos estáticos con una intensidad de campo constante o campos magnéticos casi estáticos con una modificación de amplitud reducida, como también campos alternantes dinámicos con amplitud variable y una frecuencia hasta algunos kHz.

35 Con sensores de flujo magnético pueden medirse campos magnéticos con una intensidad de campo de 1 mT hasta intensidades de campo mínimas de aproximadamente 10 pT, siendo posible con los sensores según el estado de la técnica actual, la medición con una resolución de 10 pT, no obstante, solo con limitaciones (por ejemplo, en el caso de frecuencias bajas y con proceso de promediación postconectado). El campo magnético terrestre se encuentra por ejemplo, en el rango de aproximadamente 30 μ T... 40 μ T, las señales geomagnéticas como el cardiograma magnético (MKG por sus siglas en alemán, *Magnetkardiogramm*) presentan valores alrededor de 50 pT.

40 Un sensor de flujo magnético 10 clásico consiste en un núcleo 12 ferromagnético, altamente permeable, sobre el cual hay dispuestos dos bobinados de bobina 14 y 16 (bobina primaria 14 y bobina secundaria 16). En la estructura clásica, la bobina secundaria 16 está dispuesta de tal forma, que comprende la bobina primaria (véanse las Figs. 1a y 1b).

45 La Fig. 1a muestra en este caso el sensor de flujo magnético 10 sin bobina secundaria 16, para posibilitar una representación con valor informativo del núcleo toroidal 12 ferromagnético y de la bobina primaria 14 con los bobinados alrededor del núcleo toroidal 12 ferromagnético, mientras que la Fig. 1b muestra el sensor de flujo magnético 10 con bobina secundaria 16.

50 En lo sucesivo se explica con mayor detalle el modo de funcionamiento exacto del sensor de flujo magnético 10 mostrado en la Fig. 1b mediante las Figs. 2a a 4e.

55 La Fig. 2a muestra una vista esquemática del núcleo toroidal 12 ferromagnético y de la bobina primaria 14 con los bobinados alrededor del núcleo toroidal 12 ferromagnético. Mediante la impresión de una corriente i (corriente de magnetización) en la bobina primaria 14, se produce en el interior de la bobina primaria un campo magnético 17 con la intensidad de campo H_{in} , debido a lo cual se magnetiza el núcleo toroidal 12 ferromagnético y aumenta la densidad de flujo magnético B en el interior del núcleo toroidal 12 ferromagnético. La intensidad de campo magnética H_{in} y la densidad de flujo magnético B presentan en este caso, en dos puntos 20 y 22 opuestos del núcleo toroidal 12 ferromagnético, diferentes signos. En el caso de la densidad de flujo magnético, esto se indica en lo sucesivo con B' y B'' .

60 La Fig. 2b muestra en un diagrama la curva de histéresis 24 del núcleo toroidal 12 ferromagnético mostrado en la Fig. 2a. Como puede verse en la Fig. 2b, la densidad de flujo magnético B en el núcleo toroidal 12 ferromagnético es determinada por la intensidad de campo magnética H_{in} . Puede verse además de ello, que

cuando la intensidad de campo magnética H_{in} se aumenta lo suficientemente, la densidad de flujo magnético B solo aumenta ya ligeramente debido a la saturación del núcleo toroidal 12 ferromagnético a partir de la intensidad de campo de saturación magnética. La Fig. 2c muestra en un diagrama el desarrollo de la intensidad de corriente de la corriente i impresa en la bobina primaria 14. En este caso, la ordenada describe la intensidad de corriente, mientras que la abscisa describe el tiempo t .

La Fig. 2d muestra en un diagrama, desarrollos de la densidad de flujo magnético en dos puntos 20 y 22 opuestos del núcleo toroidal 12 ferromagnético en dependencia de la corriente i , que se imprime en la bobina primaria 14. La ordenada describe en este caso la densidad de flujo magnético B, mientras que la abscisa describe el tiempo t . Como puede verse en la Fig. 2d, una primera curva 18' describe el desarrollo de la densidad de flujo magnético B' en un primer punto 20 de los dos puntos 20 y 22 opuestos, mientras que una segunda curva 18'' describe el desarrollo de la densidad del flujo magnético B'' en un segundo punto 22 de los dos puntos 20 y 22 opuestos.

En el punto temporal t_0 , la intensidad de corriente de la corriente i es cero, de manera que también la densidad de flujo magnético B es cero en el primer y en el segundo punto 20 y 22. Entre los puntos temporales t_0 y t_1 aumenta la intensidad de corriente de la corriente i , de manera que la densidad de flujo magnético B' aumenta en el primer punto 20, mientras que la densidad de flujo magnético B'' cae en el segundo punto 22, de manera que las densidades de flujo magnéticas B' y B'' conforman vectores opuestos en los puntos 20 y 22. A partir del punto temporal t_1 , la intensidad de la corriente de la corriente i ha aumentado hasta tal punto, que el núcleo 12 ferromagnético está en saturación y la densidad de flujo magnético B' alcanza en el primer punto 20 su máximo $B_{m\acute{a}x}$, mientras que la densidad de flujo magnético B'' alcanza en el segundo punto 22 su mínimo $B_{m\acute{i}n}$. Entre los puntos temporales t_1 y t_2 , la intensidad de corriente presenta su máximo, la densidad de flujo magnético B' en el primer punto 20 y la densidad de flujo magnético B'' en el segundo punto 22 se mantienen no obstante (casi) completamente constantes. En el punto temporal t_2 , la intensidad de corriente de la corriente i ha vuelto a caer hasta tal punto, que el núcleo toroidal 12 ferromagnético sale de la saturación. Entre los puntos temporales t_2 y t_3 , la intensidad de corriente de la corriente i , cae en primer lugar hasta cero y se invierte entonces, de manera que la densidad de flujo magnético B' cae en el primer punto 20, mientras que la densidad de flujo magnético B'' aumenta en el segundo punto 22. A partir del punto temporal t_3 , la intensidad de corriente de la corriente i ha caído hasta tal punto, que el núcleo 12 ferromagnético está en saturación y la densidad de flujo magnético B' alcanza en el primer punto 20 su mínimo $B_{m\acute{i}n}$, mientras que la densidad de flujo magnético B'' alcanza en el segundo punto 22 su máximo $B_{m\acute{a}x}$. Entre los puntos temporales t_3 y t_4 , la intensidad de corriente presenta su mínimo, el valor de la densidad de flujo magnético B' en el primer punto 20 y el valor de la densidad de flujo magnético B'' en el segundo punto 22, se mantienen no obstante (casi) constantes. En el punto temporal t_4 , la intensidad de corriente de la corriente i ha vuelto a aumentar hasta tal punto, que el núcleo toroidal 12 ferromagnético llega a la saturación. A partir de los puntos temporales t_4 , continua aumentando la intensidad de corriente de la corriente i , de manera que aumenta la densidad de flujo magnético B' en el primer punto 20, mientras que la densidad de flujo magnético B'' cae en el segundo punto 22.

La Fig. 3a muestra una vista esquemática del núcleo toroidal 12 ferromagnético y de la bobina primaria 14 con los bobinados alrededor del núcleo toroidal 12 ferromagnético en presencia de un campo magnético 24 externo. El campo magnético 24 externo y el campo magnético 17 en el interior de la bobina primaria 14 se superponen, de manera que la intensidad de campo magnética H_{in} del campo magnético 17 interior y la intensidad de campo magnética H_{ext} del campo magnético 24 externo se superponen en dependencia de la corriente i , que se imprime en la bobina primaria 14, de forma constructiva o destructiva.

La Fig. 3b muestra en un diagrama, la curva de histéresis 24 del núcleo toroidal 12 ferromagnético mostrado en la Fig. 2a.

La Fig. 3c muestra en un diagrama, el transcurso de la corriente i , que se imprime en la bobina primaria 14. Dado que las Figs. 3b y 3c se corresponden con las Figs. 2b y 2c, se remite a la descripción de las Figs. 2b y 2c.

La Fig. 3d muestra en un diagrama, desarrollos de la densidad de flujo magnético en dos puntos 20 y 22 opuestos del núcleo toroidal 12 ferromagnético en dependencia del campo magnético externo y de la corriente i impresa en la bobina primaria 14. La ordenada describe en este caso, la densidad de flujo magnético B, mientras que la abscisa describe el tiempo t . Como puede verse en la Fig. 2d, una primera curva 18' describe el desarrollo de la densidad de flujo magnético B' en un primer punto 20 de los dos puntos 20 y 22 opuestos, mientras que una segunda curva 18'' describe el desarrollo de la densidad de flujo magnético B'' en el segundo punto 22 de los dos puntos 20 y 22 opuestos. A diferencia de la Fig. 2d, puede verse en la Fig. 3d, que en el caso de una corriente i positiva, el primer punto 20 del núcleo 12 ferromagnético, alcanza la saturación debido a la superposición constructiva de la intensidad de campo magnética H_{in} del campo magnético 17 interior, y la intensidad de campo magnética H_{ext} del campo magnético 24 externo, ya en el punto temporal t_1 , mientras que el segundo punto 22 del núcleo 12 ferromagnético alcanza la saturación debido a la superposición destructiva de la intensidad de campo magnética H_{in} del campo magnético 17 interior y de la intensidad de campo magnética H_{ext} del campo magnético 24 externo, solo a partir del punto temporal t_2 . En correspondencia con ello, el segundo

punto 22 del núcleo 12 ferromagnético sale de la saturación ya en el punto temporal t_3 , mientras que el primer punto 20 del núcleo 12 ferromagnético sale de la saturación solo a partir del punto temporal t_4 .

De forma análoga a la anterior, el segundo punto 22 del núcleo 12 ferromagnético alcanza en el caso de una corriente i negativa, debido a la superposición constructiva de la intensidad de campo magnética H_{in} del campo magnético 17 interior y de la intensidad de campo magnética H_{ext} del campo magnético 24 externo, la saturación ya en el punto temporal t_5 , mientras que el primer punto 20 del núcleo 12 ferromagnético, debido a la superposición constructiva de la intensidad de campo magnética H_{in} del campo magnético 17 interior y de la intensidad de campo magnética H_{ext} del campo magnético 24 externo, alcanza la saturación solo a partir del punto temporal t_6 . En correspondencia con ello, el primer punto 20 del núcleo 12 ferromagnético ya sale de la saturación en el punto temporal t_7 , mientras que el segundo punto 20 del núcleo 12 ferromagnético sale de la saturación solo a partir del punto temporal t_8 .

La Fig. 4a muestra una vista esquemática de un sensor de flujo magnético 10. Como ya se ha mencionado, el sensor de flujo magnético 10 presenta un núcleo toroidal 12 ferromagnético, una bobina primaria 14 con bobinados alrededor del núcleo toroidal 12 ferromagnético, y una bobina secundaria, que rodea el núcleo toroidal 12 ferromagnético y la bobina primaria 14.

La Fig. 4b muestra en un diagrama, la curva de histéresis 24 del núcleo toroidal 12 ferromagnético mostrado en la Fig. 4a.

La Fig. 4c muestra en un diagrama, el desarrollo de la corriente i , la cual se imprime en la bobina primaria 14.

La Fig. 4d muestra en un diagrama, desarrollos de la densidad de flujo magnético en dos puntos 20 y 22 opuestos del núcleo toroidal 12 ferromagnético en dependencia de la corriente i , que se imprime en la bobina primaria 14.

Dado que las Figs. 4b a 4d se corresponden con las Figs. 3b a 3d, se remite a la descripción de las Figs. 3b a 3d.

La Fig. 4e muestra en un diagrama, un desarrollo de la tensión e inducida en la bobina secundaria 16. Como puede verse en la Fig. 4e, se induce en la bobina secundaria 16 una tensión entre los puntos temporales t_1 y t_2 , t_3 y t_4 , t_5 y t_6 y t_7 y t_8 . La tensión e inducida en la bobina secundaria 16 aumenta (o cae) en este caso, cuando un primero de los dos puntos 20 y 22 opuestos (por ejemplo, el primer punto 20 en el punto temporal t_1) alcanza la saturación y alcanza su máximo (o su mínimo) justo antes de que un segundo de los puntos 20 y 22 opuesto (por ejemplo, el segundo punto 22 en el momento temporal t_2) alcanza la saturación. A continuación, cae (o aumenta) la tensión inducida en la bobina secundaria 16 de nuevo rápidamente. La tensión e inducida en la bobina secundaria 16 puede calcularse de la siguiente forma:

$$e = -s\omega_z \frac{d}{dt} (B' + B'')$$

Siendo en este caso s el número de espiras de la bobina secundaria 16 y ω_z la frecuencia angular con la que se maneja la bobina secundaria 16.

Resumiendo, a través de la bobina primaria (bobina de magnetización) 14 se magnetiza mediante una corriente alterna i con una frecuencia determinada, el núcleo toroidal 12 periódicamente hasta la saturación. En la bobina secundaria (bobina de detección) 16, que comprende o rodea espacialmente la bobina primaria 14, se superponen el campo magnético externo H_{ext} y el campo magnético H_{in} inducido por la bobina primaria 14. Debido a la disposición geométrica, se da una superposición destructiva (o constructiva) del campo magnético inducido.

Para dos puntos 20 y 22 opuestos en el núcleo ferroso 12, tiene validez:

$$B' = B(H_{ext} - H_{in})$$

$$B'' = B(H_{ext} + H_{in})$$

Esta diferencia en las intensidades de campo magnético locales dentro del núcleo toroidal 12 induce en la bobina secundaria (bobina de detección) 16 una tensión. La tensión inducida en la bobina secundaria 16 es de esta forma una medida para el campo magnético 24 externo.

En muchos casos, una base esencial para la medición de campos magnéticos con sensores de flujo magnético 10 es la correspondiente configuración de la bobina primaria 14 y bobina secundaria 16: la bobina secundaria 16 se maneja en la mayoría de los casos con la frecuencia doble de la corriente de excitación en la bobina primaria 14 (segunda armónica, compárese con la publicación "Review of Fluxgate sensors" de Pavel Ripka). Solo en pocos casos se maneja la bobina secundaria 16 con la misma frecuencia, con la que también se magnetiza el núcleo

toroidal 12 mediante la corriente alterna i de la bobina secundaria 14. La adaptación de la bobina secundaria 16 a la primera o segunda armónica requiere un correspondiente calibrado de la totalidad del sistema (del sensor de flujo magnético 10). Un calibrado no exacto falsea los valores de medición y reduce la sensibilidad del sensor de flujo magnético 10. Además de ello, mediante la especificación de sensores de flujo magnético clásicos (número de los bobinados de bobina) 10 se fija la frecuencia de funcionamiento de los circuitos oscilantes.

En la publicación "*Review of Fluxgate sensors*" de Pavel Ripka se describen algunos tipos extendidos de magnetómetros de flujo magnético, se discute el funcionamiento de los sensores y se consideran diferentes métodos de disminución de las señales.

En la publicación "*A New Type of Fluxgate Magnetometer for Low Magnetic Fields*" de Derac Son se describe un método nuevo para detectar señales magnéticas. Este método permite medir campos magnéticos débiles.

El principio básico imperante de sensores de flujo magnético 10 presupone para la medición de la tensión inducida, un bobinado secundario 16. Para sensores de flujo magnético 10 muy sensibles, son necesarias bobinas secundarias 16 con una gran cantidad de espiras (sensibilidad). Esto conduce no obstante, a las desventajas que serán mencionadas a continuación. En primer lugar, a grandes dimensiones mecánicas, con lo cual no es posible mayor miniaturización del sensor de flujo magnético 10. En segundo lugar, a altas capacidades parasitarias entre los bobinados de bobina individuales, que conducen a un comportamiento de circuito oscilante. En tercer lugar, a una resistencia parasitaria alta debido a los muchos bobinados de bobina, con lo que se producen más pérdidas.

Además de ello, para el modo de funcionamiento descrito anteriormente (medición de la tensión inducida en la bobina secundaria 16 como segunda armónica de la corriente de excitación en la bobina primaria) son necesarias una correspondiente adaptación y calibración del circuito oscilante.

A modo de resumen, como desventajas de sensores de flujo magnético 10 actuales pueden enumerarse las propiedades mencionadas a continuación. En primer lugar, son necesarios dos bobinados de bobina (bobinas primaria y secundaria 14 y 16). En segundo lugar, es necesaria una adaptación del segundo circuito oscilante 16 (adaptación a la primera o segunda armónica del circuito oscilante primario 14). En tercer lugar, debido a la fijación de la cantidad de bobinados en las bobinas primaria y secundaria 14 y 16, el sensor de flujo magnético 10 clásico presenta una frecuencia de funcionamiento fija. En cuarto lugar, las mediciones en la bobina secundaria 16 tienen que llevarse a cabo con una frecuencia fija y limitan de esta forma la frecuencia máxima medible del campo magnético externo (teorema de muestreo). En quinto lugar, con un número de bobinado secundario bajo, solo puede lograrse una sensibilidad reducida (solo grandes diferencias del campo magnético externo). En sexto lugar, en el caso de sensores de flujo magnético 10 sensibles con número de bobinado secundario alto, solo es posible de forma difícil, debido a los requisitos mecánicos, una miniaturización adicional.

El documento WO 2010/020648 A1 muestra un sensor de flujo magnético con un núcleo ferromagnético, una bobina de excitación y una bobina de reducción. En lugar de usar bobinas separadas para la bobina de excitación y la bobina de reducción, la bobina de excitación y la bobina de reducción se implementan mediante una bobina convencional. La bobina está dividida en este caso en dos mitades, las cuales están conectadas en serie y presentan una conexión central común. El sensor de flujo magnético aprovecha una fuente de corriente, que imprime una corriente alterna en la bobina con las dos mitades conectadas en serie. Durante el uso, las tensiones, las cuales se inducen en las dos mitades de la bobina, se suman y se evalúan. El documento US 3 218 547 A muestra un sensor de flujo magnético con un núcleo en forma de cilindro, con una bobina de excitación toroidal y con una bobina de salida solenoidal, que está bobinada alrededor de ella.

El documento US 2007/151943 A1 muestra un sensor de flujo magnético, el cual está integrado en una placa de circuito impreso.

El documento EP 0 360 574 A1 muestra un sensor de corriente con un material magnético amorfo.

La presente invención se basa por lo tanto en la tarea de proporcionar un concepto para la detección de un campo magnético externo, que evite las desventajas mencionadas anteriormente. Esta tarea se soluciona mediante un sensor de campo magnético según la reivindicación 1, un procedimiento según la reivindicación 12 y un programa de ordenador según la reivindicación 13. Los ejemplos de realización de la presente invención logran un sensor de campo magnético con un primer recorrido de corriente, un segundo recorrido de corriente, un generador de señal y una instalación de evaluación. El primer recorrido de corriente presenta una primera zona de bobina y el segundo recorrido de corriente, una segunda zona de bobina, presentando la primera zona de bobina bobinados en una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética, y presentando la segunda zona de bobina bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética. El generador de señal está configurado para poner a disposición una corriente de excitación, la cual se divide en un primer y en un segundo recorrido de corriente. La instalación de evaluación está configurada para detectar una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina, y para detectar basándose en la tensión, un campo magnético externo.

Otros ejemplos de realización de la presente invención proporcionan un sensor de campo magnético con una primera y una segunda zona de bobina, un generador de señal y una instalación de evaluación. La primera zona de bobina presenta bobinados con una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética, presentando la segunda zona de bobina bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética. El generador de señal está configurado para imprimir una primera corriente en la primera zona de bobina y una segunda corriente en la segunda zona de bobina. La instalación de evaluación está configurada para detectar una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina, y para detectar basándose en la tensión, un campo magnético externo.

En los ejemplos de realización, la primera zona de bobina presenta bobinados con una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética, presentando la segunda zona de bobina bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética. Mediante la puesta a disposición de una corriente de excitación, que se divide en el primer y en el segundo recorrido de corriente, resulta en la primera zona de bobina un primer campo magnético H_1 , que magnetiza la primera zona de núcleo magnética y que produce una primera densidad de flujo magnético B' , que está dirigido en una primera dirección, mientras que en la segunda zona de bobina resulta un segundo campo magnético H_2 , que magnetiza la segunda zona de núcleo magnética y que produce una segunda densidad de flujo magnético B'' , que está dirigido en una segunda dirección. Mediante un campo magnético externo dirigido en la primera dirección, se aumenta la primera densidad de flujo magnético B' en la primera zona de núcleo, mientras que la segunda densidad de flujo magnético B'' en la segunda zona de núcleo se reduce. Esto conduce a que al aumentarse al mismo tiempo la corriente de excitación, la primera zona de núcleo magnética alcanza en un primer punto temporal la saturación, mientras que la segunda zona de núcleo magnética alcanza la saturación en un segundo punto temporal. Entre el primer punto temporal y el segundo punto temporal, la primera y la segunda zona de bobina presentan diferentes propiedades eléctricas, de manera que la instalación de evaluación puede detectar basándose en la tensión entre la primera zona de bobina y la segunda zona de bobina, el campo magnético externo.

Otros ejemplos de realización proporcionan un procedimiento para la detección de un campo magnético externo. En un primer paso, se pone a disposición una corriente de excitación, que se divide en un primer recorrido de corriente con una primera zona de bobina y en un segundo recorrido de corriente con una segunda zona de bobina, presentando la primera zona de bobina bobinados en una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética, presentando la segunda zona de bobina bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética, y extendiéndose la primera zona de bobina y la segunda zona de bobina en paralelo entre sí. En un segundo paso, se detecta una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina. En un tercer paso, se detecta el campo magnético externo basándose en la diferencia de tensión entre la primera y la segunda zona de bobina.

Otros ejemplos de realización proporcionan un procedimiento para detectar un campo magnético externo. En un primer paso se imprime una primera corriente en una primera zona de bobina y una segunda corriente en una segunda zona de bobina, presentando la primera zona de bobina bobinados en una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética, y presentando la segunda zona de bobina bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética. En un segundo paso, se detecta una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina. En un tercer paso, se detecta el campo magnético externo basándose en la diferencia de tensión entre la primera y la segunda zona de bobina.

Los ejemplos de realización de la presente invención se explican con mayor detalle haciendo referencia a los dibujos que acompañan. Muestran:

- La Fig. 1a una vista esquemática de un sensor de flujo magnético sin bobina secundaria;
- La Fig. 1b una vista esquemática de un sensor de flujo magnético con bobina secundaria;
- La Fig. 2a una vista esquemática del núcleo toroidal ferromagnético y de la bobina primaria con los bobinados alrededor del núcleo toroidal ferromagnético;
- La Fig. 2b en un diagrama, la curva de histéresis del núcleo toroidal ferromagnético mostrado en la Fig. 2a;
- La Fig. 2c en un diagrama, el desarrollo de la intensidad de corriente de la corriente impresa en la bobina primaria;
- La Fig. 2d en un diagrama, desarrollos de la densidad de flujo magnético en dos puntos opuestos del núcleo toroidal ferromagnético en dependencia de la corriente impresa en la bobina primaria;
- La Fig. 3a una vista esquemática del núcleo toroidal ferromagnético y de la bobina primaria con los bobinados alrededor del núcleo toroidal ferromagnético en presencia de un campo magnético externo;

- La Fig. 3b en un diagrama, la curva de histéresis del núcleo toroidal ferromagnético mostrado en la Fig. 3a;
- 5 La Fig. 3c en un diagrama, el desarrollo de la intensidad de corriente de la corriente impresa en la bobina primaria;
- La Fig. 3d en un diagrama, desarrollos de la densidad de flujo magnético en dos puntos opuestos del núcleo toroidal ferromagnético en dependencia del campo magnético externo y de la corriente impresa en la bobina primaria;
- 10 La Fig. 4a una vista esquemática de un sensor de flujo magnético;
- La Fig. 4b en un diagrama, la curva de histéresis del núcleo toroidal ferromagnético mostrado en la Fig. 4a.
- La Fig. 4c en un diagrama, el desarrollo de la intensidad de corriente de la corriente impresa en la bobina primaria;
- 15 La Fig. 4d en un diagrama, desarrollos de la densidad de flujo magnético en dos puntos opuestos del núcleo toroidal ferromagnético en dependencia del campo magnético externo y de la corriente impresa en la bobina primaria;
- 20 La Fig. 4e en un diagrama, un desarrollo de la tensión inducida en la bobina secundaria;
- La Fig. 5 un diagrama de bloques de un sensor de campo magnético según un ejemplo de realización de la presente invención;
- 25 La Fig. 6a un diagrama de bloques de un sensor de campo magnético según otro ejemplo de realización de la presente invención;
- La Fig. 6b en un diagrama, el desarrollo de la intensidad de corriente de la primera corriente, que se imprime en la primera bobina, y de la segunda corriente, que se imprime en la segunda bobina;
- 30 La Fig. 6c en un diagrama, el desarrollo de la primera densidad de flujo magnético en la primera zona de núcleo magnética y el desarrollo de la segunda densidad de flujo magnético en la segunda zona de núcleo;
- 35 La Fig. 6d en un diagrama, el desarrollo de la tensión de partida del amplificador diferencial;
- La Fig. 7 un diagrama de bloques de un sensor de campo magnético según un ejemplo de realización de la presente invención;
- 40 La Fig. 8a en un diagrama, la curva de histéresis del núcleo toroidal ferromagnético mostrado en la Fig. 7, indicando un primer punto la primera densidad de flujo magnético y un segundo punto la segunda densidad de flujo magnético;
- 45 La Fig. 8b en un diagrama, la curva de histéresis del núcleo toroidal ferromagnético mostrado en la Fig. 7, indicando un primer punto la primera densidad de flujo magnético y un segundo punto la segunda densidad de flujo magnético;
- La Fig. 8c en un diagrama, la curva de histéresis del núcleo toroidal ferromagnético mostrado en la Fig. 7, indicando un primer punto la primera densidad de flujo magnético y un segundo punto la segunda densidad de flujo magnético; y
- 50 La Fig. 9 en un diagrama, el desarrollo de la tensión triangular, de la tensión de partida del amplificador diferencial y de la tensión de salida del detector de valor pico.
- 55

En la siguiente descripción, los elementos iguales o con la misma función se provén en las figuras de las mismas referencias, de manera que su descripción es intercambiable entre sí en los diferentes ejemplos de realización.

- 60 La Fig. 5 muestra un diagrama de bloques de un sensor de campo magnético 100 según un ejemplo de realización de la presente invención. El sensor de campo magnético 100 presenta un primer recorrido de corriente 116, un segundo recorrido de corriente 118, un generador de señal 106 y una instalación de evaluación 108. El primer recorrido de corriente 116 presenta una primera zona de bobina 102 y el segundo recorrido de corriente 118, una segunda zona de bobina 104, presentando la primera zona de bobina 102 bobinados en una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética 110, y presentando la segunda zona de bobina 104

bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética 110. El generador de señal 106 está configurado para poner a disposición una corriente de excitación i , la cual se divide en un primer y en un segundo recorrido de corriente 116 y 118. La instalación de evaluación 108 está configurada para detectar una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina 102 y 104, y para detectar basándose en la tensión, un campo magnético externo 114.

Dicho con otras palabras, en los ejemplos de realización, el sensor de campo magnético 100 presenta una primera y una segunda zona de bobina 102 y 104, un generador de señal 106 y una instalación de evaluación 108. La primera zona de bobina 102 presenta bobinados 103_1 a 103_n en una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética 110, presentando la segunda zona de bobina 104 bobinados 105_1 a 105_m en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética 112. El generador de señal 106 está configurado para imprimir una primera corriente i_1 en la primera zona de bobina 102 y una segunda corriente i_2 en la segunda zona de bobina 104. La instalación de evaluación 108 está configurada para detectar una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina 102 y 104, y para detectar basándose en la tensión, un campo magnético externo 114.

En los ejemplos de realización, la primera zona de bobina 102 presenta bobinados 103_1 a 103_n con una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética 110, presentando la segunda zona de bobina 104 bobinados 105_1 a 105_n en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética 112. Mediante la puesta a disposición de una corriente de excitación, que se divide en el primer recorrido de corriente y en el segundo recorrido de corriente, resulta en la primera zona de bobina 102 un primer campo magnético con una primera intensidad de campo magnética H_1 (en el interior de la primera zona de bobina 102), debido a lo cual se magnetiza la primera zona de núcleo magnética 110 y aumentando una primera densidad de flujo magnético B' en la primera zona de núcleo magnética 110 en lo que a su valor se refiere, mientras que en la segunda zona de bobina 102 se produce un segundo campo magnético con una segunda intensidad de campo magnética H_2 (en el interior de la segunda zona de bobina 102), debido a lo cual también se magnetiza la segunda zona de núcleo magnética 112 y aumenta en lo que a su valor se refiere, una segunda densidad de flujo magnético B'' en la segunda zona de núcleo magnética 110. Debido a que la primera zona de bobina 102 presenta bobinados en una primera dirección de bobinado, mientras que la segunda zona de bobinado 104 presenta bobinados en una segunda dirección de bobinado, la primera intensidad de campo magnética H_1 está dirigida en una primera dirección, mientras que la segunda intensidad de campo magnética H_2 está dirigida en una segunda dirección. En presencia de un campo magnético externo con una intensidad de campo magnética H_{ext} externa, se superponen la primera intensidad de campo magnética H_1 y la intensidad de campo magnética H_{ext} externa en dependencia de la dirección de la intensidad de campo magnética H_{ext} externa y de la primera corriente i_1 , por ejemplo, constructivamente (o de forma destructiva), con lo cual se aumenta (o se reduce) la primera densidad de flujo magnético B' , mientras que la segunda densidad de flujo magnético y la densidad de flujo magnético del campo magnético externo se superponen en dependencia de la dirección de la intensidad de campo magnética H_{ext} y de la segunda corriente i_2 destructivamente (o de forma constructiva), debido a lo cual, la segunda densidad de flujo magnético B'' se reduce (o aumenta). Esto conduce a que en el caso de una corriente de excitación correspondiente, que se divide en el primer recorrido de corriente y en el segundo recorrido de corriente, la primera zona de núcleo magnética alcanza la saturación en un primer punto temporal, mientras que la segunda zona de núcleo magnética 112 alcanza la saturación en otro punto temporal. Entre el primer punto temporal, en el que alcanza la saturación la primera zona de núcleo magnética 110 y el segundo punto temporal, en el que alcanza la saturación la segunda zona de núcleo magnética 112, la primera zona de bobina 102 y la segunda zona de bobina 104 presentan diferentes propiedades eléctricas, de manera que la unidad de evaluación 108 puede detectar basándose en la diferencia de tensión entre la primera zona de bobina 102 y la segunda zona de bobina 104, el campo magnético externo des.

En ejemplos de realización, el generador de señal 106 puede estar configurado para poner a disposición una corriente de excitación i , que se divide en el primer recorrido de corriente 116 y en el segundo recorrido de corriente 118. De esta forma, por el primer recorrido de corriente 116 fluye una primera corriente i_1 y por el segundo recorrido de corriente i_2 una segunda corriente. La suma de la primera corriente i_1 y de la segunda corriente i_2 puede ser en este caso igual a la corriente de excitación i ($i = i_1 + i_2$). En ejemplos de realización, el primer recorrido de corriente 116 y el segundo recorrido de corriente 118 pueden ser simétricos, de manera que la corriente de excitación i se divide uniformemente en el primer recorrido de corriente 116 y en el segundo recorrido de corriente 118 ($i_1 = i_2$).

En ejemplos de realización, la primera dirección de bobinado y la segunda dirección de bobinado pueden ser diferentes, por ejemplo, tener sentido contrario. Los bobinados 103_1 a 103_n de la primera zona de bobina 102 pueden estar dispuestos por ejemplo, de forma helicoidal (o en forma de tornillo) en sentido horario alrededor de la primera zona de núcleo 110, mientras que los bobinados 105_1 a 105_m de la segunda zona de bobina 104 pueden estar dispuestos de forma helicoidal (o en forma de tornillo) en sentido antihorario alrededor de la segunda zona de núcleo 112.

La primera zona de bobina 102 y la segunda zona de bobina 104 pueden extenderse además de ello, esencialmente en paralelo entre sí. De esta forma un campo magnético externo 114 con una intensidad de campo magnética externa H_{ext} , que se extiende esencialmente en paralelo con respecto a la primera y a la segunda zona de bobina

102 y 104, podría conducir por ejemplo, a una superposición constructiva (o destructiva) de la primera intensidad de campo magnética H_1 de la primera zona de bobina 102 y de la intensidad de campo magnética H_{ext} del campo magnético externo 114, y a una superposición destructiva (o constructiva) de la segunda intensidad de campo magnética H_2 de la segunda zona de bobina 104 y de la intensidad de campo magnética H_{ext} del campo magnético externo 114. El sensor de campo magnético 100 también puede usarse naturalmente para detectar un campo magnético externo 114, cuya densidad de flujo magnético se extiende en un ángulo α con respecto a la primera y/o a la segunda zona de bobina 102 y 104, pudiendo ser el ángulo α inferior a 80° , 70° , 60° , 50° , 40° , 30° , 20° , 10° , 5° , 3° o 1° .

Además de ello, una cantidad n de bobinados (número de bobinados) 103_1 a 103_n de la primera zona de bobina 102 puede ser igual a la cantidad m de bobinados (número de bobinados) 105_1 a 105_m de la segunda zona de bobina 104 ($n = m$), pudiendo ser n y m números naturales. La primera y la segunda zona de bobina 102 y 104 pueden presentar por ejemplo respectivamente, más de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 o 1000 bobinados. Naturalmente la primera y la segunda zonas de bobina 102 y 104 también pueden presentar diferentes números de bobinados, reduciéndose en este caso la sensibilidad del sensor de campo magnético 100.

En ejemplos de realización, el sensor de campo magnético 100 puede presentar un núcleo magnético, que comprende la primera y la segunda zona de núcleo magnética 110 y 112. Dicho con otras palabras, el sensor de campo magnético 100 puede presentar un núcleo magnético 134 (véanse por ejemplo, las Figs. 6a y 7), conformando una primera zona del núcleo magnético la primera zona de núcleo magnética 110, y conformando una segunda zona del núcleo magnético la segunda zona de núcleo magnética 112. El núcleo magnético puede ser por ejemplo, un núcleo toroidal ferromagnético o ferrimagnético, pudiendo conformar zonas opuestas (por ejemplo, separadas una de la otra) del núcleo toroidal, la primera zona de núcleo 110 y la segunda zona de núcleo 112.

En ejemplos de realización, el núcleo magnético puede ser por ejemplo, un núcleo toroidal, un núcleo de banda doble (en inglés: *double strip core*), un núcleo de barras doble (en inglés: *double rod core*), un núcleo rectangular, un núcleo cuadrado, un núcleo hexagonal o un núcleo octogonal.

En ejemplos de realización, el sensor de campo magnético 100 puede presentar un primer y un segundo núcleo magnético, comprendiendo el primer núcleo magnético la primera zona de núcleo 110, y comprendiendo el segundo núcleo magnético la segunda zona de núcleo. Dicho con otras palabras, el sensor de campo magnético 100 puede presentar un primer y un segundo núcleo magnético, conformando al menos una zona del primer núcleo magnético la primera zona de núcleo, y conformando al menos una zona del segundo núcleo magnético la segunda zona de núcleo. El primer y el segundo núcleo magnético pueden ser por ejemplo, núcleos ferromagnéticos o ferrimagnéticos.

En ejemplos de realización, el sensor de campo magnético 100 puede presentar una primera y una segunda bobina, comprendiendo la primera bobina la primera zona de bobina 102, y comprendiendo la segunda bobina la segunda zona de bobina 104. Dicho con otras palabras, el sensor de campo magnético 100 puede presentar una primera y una segunda bobina, conformando al menos una parte de la primera bobina, la primera zona de bobina 102, y conformando al menos una zona de la segunda bobina, la segunda zona de bobina 104. La primera zona de bobina 102 puede ser de esta forma, la zona de la primera bobina que presenta bobinados 103_1 a 103_n alrededor de la primera zona de núcleo magnética 110, mientras que la segunda zona de bobina 112, puede ser la zona de la segunda bobina que presenta bobinados 105_1 a 105_m alrededor de la segunda zona de núcleo magnética 112.

La Fig. 6a muestra un diagrama de bloques de un sensor de campo magnético 100 según otro ejemplo de realización de la presente invención. El sensor de campo magnético 100 presenta una primera y una segunda bobina 102 y 104, conformando la primera bobina 102 la primera zona de bobina 102 y conformando la segunda bobina 104 la segunda zona de bobina 104.

El sensor de campo magnético 100 puede presentar además de ello, una conexión en puente, conformando el primer recorrido de corriente 116 un primer ramal de puente 116 de la conexión en puente y conformando el segundo recorrido de corriente 118 un segundo ramal de puente de la conexión en puente 118. La instalación de evaluación 108 puede estar configurada para detectar la tensión entre el primer y el segundo ramal de puente 116 y 118. El sensor de campo magnético 100 puede presentar además de ello, un primer y un segundo resistor 120 (R_1) y 122 (R_2), comprendiendo el primer ramal de puente 116 el primer resistor 120 y el segundo ramal de puente 118 el segundo resistor 122.

El primer y el segundo ramal de puente 116 y 118 pueden estar respectivamente conectados en serie entre una conexión de referencia 124 y el generador de señal 106, pudiendo estar configurada la conexión de referencia 124, para poner a disposición un potencial de referencia. La conexión de referencia 124 puede ser por ejemplo, una conexión a tierra 124, la cual está configurada para poner a disposición un potencial a tierra. La conexión de referencia 124 puede poner a disposición también naturalmente otro potencial.

El generador de señal 106 puede estar configurado para generar una tensión triangular, basándose la primera y la segunda corriente i_1 e i_2 en la tensión triangular. El generador de señal 106 puede presentar por ejemplo, una fuente de tensión triangular 126, la cual está configurada para poner a disposición la tensión triangular. En este caso, el primer y el segundo resistor 120 y 122 pueden aprovecharse para ajustar la primera y la segunda corriente i_1 e i_2 .

La instalación de evaluación 108 puede presentar un intensificador diferencial 128, el cual está configurado para detectar y amplificar la diferencia de tensión entre la primera y la segunda zona de bobina 102 y 104, para obtener una tensión de partida U_{imp} (tensión de impulso).

Mediante la impresión de la primera corriente i_1 en la primera bobina 102, se genera un primer campo magnético con una primera intensidad de campo magnética H_1 (en el interior de la primera zona de bobina 102), debido a lo cual la primera zona de núcleo magnética 110 se magnetiza y aumenta en lo que a su valor se refiere, la primera densidad de flujo magnético B' en la primera zona de núcleo magnética 110. Mediante la impresión de la segunda corriente i_2 en la segunda bobina 102, se genera un segundo campo magnético con una segunda intensidad de campo magnética H_2 (en el interior de la segunda zona de bobina 102), debido a lo cual también se magnetiza la segunda zona de núcleo magnética 112 y aumenta en lo que a su valor se refiere, la segunda densidad de flujo magnético B'' en la segunda zona de núcleo magnética 110. La intensidad de campo magnética externa H_{ext} se solapa con la primera intensidad de campo magnética H_1 en dependencia de la dirección de la intensidad de campo magnética externa H_{ext} y de la primera corriente i_1 , por ejemplo, constructivamente (o de forma destructiva), aumentándose la primera densidad de flujo magnético B' (o reduciéndose), mientras que la intensidad de campo magnética externa H_{ext} se solapa con la segunda intensidad de campo magnética H_2 en dependencia de la dirección de la intensidad de campo magnética externa H_{ext} y de la segunda corriente i_2 , por ejemplo, destructivamente (o de forma constructiva), reduciéndose (o aumentándose) la segunda densidad de flujo magnético B'' . Esto conduce a que con correspondiente primera corriente i_1 y segunda corriente i_2 , la primera zona de núcleo magnética 110 alcanza la saturación en un primer punto temporal t_1 , mientras que la segunda zona de núcleo magnética 112 alcanza la saturación en un segundo punto temporal t_2 (véase la Fig. 6c). Entre el primer punto temporal t_1 , en el que la primera zona de núcleo magnética 110 alcanza la saturación y el segundo punto temporal t_2 , en el que alcanza la saturación la segunda zona de núcleo magnética 112, la primera bobina 102 y la segunda bobina 104 presentan diferentes propiedades eléctricas, de manera que la instalación de evaluación 108 puede detectar basándose en la tensión entre la primera bobina 102 y la segunda bobina 104, el campo magnético externo des 114.

La Fig. 6b muestra en un diagrama, el desarrollo de la intensidad de corriente de la primera corriente i_1 , que se imprime en la primera bobina 102, y de la segunda corriente i_2 que se imprime en la segunda bobina 102. En este caso la ordenada describe la intensidad de la corriente, mientras que la abscisa describe el tiempo.

La Fig. 6c muestra en un diagrama, el desarrollo 130' de la primera densidad de flujo magnético B' en la primera zona de núcleo magnética 110 y el desarrollo 130'' de la segunda densidad de flujo magnético B'' en la segunda zona de núcleo magnética 112. En este caso, la ordenada describe la densidad de flujo magnético, mientras que la abscisa describe el tiempo.

En la Fig. 6c puede verse, que en el caso de una primera y segunda corriente i_1 e i_2 positiva, la primera zona de núcleo magnética 110 alcanza la saturación debido a la superposición constructiva de la intensidad de campo magnética externa H_{ext} y de la primera intensidad de campo magnética H_1 ya en el punto temporal t_1 , mientras que la segunda zona de núcleo magnética 112 alcanza la saturación debido a la superposición destructiva de la intensidad de campo magnética externa H_{ext} y la segunda intensidad de campo magnética H_2 solo en el punto temporal t_2 . En correspondencia con ello, la segunda zona de núcleo magnética 112 ya sale de la saturación en el punto temporal t_3 , mientras que la primera zona de núcleo magnética 110 sale de la saturación solo en el punto temporal t_4 .

En el caso de una primera y de una segunda corriente i_1 e i_2 negativas, la segunda zona de núcleo magnética 112 alcanza la saturación ya en el punto temporal t_5 debido a la superposición constructiva de la intensidad de campo magnética externa H_{ext} y de la segunda intensidad de campo magnética H_2 , mientras que la primera zona de núcleo magnética alcanza la saturación solo en el punto temporal t_6 debido a la superposición constructiva de la intensidad de campo magnética externa H_{ext} y de la primera intensidad de campo magnética H_1 . En correspondencia con ello, la primera zona de campo magnética 110 ya sale de la saturación en el punto temporal t_7 , mientras que la segunda zona de núcleo magnética 112 solo sale de la saturación en el punto temporal t_8 .

La Fig. 6d muestra en un diagrama, el desarrollo de la tensión de partida U_{imp} del amplificador diferencial 128. En este caso, la ordenada describe la tensión, mientras que la abscisa describe el tiempo. Como puede verse en la Fig. 6d, la tensión de partida U_{imp} del amplificador diferencial 128 presenta entre los puntos temporales t_1 y t_2 , t_3 y t_4 , t_5 y t_6 , y t_7 y t_8 , impulsos de tensión. Los impulsos de tensión aumentan en este caso, cuando una primera zona de las dos zonas de núcleo 110 y 112 alcanza la saturación, y alcanzan su máximo justo antes de que una segunda zona de las dos zonas de núcleo 110 y 112 alcance la saturación. A continuación, los impulsos de tensión caen rápidamente.

Dicho con otras palabras, los ejemplos de realización de la presente invención describen un procedimiento nuevo para llevar a cabo la medición de intensidades de campo magnéticas 114 de forma sencilla y precisa (con resolución temporal alta y con ello de una zona de medición de frecuencia alta).

5 El concepto de sensor desarrollado elimina la bobina secundaria de la topología de conmutación y libera de esta forma la totalidad del sistema de las dependencias existentes hasta el momento en lo que se refiere a la sintonización del circuito oscilante, a una frecuencia de funcionamiento fija o a una limitación de las frecuencias medibles y posibilidades en lo que se refiere a la miniaturización precisamente en el caso de sensores altamente sensibles.

15 Una particularidad esencial de la presente invención, es que más allá del espectro de valores de medición clásico de sensores de flujo magnético existentes, pueden medirse de forma precisa intensidades de campo de campos magnéticos muy débiles. Además de ello, pueden registrarse campos alternantes con frecuencias muy altas.

20 En lo sucesivo se indican mejoras esenciales de ejemplos de realización de la presente invención, frente a tecnologías existentes. En primer lugar, los ejemplos de realización permiten una realización del sensor de flujo magnético 100 con solo un bobinado de bobina (bobina primaria dividida). En segundo lugar, los ejemplos de realización permiten elegir libremente la frecuencia para la corriente de excitación en la bobina primaria (magnetización). En tercer lugar, en los ejemplos de realización no se requiere ninguna sintonización de circuito oscilante (dado que se suprime la bobina secundaria). En cuarto lugar, los ejemplos de realización permiten una ampliación del espectro de frecuencia medible (desde una zona de baja frecuencia, hasta una zona de alta frecuencia, por ejemplo, de DC a 1 MHz, o incluso hasta el infinito, en lugar de hasta ahora algunos 10 kHz). La ampliación de la medición de campos alternantes magnéticos externos puede producirse de esta forma desde el límite hasta el momento de algunos 10 kHz (tecnología clásica) teóricamente sin limitaciones (debido al principio de sensor). Las únicas limitaciones son el generador de señal y la unidad de evaluación. En quinto lugar, los ejemplos de realización presentan una sensibilidad mejorada sin un número de bobinados mayor. En sexto lugar, los ejemplos de realización presentan dimensiones más pequeñas con sensibilidad alta. En séptimo lugar, en los ejemplos de realización logran mayor flexibilidad en lo que se refiere a la configuración geométrica del sensor de flujo magnético 100. En noveno lugar, los ejemplos de realización presentan una capacidad de resolución temporal mejorada. En décimo lugar, los ejemplos de realización permiten una medición precisa también de campos magnéticos muy débiles.

35 A diferencia de sensores de flujo magnético conocidos, el sensor magnético según la invención no presenta ningún acoplamiento capacitivo en los recorridos de corriente. Además de ello, se mide a diferencia de sensores de flujo magnético conocidos, la diferencia de tensión solo a través de las bobinas 102 y 104. Además de ello, se excitan a diferencia de sensores de flujo magnético conocidos, los recorridos de corriente 102 y 104 en paralelo.

40 El principio de solución esencial de la invención presentada consiste en detectar la medición de campos magnéticos 114 a través de una modificación de intensidad de corriente en una bobina (primaria) 102 y 104 dividida, la cual está bobinada sobre un núcleo toroidal 134. La medición no se produce por lo tanto como hasta ahora en el caso de sensores de flujo magnético clásicos, a través de la detección de una tensión inducida en una bobina secundaria. La modificación de la intensidad de corriente resulta debido a la superposición de campos magnéticos externos 114 y una magnetización inducida en el núcleo toroidal 134.

50 Los sensores de flujo magnético, los cuales consisten en un núcleo toroidal a partir de materiales magnéticos blandos, ya se conocen en la investigación en el ámbito magnético desde hace tiempo [P. Ripka. *Magnetic Sensors and Magnetometers*. Artech House Publishers, 81-83, 2001]. Este tipo del sensor de flujo magnético ya es muy sensible. En la investigación experimental, pueden llevarse a cabo con este tipo de sensores de flujo magnético, mediciones con ruido magnético reducido. Esta característica también es tenida en cuenta y puesta en práctica en la presente invención.

55 El núcleo toroidal 134 se fabricó con una forma ovalada y consiste en algunos bobinados de una cinta magnética blanda delgada con muy alta permeabilidad magnética. La cinta está fabricada a partir de una aleación de cobalto y hierro, que está caracterizada por una alta permeabilidad magnética μ y por una intensidad de campo coercitiva baja. Este tipo de aleaciones tienen un nivel de ruido magnético bajo y presentan solo una reducida medida de anisotropía. Estas aleaciones disponen además de ello, de buena estabilidad a la temperatura y de una resistencia específica alta. Ésta hace el núcleo 134 particularmente adecuado para el uso en el caso de altas frecuencias.

60 Para la detección y la medición de tensiones inducidas, las cuales resultan debido a la superposición de campos magnéticos en el interior del núcleo toroidal 134 de un sensor de flujo magnético, se usa de forma constructiva clásica, como elemento esencial, una bobina secundaria. Este concepto representa no obstante, una realización complicada de sensores de flujo magnético. La presente invención describe un método nuevo, en el que puede

renunciarse al uso de una bobina secundaria y solo se usa una bobina primaria dividida 102 y 104, la cual está dispuesta sobre un núcleo toroidal 134. La medición de la superposición de campos magnéticos en el interior del núcleo toroidal 134, se mide en este caso entonces a través de la modificación de la intensidad de corriente en la bobina primaria divide 102 y 104.

5 La Fig. 7 muestra un diagrama de bloques de un sensor de campo magnético 100 según un ejemplo de realización de la presente invención. El sensor de campo magnético 100 presenta una primera bobina 102 con bobinados en una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética 110 de un núcleo toroidal magnético 134, una segunda bobina 104 con bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una
10 segunda zona de núcleo magnética 112 del núcleo toroidal magnético 134, un primer resistor 120, un segundo resistor 122, un generador de señal 106 y una instalación de evaluación 108. La primera bobina 102 y el primer resistor 120 están conectados en línea y conforman un primer ramal de puente 116 de una conexión en puente. La segunda bobina 104 y el segundo resistor 122 están conectados en línea y conforman un segundo ramal de puente 118 de la conexión en puente. El primer y el segundo ramal de puente 116 y 118 están conectados en este caso
15 respectivamente en línea entre una conexión de referencia 124 y el generador de señal 126. El generador de señal 106 presenta una fuente de tensión triangular 126, la cual está configurada para aplicar una tensión triangular U_a en el primer y en el segundo ramal de puente 116 y 118. La instalación de evaluación 108 presenta un amplificador diferencial 128, el cual está configurado para detectar una tensión entre el primer y el segundo ramal de puente 116 y 118 y para amplificarla, para mantener una tensión de partida U_{imp} . La instalación de evaluación 108 presenta además de ello, un detector de valor pico 132, el cual está configurado para detectar un valor pico de la tensión de partida U_{imp} del amplificador diferencial 128 y para trasladar el valor pico detectado como tensión de partida U_0 a la instalación de evaluación 108. Dicho con otras palabras, la instalación de evaluación 108 presenta un detector de valor pico 132, el cual está configurado para detectar un valor pico de la tensión de partida U_{imp} del amplificador diferencial 128 y para mantenerlo (por ejemplo, para un periodo de tiempo predeterminado o hasta la detección de un valor pico que sucede temporalmente al valor pico) (línea rayada 150 en la Fig. 9). El valor pico de la tensión de partida U_{imp} es en este caso una medida para el campo magnético exterior 114 o para la densidad de flujo magnético exterior B_{ext} (véase la Fig. 9).

30 Dicho con otras palabras, el sensor 100 comprende un núcleo toroidal amorfo o ferromagnético 134 y una bobina primaria dividida (bobinas de excitación N_1 (102) y N_2 (104)). Las bobinas 102 y 104 se encuentran en dos lados del núcleo toroidal 134. A las bobinas N_1 y N_2 está conectado el generador 106 de una señal triangular a través de los resistores 120 y 122, el cual genera la tensión alterna U_a para el campo auxiliar magnético excitante y con ello imprime la corriente de magnetización I_a (i_1) e (i_2) en la bobina primaria.

35 Los resistores R_1 y R_2 sirven como divisores de corriente y para la delimitación de la corriente de las bobinas. En los dos recorridos de corriente a través de R_1 y N_1 , así como a través de R_2 y N_2 , resulta respectivamente un divisor de tensión para U_a . Este divisor de tensión es igual, cuando no predomina ningún campo magnético externo 114. Cuando actúa un campo magnético externo, resulta en los bobinados de bobina de la bobina primaria dividida 102 y 104, una tensión inducida. Debido a las disposiciones N_1 y N_2 opuestas geoméricamente, resulta en las dos
40 bobinas 102 y 104 una superposición constructiva o destructiva con el campo magnético externo 114. Esto conduce a que la magnetización del núcleo toroidal 134 pueda adoptar en N_1 y N_2 diferentes intensidades en el bucle de histéresis (véanse las Figs. 8a a 8c) y con ello presente diferente reserva para la saturación magnética.

$$B' = B_{ext} + B_{in}$$

$$B'' = B_{ext} - B_{in}$$

45 La Fig. 8a muestra en un diagrama, la curva de histéresis 140 del núcleo toroidal ferromagnético 134 mostrado en la Fig. 7, caracterizando un primer punto 130' la primera densidad de flujo magnético B' y un segundo punto 130'' la segunda densidad de flujo magnético B'' . La ordenada describe en este caso la densidad de flujo magnético, mientras que la abscisa describe la intensidad de campo magnética. En el ejemplo mostrado en la Fig. 8a, puede verse que la primera densidad de flujo magnético B' en la primera zona de núcleo magnética 110, es mayor que la segunda densidad de flujo magnético B'' en la segunda zona de núcleo magnética 112. Una superposición constructiva del campo magnético externo H_{ext} y del primer campo magnético H_1 de la primera bobina 102 conduce de esta forma a un aumento de la primera densidad de flujo magnético B' , mientras que una superposición destructiva del campo magnético externo H_{ext} y del segundo campo magnético H_2 de la segunda bobina 104
50 conduce a una reducción de la segunda densidad de flujo magnético B'' .

La Fig. 8b muestra en un diagrama, la curva de histéresis 140 del núcleo toroidal ferromagnético 134 mostrado en la Fig. 7, caracterizando un primer punto 130' la primera densidad de flujo magnético B' y un segundo punto 130'' la segunda densidad de flujo magnético B'' . La ordenada describe en este caso la densidad de flujo magnético, mientras que la abscisa describe la intensidad de campo magnética. En el ejemplo mostrado en la Fig. 8b, puede

verse que un aumento de la primera y de la segunda corriente i_1 e i_2 conduce a un aumento de la primera densidad de flujo magnético B' y de la segunda densidad de flujo magnético B'' , estando ya en saturación la primera zona de núcleo magnética 110.

5 La Fig. 8c muestra en un diagrama, la curva de histéresis 140 del núcleo toroidal ferromagnético 134 mostrado en la Fig. 7, caracterizando un primer punto 130' la primera densidad de flujo magnético B' y un segundo punto 130'' la segunda densidad de flujo magnético B'' . La ordenada describe en este caso la densidad de flujo magnético, mientras que la abscisa describe la intensidad de campo magnética. En el ejemplo mostrado en la Fig. 8c, puede
10 verse que otro aumento de la primera y de la segunda corriente i_1 e i_2 conduce a otro aumento de la segunda densidad de flujo magnético B'' y con ello a la saturación de la segunda zona de núcleo magnética 112.

La magnetización de la primera y de la segunda zona de núcleo magnética 110 y 112 de la Fig. 8b se corresponde en este caso con el punto temporal t_1 de la Fig. 6c, mientras que la magnetización de la primera y de la segunda zona de núcleo magnética 110 y 112 de la Fig. 8c se corresponde con el punto temporal t_2 de la Fig. 6c.

15 Dicho con otras palabras, al aumentar la magnetización del núcleo toroidal 134 debido a la corriente de magnetización en la bobina primaria dividida 102 y 104, uno de los dos puntos del núcleo toroidal (en la zona de la bobina N1 o en la zona de la bobina N2) alcanza antes el punto de la magnetización máxima, que el otro (t_1) (véase la Fig. 8b). En este momento de la magnetización máxima del núcleo toroidal 134, la bobina modifica sus propiedades magnéticas, de manera que también se modifica la resistencia eléctrica de la bobina y adopta un valor
20 mínimo.

Debido a ello, la tensión sobre la correspondiente bobina también cae tan fuertemente y modifica de esta forma el divisor de tensión sobre la bobina y la resistencia en el correspondiente recorrido de corriente ($R1 + N1$ o $R2 + N2$).

25 Con corriente de magnetización en continuo aumento en la bobina primaria dividida, el correspondientemente otro punto del núcleo toroidal también alcanza transcurrido un corto tiempo, la magnetización máxima (bucle de histéresis máximo) (véase la Fig. 8c), de manera que se equilibran las propiedades eléctricas de las bobinas N1 y N2 y conducen a una compensación de las diferencias de divisor de tensión en los dos recorridos de corriente (t_2).

30 El amplificador diferencial detecta las diferencias de tensión a través de las dos bobinas N1 y N2 (véase la Fig. 9). Durante el corto periodo de tiempo entre t_1 ($t_{B'máx}$) y t_2 ($t_{B''máx}$), se mide una diferencia de tensión en la entrada debido a las propiedades eléctricas diferentes de N1 y N2. La salida del amplificador diferencial se suministra a un detector de pico 132 que posibilita una resolución temporal alta para las señales tipo pulsación que hacen su
35 aparición.

El uso de una tensión triangular como señal de excitación permite una alineación lineal muy buena para la magnetización del núcleo toroidal.

40 Ejemplos de realización de la presente invención se refieren a un dispositivo y a un procedimiento para la construcción de un sensor de flujo magnético que se basa en una construcción de núcleo toroidal.

Otros ejemplos de realización se refieren al uso de un bobinado de bobina sencillo (en el caso de sensores de flujo magnético clásicos se usan una bobina primaria alrededor del núcleo toroidal y una bobina secundaria alrededor de la bobina primaria, compárese la Fig. 1a).

50 En ejemplos de realización, la bobina primaria puede usarse como bobina de excitación y al mismo tiempo de detección (en el caso de sensores de flujo magnético clásicos la bobina primaria solo se usa para la excitación, la bobina secundaria solo para la detección de la bobina inducida magnéticamente).

Otros ejemplos de realización se refieren a la medición de la intensidad de campo magnético basándose en modificaciones de corriente en la bobina primaria dividida como superposición de efecto de campo magnético externo y de la magnetización de excitación en el núcleo toroidal (en el caso de los sensores de flujo magnético clásicos se mide la intensidad de campo magnético como efecto de la tensión inducida magnéticamente en la bobina
55 secundaria).

En los ejemplos de realización es posible una selección de frecuencia libre para la corriente de excitación y la medición sin calibración (los sensores de flujo magnético clásicos tienen que manejarse debido a la sintonización de bobina primaria y secundaria con una frecuencia fija).

60 Los ejemplos de realización permiten una ampliación de la zona de medición con respecto a la frecuencia del campo magnético externo especialmente en el caso de sensores sensibles (los sensores de flujo magnético clásicos con una sensibilidad alta requieren una cantidad de bobinados alta para la bobina secundaria y tienen debido a ello una limitación en lo que se refiere a la frecuencia máxima medible en relación con el campo magnético externo).

En ejemplos de realización, el sensor de flujo magnético presenta incluso en caso de dimensiones pequeñas, una alta sensibilidad (los sensores de flujo magnético clásicos requieren para una alta sensibilidad, una alta cantidad de bobinados para la bobina secundaria y tienen debido a ello grandes dimensiones).

5 Ejemplos de realización presentan una alta resolución temporal para campos magnéticos externos cambiantes debido a puntos de exploración precisos en la señal de detector (los sensores de flujo magnético clásicos ofrecen como señal de partida de la bobina secundaria una señal sinusoidal con una frecuencia fija que está modulada en amplitud debido al campo magnético externo y que solo permite una resolución temporal determinada).

10 Ejemplos de realización de la presente invención logran un procedimiento sencillo, preciso y económico para la medición de intensidades de campo magnético muy débiles (en el rango de pT).

15 El sensor de campo magnético según la invención es particularmente adecuado para la medición de señales biomagnéticas (por ejemplo, cardiograma magnético (MKG)). El sensor de campo magnético 100 según la invención posibilita además de ello, mediciones esencialmente más sencillas de señales biomagnéticas en comparación con métodos clásicos, como por ejemplo, SQUIT.

20 Ejemplos de realización de la presente invención se refieren a un sensor para la medición de campos magnéticos. En el foco del escenario de aplicación, el uso de un sensor lo suficientemente sensible representa la medición de señales magnéticas muy débiles. Para el sensor magnético, los objetivos mencionados a continuación para la detección de los valores de medición, son por ejemplo, intencionados. En primer lugar, medición de señales biomagnéticas con intensidades de campo mínimas, por ejemplo, la señal magnética producida por el músculo del corazón, el llamado "cardiograma magnético (MKG)". En segundo lugar, mediciones de tiempo restante para probar la eficacia de apantallamiento. En tercer lugar, calibración de electroimanes en bobinas Helmholtz para la
25 la compensación de campo de perturbación. En cuarto lugar, medición precisa de campos magnéticos temporales y representación de los componentes vectoriales, por ejemplo, campo magnético terrestre. En quinto lugar, medición de campos geomagnéticos débiles en minerales. En sexto lugar, uso industrial basándose en procedimientos de medición inductivos o medición de campo magnético, por ejemplo, comprobación de grosores de material o
30 determinación de masa.

Otros ejemplos de realización logran un procedimiento para la detección de un campo magnético externo. En un primer paso se pone a disposición una corriente de excitación, la cual se divide en un primer recorrido de corriente con una primera zona de bobina y en un segundo recorrido de corriente con una segunda zona de bobina,
35 presentando la primera zona de bobina bobinados en una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética, presentando la segunda zona de bobina bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética, y extendiéndose la primera zona de bobina y la segunda zona de bobina, en paralelo entre sí. En un segundo paso, se detecta una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina. En un tercer paso, se detecta el campo magnético externo basándose en la diferencia de
40 tensión entre la primera y la segunda zona de bobina.

Otros ejemplos de realización logran un procedimiento para la detección de un campo magnético externo. En un primer paso se imprime una primera corriente en una primera zona de bobina y una segunda corriente en una segunda zona de bobina, presentando la primera zona de bobina bobinados en una primera dirección de bobinado
45 alrededor de una primera zona de núcleo magnética, y presentando la segunda zona de bobina bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética. En un segundo paso, se detecta una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina. En un tercer paso, se detecta el campo magnético externo basándose en la tensión entre la primera y la segunda zona de bobina.

50 A pesar de que algunos aspectos han sido descritos en relación con un dispositivo, se entiende que estos aspectos también representan una descripción del correspondiente procedimiento, de manera que un bloque o un componente de un dispositivo también ha de entenderse como un paso de procedimiento correspondiente o como una característica de un paso de procedimiento. Análogamente a ello, los aspectos, los cuales se han descrito en relación con uno o como un paso de procedimiento, representan también una descripción de un correspondiente
55 bloque o detalle o característica de un correspondiente dispositivo. Uno o todos los pasos de procedimiento pueden llevarse a cabo mediante un aparato de hardware (o mediante el uso de un aparato de hardware), como por ejemplo, un microprocesador, un ordenador programable o una conmutación electrónica. En algunos ejemplos de realización, pueden configurarse algunos o todos los pasos de procedimiento más importantes mediante un aparato de este tipo.

60 Los ejemplos de realización descritos anteriormente representan solo una ilustración de los principios de la presente invención. Se entiende que las modificaciones y variaciones de las disposiciones y detalles que aquí se describen, quedan claros para otros expertos. Por lo tanto, se tiene la intención de que la invención solo quede limitada por el alcance de la protección de las reivindicaciones que siguen y no por los detalles específicos que se han presentado en este caso mediante la descripción y la explicación de los ejemplos de realización.

65

REIVINDICACIONES

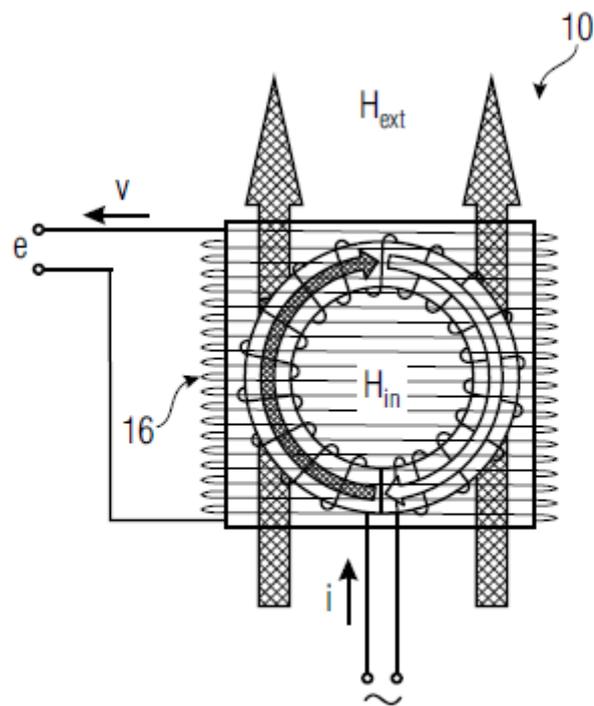
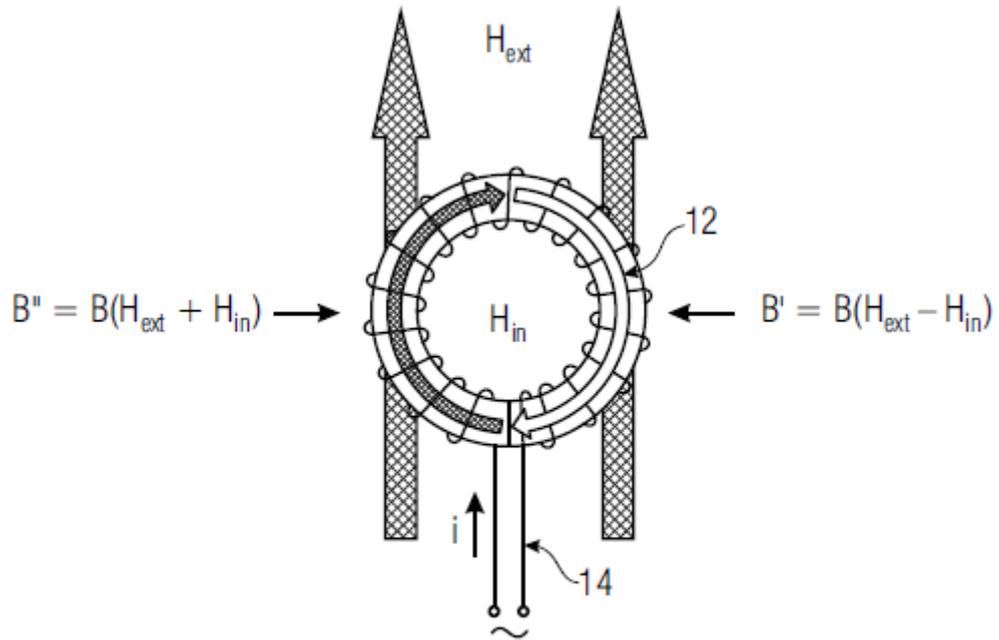
1. Sensor de campo magnético (100), con las siguientes características:

- 5 un primer recorrido de corriente (116) con una primera zona de bobina (102) y un segundo recorrido de corriente (118) con una segunda zona de bobina (104); un generador de señal (106), el cual está configurado para poner a disposición una corriente de excitación (i), que se divide en el primer y segundo recorrido de corriente; y una instalación de evaluación (108), la cual está configurada para detectar una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina (102; 104), y para detectar basándose en la tensión un campo magnético externo (114);
- 10 presentando la primera zona de bobina (102) bobinados en una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética (110), y presentando la segunda zona de bobina (104) bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética (112), y extendiéndose la primera zona de bobina (102) y la segunda zona de bobina (104) en paralelo entre sí, **caracterizado por que** debido a la corriente de excitación, en la primera zona de bobina (102) resulta un primer campo magnético (H1),
- 15 que magnetiza la primera zona de núcleo magnética (110) y que provoca una primera densidad de flujo magnético (B'), que está dirigido en una primera dirección, y por que en la segunda zona de bobina (104) resulta un segundo campo magnético (H2), que magnetiza la segunda zona de núcleo magnética (112) y provoca una segunda densidad de flujo magnético (B''), que está dirigido en una segunda dirección, de manera que debido a un campo magnético externo dirigido en la primera dirección aumenta la primera densidad de flujo magnético (B') en la primera zona de núcleo (110), mientras que la segunda densidad de flujo magnético (B'') en la segunda zona de núcleo (112) se reduce, debido a lo cual, en caso de un aumento simultáneo de la corriente de excitación, la primera zona de núcleo magnética (110) alcanza la saturación en un primer punto temporal, mientras que la segunda zona de núcleo magnética (112) alcanza la saturación en un segundo punto temporal.
- 25 2. Sensor de campo magnético (100) según la reivindicación 1, siendo la primera dirección de bobinado y la segunda dirección de bobinado diferentes.
3. Sensor de campo magnético (100) según la reivindicación 1 o 2, siendo una cantidad de bobinados de la primera zona de bobina (102) igual a una cantidad de bobinados de la segunda zona de bobina (104).
- 30 4. Sensor de campo magnético (100) según una de las reivindicaciones 1 a 3, presentando el sensor de campo magnético (100) un núcleo magnético (134), el cual comprende la primera y la segunda zona de núcleo (110; 112).
5. Sensor de campo magnético (100) según una de las reivindicaciones 1 a 3, presentando el sensor de campo magnético (100) un primer y un segundo núcleo magnético, comprendiendo el primer núcleo magnético la primera zona de núcleo (110), y comprendiendo el segundo núcleo magnético (112) la segunda zona de núcleo.
- 35 6. Sensor de campo magnético (100) según una de las reivindicaciones 1 a 5, presentando el sensor de campo magnético (100) una primera y una segunda bobina (102; 104), comprendiendo la primera bobina (102) la primera zona de bobina (102), y comprendiendo la segunda bobina (104) la segunda zona de bobina (104).
- 40 7. Sensor de campo magnético (100) según una de las reivindicaciones 1 a 6, presentando el sensor de campo magnético (100) una conexión en puente, conformando el primer recorrido de corriente (116) un primer ramal de puente (116) de la conexión en puente y conformando el segundo recorrido de corriente (118) un segundo ramal de puente de la conexión en puente (118), y estando configurada la instalación de evaluación (108) para detectar la tensión entre el primer y el segundo ramal de puente (116; 118).
- 45 8. Sensor de campo magnético (100) según la reivindicación 7, presentando el sensor de campo magnético (100) un primera y un segundo resistor (120; 122), comprendiendo el primer ramal de puente (116) el primer resistor (120) y el segundo ramal de puente (118) el segundo resistor (122).
- 50 9. Sensor de campo magnético (100) según una de las reivindicaciones 1 a 8, estando el primer y el segundo ramal de puente (116; 118) conectados respectivamente en serie entre una conexión de referencia (124) y el generador de señal (106), estando configurada la conexión de referencia (124) para poner a disposición un potencial de referencia.
- 55 10. Sensor de campo magnético (100) según una de las reivindicaciones 1 a 9, estando configurado el generador de señal (106) para generar una tensión triangular, una tensión rectangular o una tensión sinusoidal, siendo dependiente la corriente de excitación (i) de la tensión.
- 60 11. Sensor de campo magnético (100) según una de las reivindicaciones 1 a 10, presentando la instalación de evaluación (108) un amplificador diferencial (128), el cual está configurado para detectar y amplificar la tensión entre la primera y la segunda zona de bobina (102; 104), para obtener una tensión de partida (U_{imp}).
12. Sensor de campo magnético (100) según la reivindicación 11, presentando la instalación de evaluación 108 un

detector de valor pico 132 o un filtro de paso bajo, el cual está configurado para detectar un valor pico de la tensión de partida (U_{imp}), para detectar el campo magnético externo.

13. Procedimiento para detectar un campo magnético externo, con los siguientes pasos:

- 5 puesta a disposición de una corriente de excitación (i), la cual se divide en un primer recorrido de corriente con una primera zona de bobina y en un segundo recorrido de corriente con una segunda zona de bobina, presentando la primera zona de bobina bobinados en una primera dirección de bobinado alrededor de una primera zona de núcleo magnética, presentando la segunda zona de bobina bobinados en una segunda dirección de bobinado alrededor de una segunda zona de núcleo magnética, y extendiéndose la primera zona de bobina y
- 10 la segunda zona de bobina en paralelo entre sí, de manera que mediante la corriente de excitación, en la primera zona de bobina (102) resulta un primer campo magnético (H_1), que magnetiza la primera zona de núcleo magnética (110) y provoca una primera densidad de flujo magnético (B'), que está dirigido en una primera dirección, y en la segunda zona de bobina (104) resulta un segundo campo magnético (H_2), que magnetiza la segunda zona de núcleo magnética (112) y provoca una segunda densidad de flujo magnético (B''), que está
- 15 dirigido en una segunda dirección, de manera que debido a un campo magnético externo dirigido en la primera dirección, aumenta la primera densidad de flujo magnético (B') en la primera zona de núcleo (110), mientras que la segunda densidad de flujo magnético (B'') en la segunda zona de núcleo (112) se reduce, debido a lo cual, en caso de un aumento simultáneo de la corriente de excitación, la primera zona de núcleo magnética (110) alcanza la saturación en un primer punto temporal, mientras que la segunda zona de núcleo magnética (112) alcanza la saturación en un segundo punto temporal;
- 20 detección de una tensión entre la primera y la segunda zona de bobina y detección del campo magnético externo basándose en la tensión entre la primera y la segunda zona de bobina.
- 25 14. Programa de ordenador para llevar a cabo un procedimiento según la reivindicación 13 cuando el programa de ordenador se ejecuta en un ordenador o microprocesador.



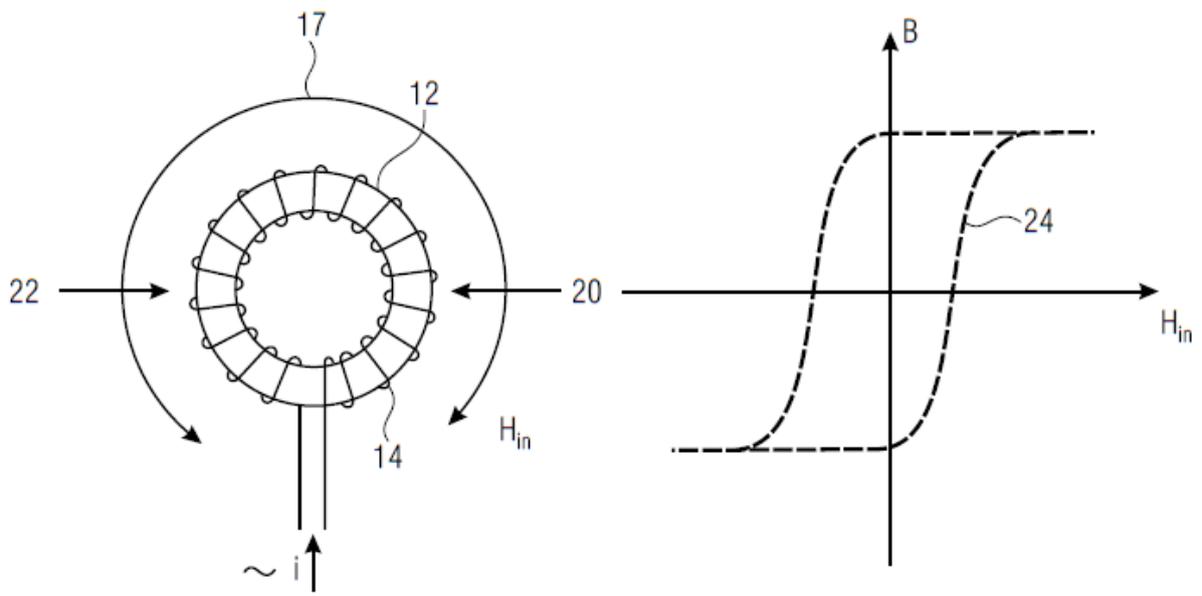


FIG 2A

FIG 2B

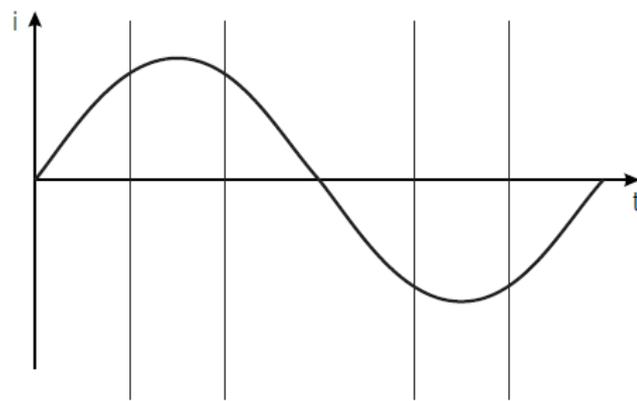


FIG 2C

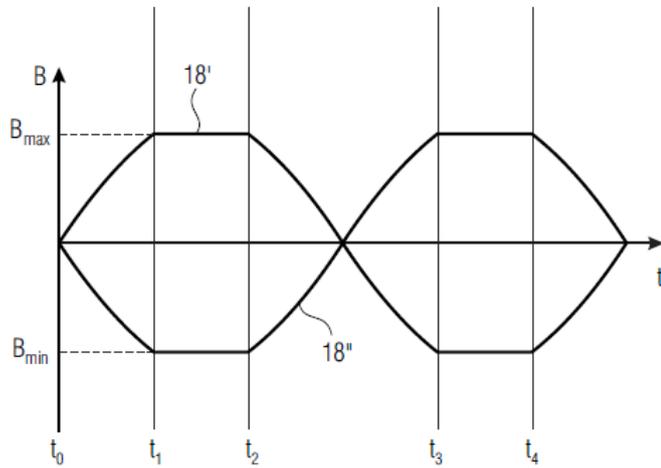


FIG 2D

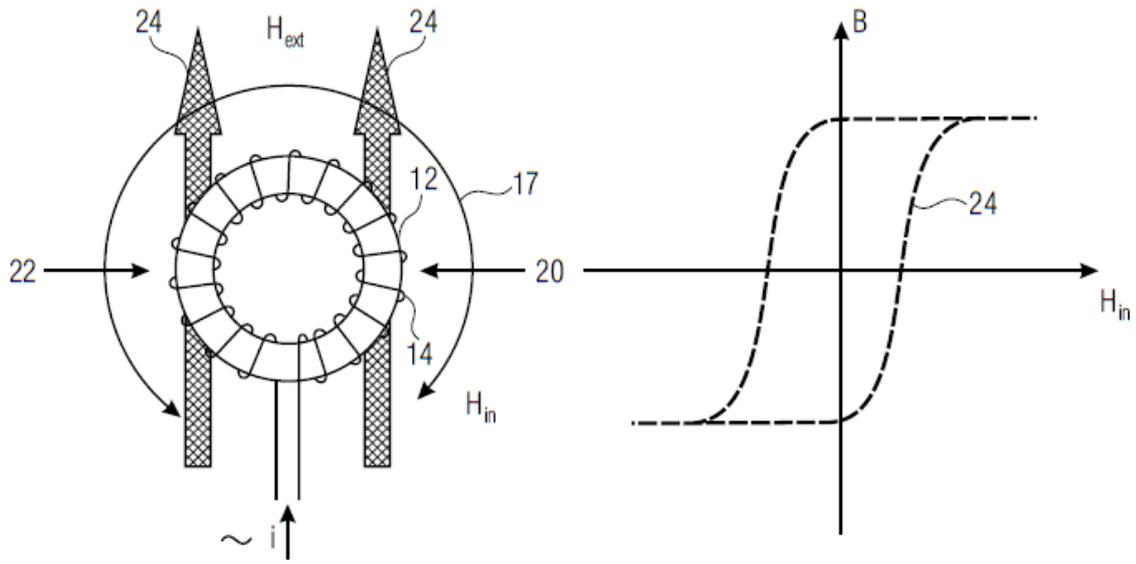


FIG 3A

FIG 3B

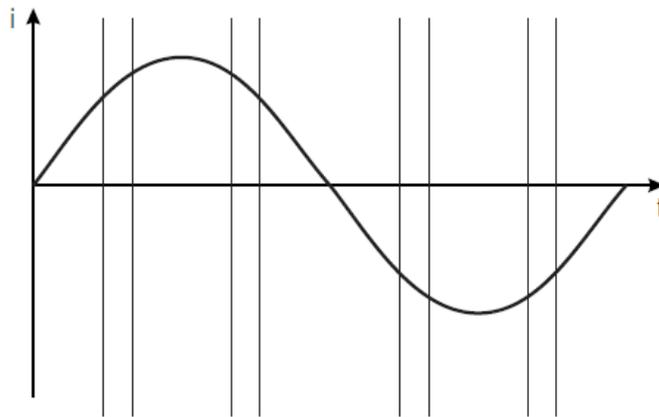


FIG 3C

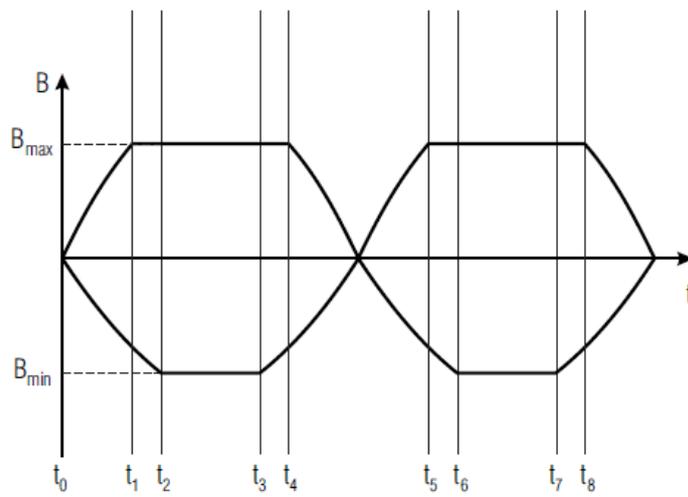


FIG 3D

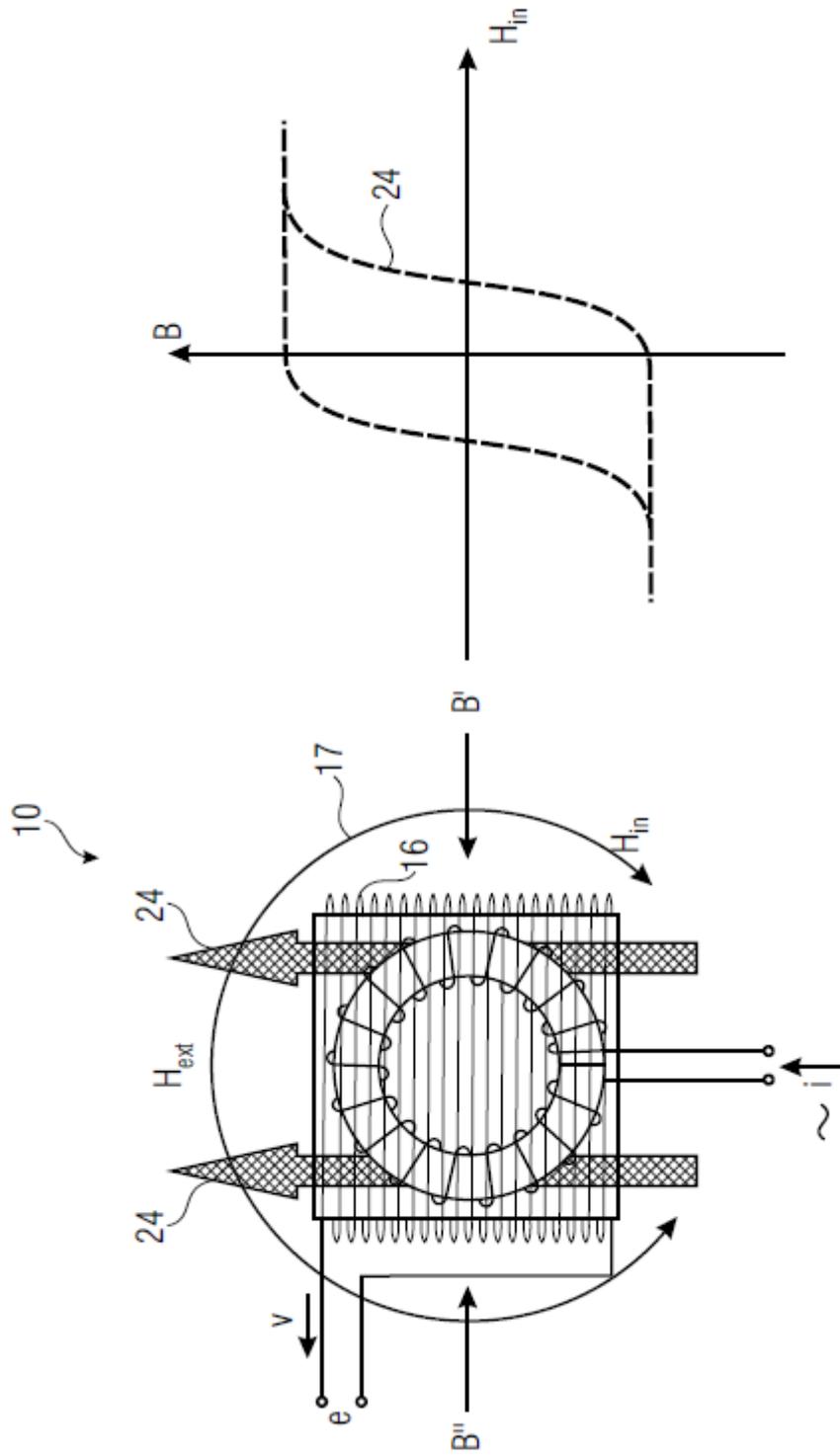


FIG 4B

FIG 4A

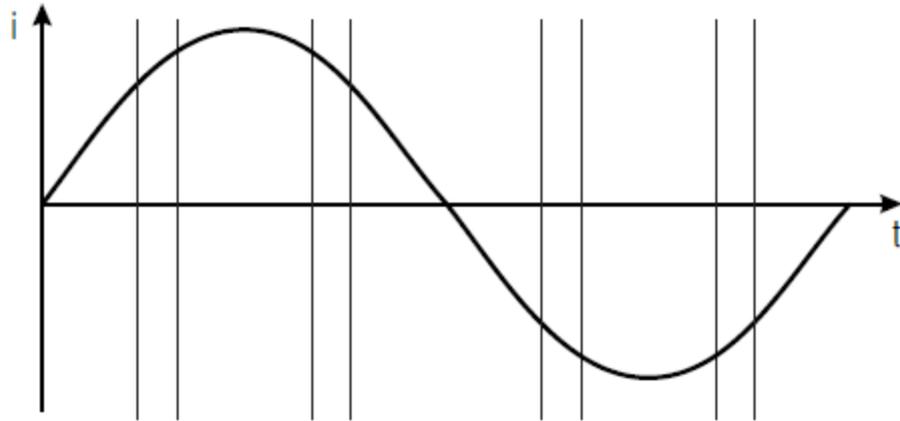


FIG 4C

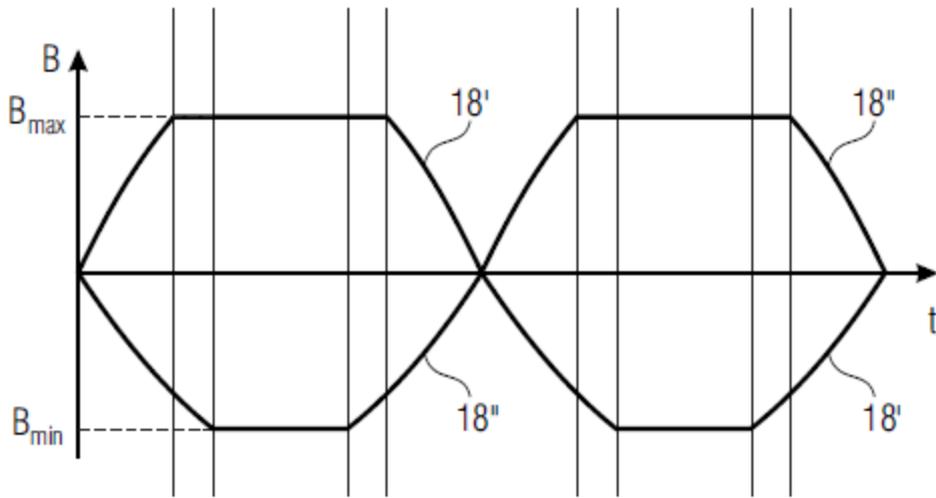


FIG 4D

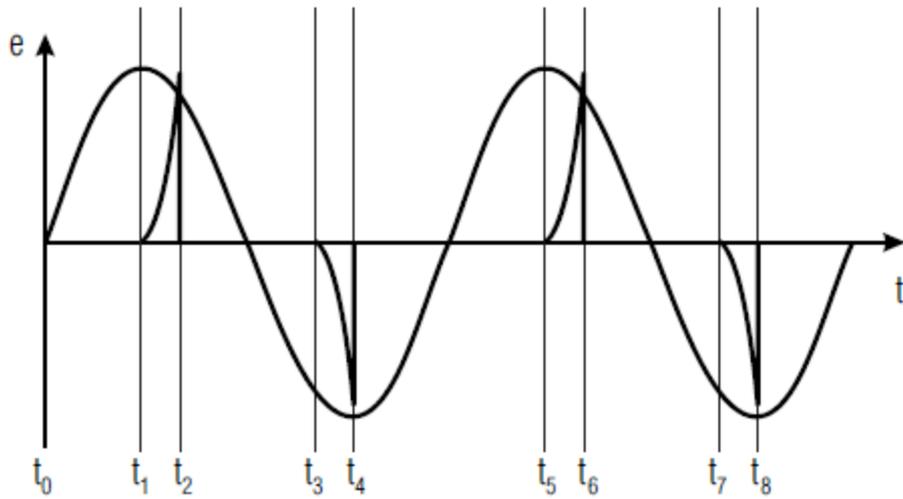


FIG 4E

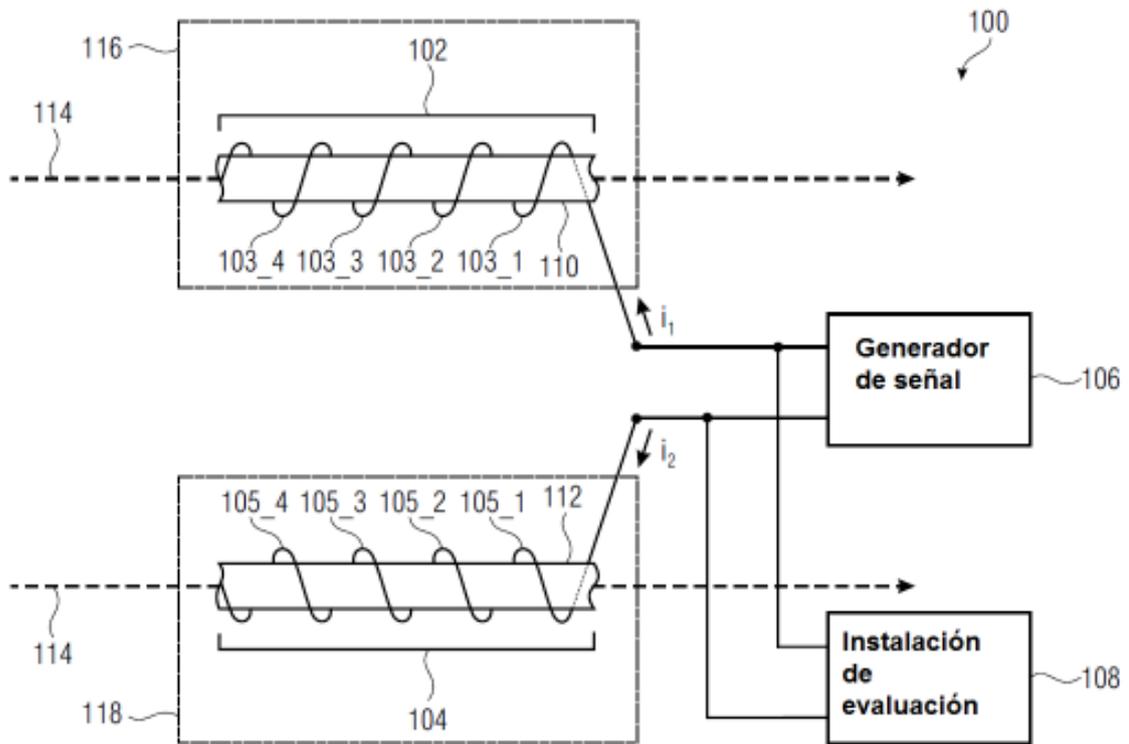


FIG 5

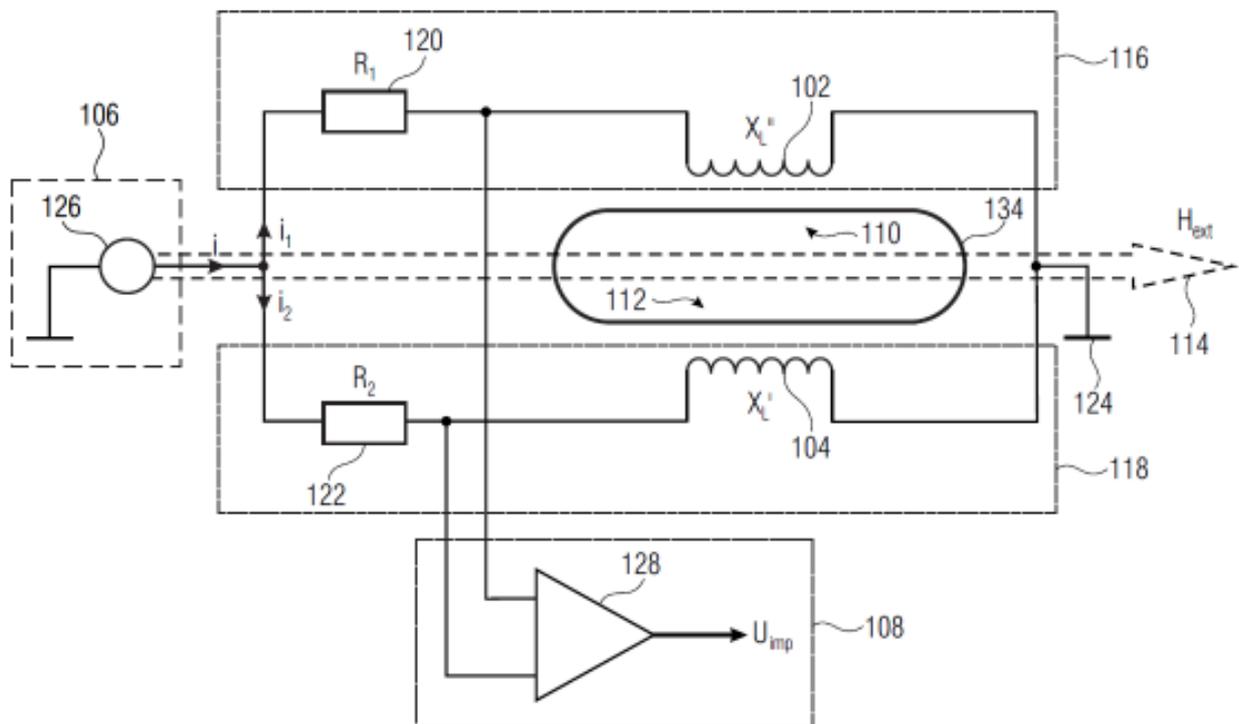


FIG 6A

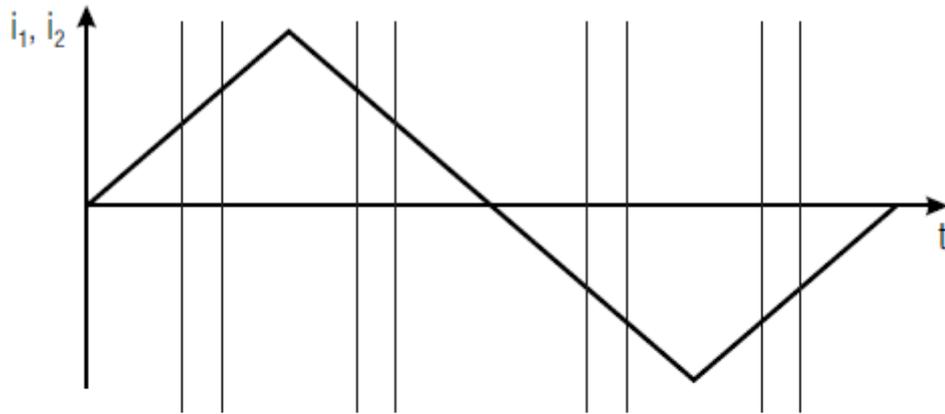


FIG 6B

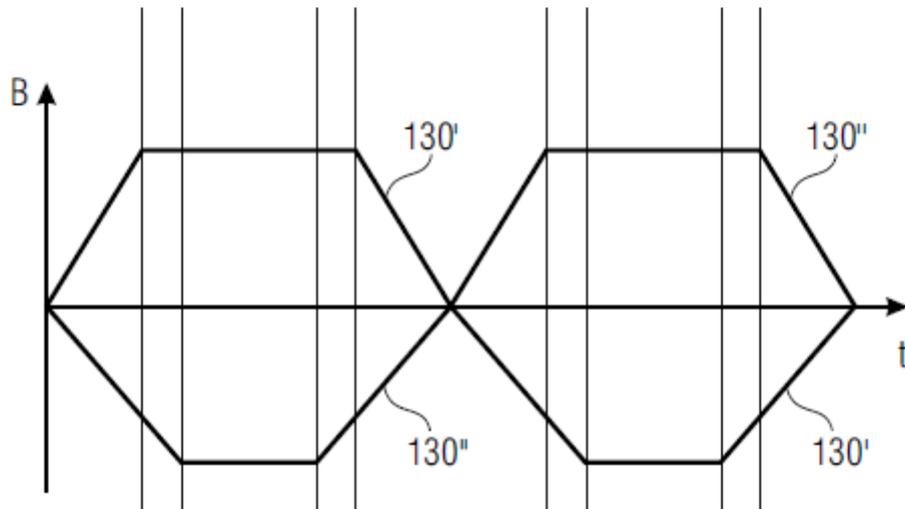


FIG 6C

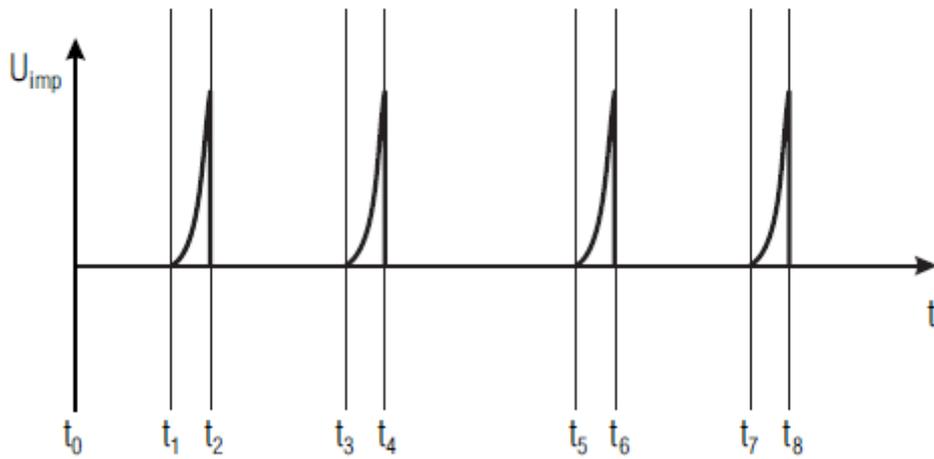


FIG 6D

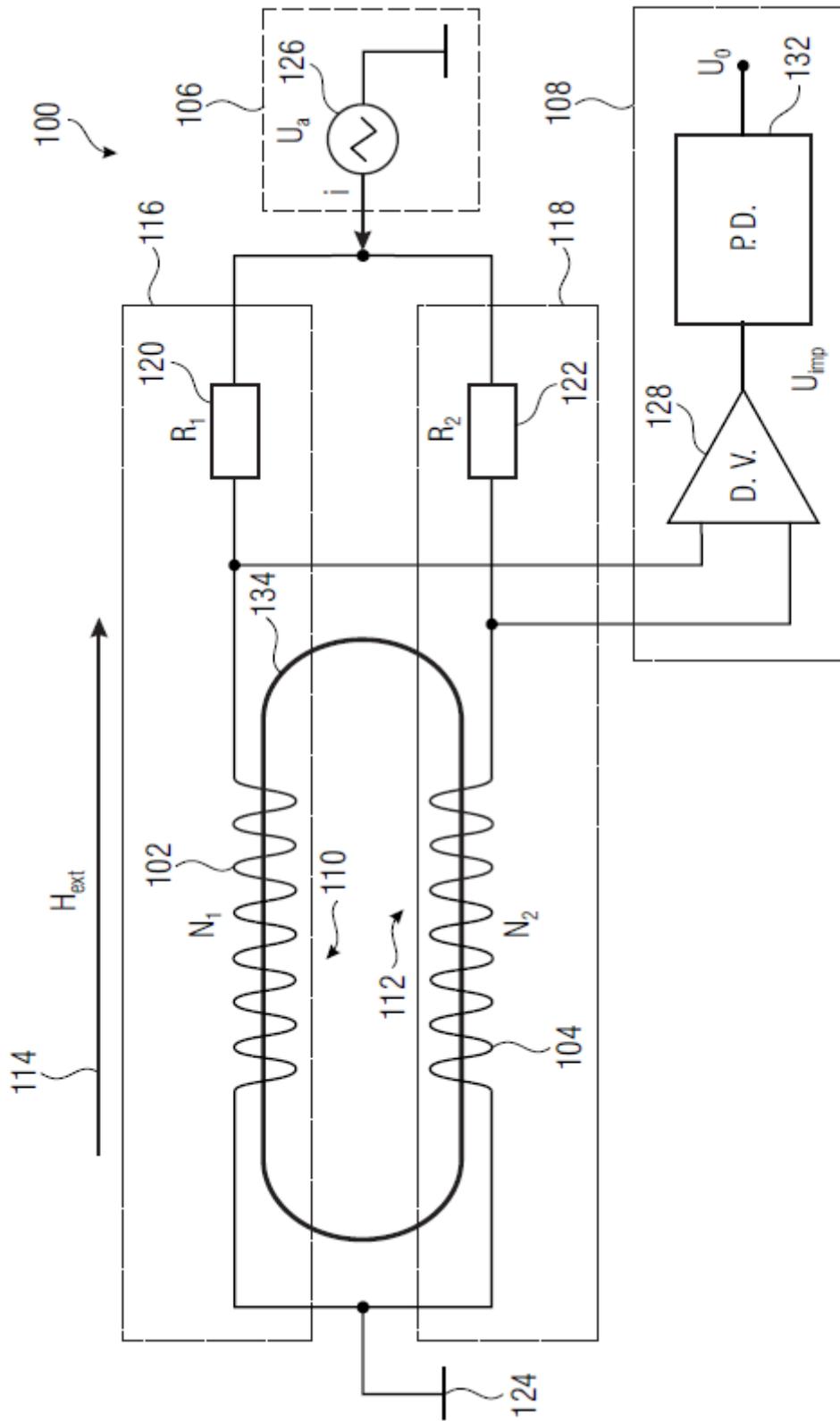


FIG 7

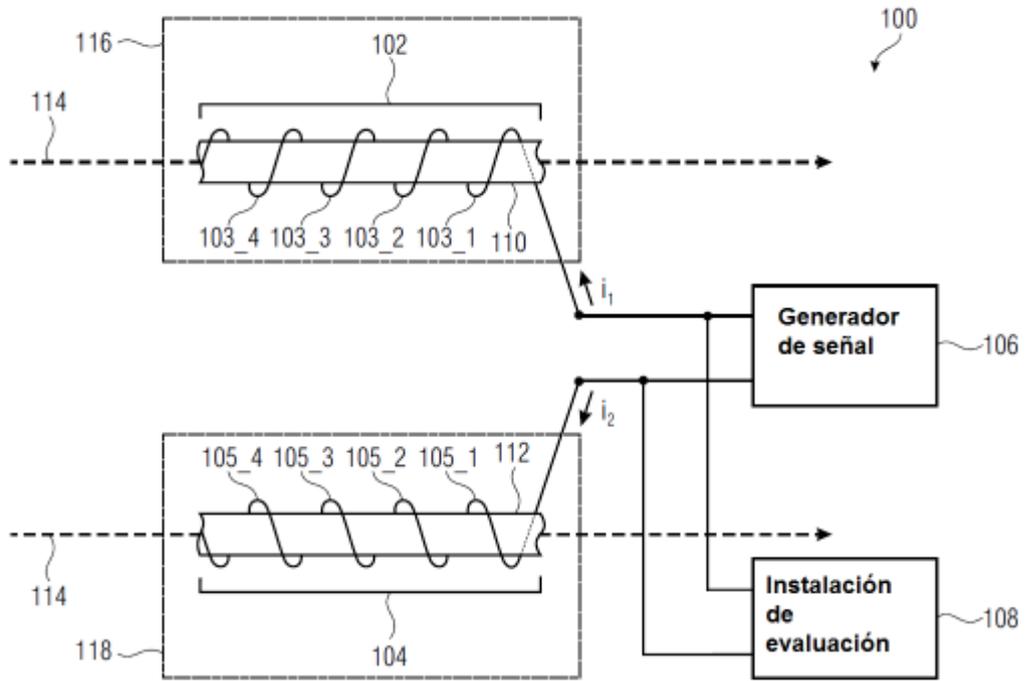


FIG 5

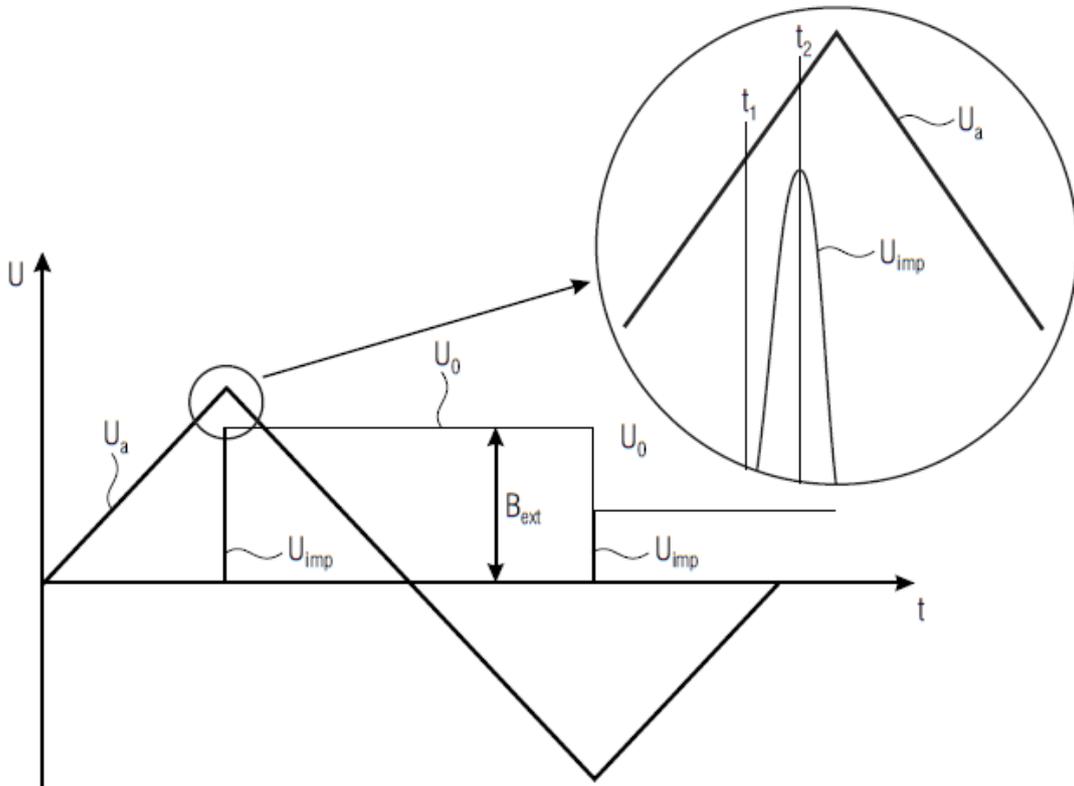


FIG 9