

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 660 366**

51 Int. Cl.:

**G01D 5/14** (2006.01)

**G01D 5/16** (2006.01)

**G01R 33/09** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.11.2014 PCT/DE2014/000560**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.05.2015 WO15062573**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.11.2014 E 14815217 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2018 EP 3066421**

54 Título: **Sensor magnético para el recuento absoluto de revoluciones o recorridos lineales**

30 Prioridad:

**04.11.2013 DE 102013018680**

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

**22.03.2018**

73 Titular/es:

**LEIBNIZ-INSTITUT FÜR PHOTONISCHE  
TECHNOLOGIEN E.V. (50.0%)**

**Albert-Einstein-Strasse 9**

**07745 Jena, DE y**

**HORST SIEDLE GMBH & CO. KG. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**MATTHEIS, ROLAND y**

**DIEGEL, MARCO**

74 Agente/Representante:

**TOMAS GIL, Tesifonte Enrique**

ES 2 660 366 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Sensor magnético para el recuento absoluto de revoluciones o recorridos lineales

- 5 [0001] La invención se refiere a un sensor magnético para el recuento absoluto de revoluciones o recorridos lineales, que puede encontrar aplicación en muchas áreas de la técnica, particularmente en la construcción automovilística y en la automatización de la industria. Particularmente, la estructura novedosa del sensor propuesto debe hacer posible el recuento sin contacto y sin corriente de números de revoluciones altos en el orden de tamaño de 4000 o recorridos mayores permiten en el orden de 20000 mm, lo que es interesante para una multiplicidad de aplicaciones técnicas. Pero el sensor propuesto también se puede usar muy ventajosamente para la detección de números de revoluciones inferiores, al mismo tiempo con una estructura muy simple p.ej., en la construcción automovilística para la determinación exacta de cadencias de motores de combustión y puede asumir por ejemplo junto a un sensor angular la función de árboles de levas y de este modo sustituir estos caros componentes.
- 10 Están muy extendidos los sensores para la determinación de una posición angular según principios físicos diferentes. Tienen en común que la señal de sensor es periódica después de  $360^\circ$ , es decir, que el sensor no puede distinguir entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Por eso se requieren sensores de este tipo para tareas, en las que se debe determinar el ángulo más allá de  $360^\circ$ , como es el caso p.ej. del volante en el automóvil, en combinación con otro sensor, que debe poder detectar el número de revoluciones.
- 15 En combinación con un contador de revoluciones se puede distinguir entonces entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Para la determinación del número de revoluciones se conocen soluciones, en las que se puede deducir mecánicamente según la andadura de una espiral con N brazos de espiral, el número de revoluciones (por ejemplo. entre 1 ...5). Otras soluciones usan engranaje mecánico en conexión con dos o más sensores angulares. Del conocimiento de la estructura del engranaje y la posición angular de los imanes, que están conectados a diferentes ruedas del engranaje, se puede determinar el ángulo puede ser se también p.ej. de 0 hasta  $5 \cdot 360^\circ$ . Todas estas soluciones tienen en común que para la realización necesitan una mecánica, que por lo tanto no funcionan sin contacto y por consiguiente, sin desgaste. Para muchas aplicaciones, particularmente en el automóvil, se necesita sin embargo una solución sin contacto. Esta se podría realizar de tal manera que se pueda determinar en cada momento (permanentemente) la posición angular y de esta manera se pueda distinguir una transición de  $359^\circ$  a  $360^\circ$  del ángulo  $0^\circ$ . Esto supone, que el sensor y un respectivo elemento de memoria están alimentados permanentemente con energía eléctrica. Esto contradice la exigencia en la construcción automovilística de que la norma del ángulo absoluto en el área de p.ej.  $0^\circ$  hasta por ejemplo  $5 \cdot 360^\circ$  también tiene que dar resultado cuando p.ej. la electrónica de a bordo está desconectada de la batería.
- 20 En combinación con un contador de revoluciones se puede distinguir entonces entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Para la determinación del número de revoluciones se conocen soluciones, en las que se puede deducir mecánicamente según la andadura de una espiral con N brazos de espiral, el número de revoluciones (por ejemplo. entre 1 ...5). Otras soluciones usan engranaje mecánico en conexión con dos o más sensores angulares. Del conocimiento de la estructura del engranaje y la posición angular de los imanes, que están conectados a diferentes ruedas del engranaje, se puede determinar el ángulo puede ser se también p.ej. de 0 hasta  $5 \cdot 360^\circ$ . Todas estas soluciones tienen en común que para la realización necesitan una mecánica, que por lo tanto no funcionan sin contacto y por consiguiente, sin desgaste. Para muchas aplicaciones, particularmente en el automóvil, se necesita sin embargo una solución sin contacto. Esta se podría realizar de tal manera que se pueda determinar en cada momento (permanentemente) la posición angular y de esta manera se pueda distinguir una transición de  $359^\circ$  a  $360^\circ$  del ángulo  $0^\circ$ . Esto supone, que el sensor y un respectivo elemento de memoria están alimentados permanentemente con energía eléctrica. Esto contradice la exigencia en la construcción automovilística de que la norma del ángulo absoluto en el área de p.ej.  $0^\circ$  hasta por ejemplo  $5 \cdot 360^\circ$  también tiene que dar resultado cuando p.ej. la electrónica de a bordo está desconectada de la batería.
- 25 En combinación con un contador de revoluciones se puede distinguir entonces entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Para la determinación del número de revoluciones se conocen soluciones, en las que se puede deducir mecánicamente según la andadura de una espiral con N brazos de espiral, el número de revoluciones (por ejemplo. entre 1 ...5). Otras soluciones usan engranaje mecánico en conexión con dos o más sensores angulares. Del conocimiento de la estructura del engranaje y la posición angular de los imanes, que están conectados a diferentes ruedas del engranaje, se puede determinar el ángulo puede ser se también p.ej. de 0 hasta  $5 \cdot 360^\circ$ . Todas estas soluciones tienen en común que para la realización necesitan una mecánica, que por lo tanto no funcionan sin contacto y por consiguiente, sin desgaste. Para muchas aplicaciones, particularmente en el automóvil, se necesita sin embargo una solución sin contacto. Esta se podría realizar de tal manera que se pueda determinar en cada momento (permanentemente) la posición angular y de esta manera se pueda distinguir una transición de  $359^\circ$  a  $360^\circ$  del ángulo  $0^\circ$ . Esto supone, que el sensor y un respectivo elemento de memoria están alimentados permanentemente con energía eléctrica. Esto contradice la exigencia en la construcción automovilística de que la norma del ángulo absoluto en el área de p.ej.  $0^\circ$  hasta por ejemplo  $5 \cdot 360^\circ$  también tiene que dar resultado cuando p.ej. la electrónica de a bordo está desconectada de la batería.
- 30 En combinación con un contador de revoluciones se puede distinguir entonces entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Para la determinación del número de revoluciones se conocen soluciones, en las que se puede deducir mecánicamente según la andadura de una espiral con N brazos de espiral, el número de revoluciones (por ejemplo. entre 1 ...5). Otras soluciones usan engranaje mecánico en conexión con dos o más sensores angulares. Del conocimiento de la estructura del engranaje y la posición angular de los imanes, que están conectados a diferentes ruedas del engranaje, se puede determinar el ángulo puede ser se también p.ej. de 0 hasta  $5 \cdot 360^\circ$ . Todas estas soluciones tienen en común que para la realización necesitan una mecánica, que por lo tanto no funcionan sin contacto y por consiguiente, sin desgaste. Para muchas aplicaciones, particularmente en el automóvil, se necesita sin embargo una solución sin contacto. Esta se podría realizar de tal manera que se pueda determinar en cada momento (permanentemente) la posición angular y de esta manera se pueda distinguir una transición de  $359^\circ$  a  $360^\circ$  del ángulo  $0^\circ$ . Esto supone, que el sensor y un respectivo elemento de memoria están alimentados permanentemente con energía eléctrica. Esto contradice la exigencia en la construcción automovilística de que la norma del ángulo absoluto en el área de p.ej.  $0^\circ$  hasta por ejemplo  $5 \cdot 360^\circ$  también tiene que dar resultado cuando p.ej. la electrónica de a bordo está desconectada de la batería.
- 35 [0002] Un recuento sin contacto del número de revoluciones, que en principio cumple con estos requerimientos, se desarrolló por la Cía. Posital (Aviso de empresa "Kraftwerk im Encoder ..." www.postal.de). Allí se usó un sensor Hall para la determinación del ángulo ( $0 - 360^\circ$ ). La medición del número de revoluciones se realiza allí con ayuda de un alambre Wiegand. Este alambre posee características magnéticas especiales, que se ocupan de que después de cada rotación y a través del movimiento que transcurre de forma repentina de una pared de dominio magnética, surja por un alambre de unos milímetros, un pulso de voltaje corto, pero lo bastante intenso, que se puede registrar en una FeRAM (Memoria de Acceso Aleatorio ferroeléctrica), sin que la FeRAM se conecte con la batería. Esta solución cumple por tanto con la norma del número de revoluciones sin desgaste y sin hacer contacto y cuenta también sin contacto con la alimentación eléctrica, revoluciones hasta la capacidad máxima de almacenamiento de la FeRAMS empleada. Sin embargo, una solución de este tipo se rechaza por la industria del automóvil, puesto que a causa del tamaño macroscópico del alambre Wiegand no es posible una fabricación y confección económica y a través de la entrada de alta resistencia de la FeRAM, hay problemas con la tolerancia electromagnética.
- 40 [0003] Otro elemento sensor para el recuento de revoluciones, que cumple con los requerimientos citados anteriormente, se conoce de la patente EP 1 740 909 B1 (WO 2005/106395). Este elemento sensor tiene la forma de una espiral extendida en su longitud con N espiras y consiste en una pila de capas, que presenta el "efecto de magnetorresistencia gigante" (GMR). El sistema de estratificación GMR de este elemento sensor consiste esencialmente en una capa magnética dura, que define la dirección de referencia y una capa magnética flexible, separadas por una capa intermedia amagnética. El campo magnético externo por detectar, giratorio, es lo bastante fuerte como para cambiar mediante el movimiento de paredes de dominio la dirección de magnetización de la capa magnética flexible, pero demasiado débil para un cambio de la dirección de magnetización de la capa magnética dura, que se extiende en paralelo a los recorridos rectos de la espiral extendida a lo largo. El elemento sensor reacciona por consiguiente a un campo magnético giratorio con un cambio de resistencia, donde dentro del ámbito numerable de 0 hasta N se pueden registrar revoluciones enteras y revoluciones parciales en forma de valores de resistencia  $2N+1$ . Cada valor de la resistencia está asociado de forma inequívoca a un valor de rotación de número entero o semientero. La estructura magnética permanece sin cambios cuando el campo magnético no efectúa rotación. Con la rotación cambian las direcciones de magnetización, con independencia de que se lea o no el valor de la resistencia. Esto significa que el sistema también registra todos los cambios del campo magnético giratorio en un estado sin corriente o sin potencia y solo necesita un suministro eléctrico para la lectura, es decir, la determinación de la resistencia. Desventaja de una disposición de este tipo es que a causa de la geometría del almacenamiento utilizada (cada
- 45 En combinación con un contador de revoluciones se puede distinguir entonces entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Para la determinación del número de revoluciones se conocen soluciones, en las que se puede deducir mecánicamente según la andadura de una espiral con N brazos de espiral, el número de revoluciones (por ejemplo. entre 1 ...5). Otras soluciones usan engranaje mecánico en conexión con dos o más sensores angulares. Del conocimiento de la estructura del engranaje y la posición angular de los imanes, que están conectados a diferentes ruedas del engranaje, se puede determinar el ángulo puede ser se también p.ej. de 0 hasta  $5 \cdot 360^\circ$ . Todas estas soluciones tienen en común que para la realización necesitan una mecánica, que por lo tanto no funcionan sin contacto y por consiguiente, sin desgaste. Para muchas aplicaciones, particularmente en el automóvil, se necesita sin embargo una solución sin contacto. Esta se podría realizar de tal manera que se pueda determinar en cada momento (permanentemente) la posición angular y de esta manera se pueda distinguir una transición de  $359^\circ$  a  $360^\circ$  del ángulo  $0^\circ$ . Esto supone, que el sensor y un respectivo elemento de memoria están alimentados permanentemente con energía eléctrica. Esto contradice la exigencia en la construcción automovilística de que la norma del ángulo absoluto en el área de p.ej.  $0^\circ$  hasta por ejemplo  $5 \cdot 360^\circ$  también tiene que dar resultado cuando p.ej. la electrónica de a bordo está desconectada de la batería.
- 50 En combinación con un contador de revoluciones se puede distinguir entonces entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Para la determinación del número de revoluciones se conocen soluciones, en las que se puede deducir mecánicamente según la andadura de una espiral con N brazos de espiral, el número de revoluciones (por ejemplo. entre 1 ...5). Otras soluciones usan engranaje mecánico en conexión con dos o más sensores angulares. Del conocimiento de la estructura del engranaje y la posición angular de los imanes, que están conectados a diferentes ruedas del engranaje, se puede determinar el ángulo puede ser se también p.ej. de 0 hasta  $5 \cdot 360^\circ$ . Todas estas soluciones tienen en común que para la realización necesitan una mecánica, que por lo tanto no funcionan sin contacto y por consiguiente, sin desgaste. Para muchas aplicaciones, particularmente en el automóvil, se necesita sin embargo una solución sin contacto. Esta se podría realizar de tal manera que se pueda determinar en cada momento (permanentemente) la posición angular y de esta manera se pueda distinguir una transición de  $359^\circ$  a  $360^\circ$  del ángulo  $0^\circ$ . Esto supone, que el sensor y un respectivo elemento de memoria están alimentados permanentemente con energía eléctrica. Esto contradice la exigencia en la construcción automovilística de que la norma del ángulo absoluto en el área de p.ej.  $0^\circ$  hasta por ejemplo  $5 \cdot 360^\circ$  también tiene que dar resultado cuando p.ej. la electrónica de a bordo está desconectada de la batería.
- 55 En combinación con un contador de revoluciones se puede distinguir entonces entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Para la determinación del número de revoluciones se conocen soluciones, en las que se puede deducir mecánicamente según la andadura de una espiral con N brazos de espiral, el número de revoluciones (por ejemplo. entre 1 ...5). Otras soluciones usan engranaje mecánico en conexión con dos o más sensores angulares. Del conocimiento de la estructura del engranaje y la posición angular de los imanes, que están conectados a diferentes ruedas del engranaje, se puede determinar el ángulo puede ser se también p.ej. de 0 hasta  $5 \cdot 360^\circ$ . Todas estas soluciones tienen en común que para la realización necesitan una mecánica, que por lo tanto no funcionan sin contacto y por consiguiente, sin desgaste. Para muchas aplicaciones, particularmente en el automóvil, se necesita sin embargo una solución sin contacto. Esta se podría realizar de tal manera que se pueda determinar en cada momento (permanentemente) la posición angular y de esta manera se pueda distinguir una transición de  $359^\circ$  a  $360^\circ$  del ángulo  $0^\circ$ . Esto supone, que el sensor y un respectivo elemento de memoria están alimentados permanentemente con energía eléctrica. Esto contradice la exigencia en la construcción automovilística de que la norma del ángulo absoluto en el área de p.ej.  $0^\circ$  hasta por ejemplo  $5 \cdot 360^\circ$  también tiene que dar resultado cuando p.ej. la electrónica de a bordo está desconectada de la batería.
- 60 En combinación con un contador de revoluciones se puede distinguir entonces entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Para la determinación del número de revoluciones se conocen soluciones, en las que se puede deducir mecánicamente según la andadura de una espiral con N brazos de espiral, el número de revoluciones (por ejemplo. entre 1 ...5). Otras soluciones usan engranaje mecánico en conexión con dos o más sensores angulares. Del conocimiento de la estructura del engranaje y la posición angular de los imanes, que están conectados a diferentes ruedas del engranaje, se puede determinar el ángulo puede ser se también p.ej. de 0 hasta  $5 \cdot 360^\circ$ . Todas estas soluciones tienen en común que para la realización necesitan una mecánica, que por lo tanto no funcionan sin contacto y por consiguiente, sin desgaste. Para muchas aplicaciones, particularmente en el automóvil, se necesita sin embargo una solución sin contacto. Esta se podría realizar de tal manera que se pueda determinar en cada momento (permanentemente) la posición angular y de esta manera se pueda distinguir una transición de  $359^\circ$  a  $360^\circ$  del ángulo  $0^\circ$ . Esto supone, que el sensor y un respectivo elemento de memoria están alimentados permanentemente con energía eléctrica. Esto contradice la exigencia en la construcción automovilística de que la norma del ángulo absoluto en el área de p.ej.  $0^\circ$  hasta por ejemplo  $5 \cdot 360^\circ$  también tiene que dar resultado cuando p.ej. la electrónica de a bordo está desconectada de la batería.
- 65 En combinación con un contador de revoluciones se puede distinguir entonces entre  $10^\circ$  y  $370^\circ$ . Para la determinación del número de revoluciones se conocen soluciones, en las que se puede deducir mecánicamente según la andadura de una espiral con N brazos de espiral, el número de revoluciones (por ejemplo. entre 1 ...5). Otras soluciones usan engranaje mecánico en conexión con dos o más sensores angulares. Del conocimiento de la estructura del engranaje y la posición angular de los imanes, que están conectados a diferentes ruedas del engranaje, se puede determinar el ángulo puede ser se también p.ej. de 0 hasta  $5 \cdot 360^\circ$ . Todas estas soluciones tienen en común que para la realización necesitan una mecánica, que por lo tanto no funcionan sin contacto y por consiguiente, sin desgaste. Para muchas aplicaciones, particularmente en el automóvil, se necesita sin embargo una solución sin contacto. Esta se podría realizar de tal manera que se pueda determinar en cada momento (permanentemente) la posición angular y de esta manera se pueda distinguir una transición de  $359^\circ$  a  $360^\circ$  del ángulo  $0^\circ$ . Esto supone, que el sensor y un respectivo elemento de memoria están alimentados permanentemente con energía eléctrica. Esto contradice la exigencia en la construcción automovilística de que la norma del ángulo absoluto en el área de p.ej.  $0^\circ$  hasta por ejemplo  $5 \cdot 360^\circ$  también tiene que dar resultado cuando p.ej. la electrónica de a bordo está desconectada de la batería.

rotación necesita un giro en espiral completo), al contar un número mayor de revoluciones, la espiral tiene que ser muy grande geoméricamente. Con esto por un lado aumenta la probabilidad de que defectos que puedan surgir durante la fabricación de la espiral conduzcan a una parada y por consiguiente a una reducción del rendimiento. Por otra parte, de este modo aumentan la superficie de chip y por lo tanto los costes para un sensor de este tipo. Además, el concepto indicado en la patente EP 1 740 909 B1, cuando hay un número alto de espiras de espiral, conduce automáticamente a problemas en la determinación del número de las revoluciones. El recorrido de tensión aprovechable que resulta de una rotación a la siguiente, aumenta en la escala  $1/\text{número}$  de las espiras de espiral. Para  $N >$  hasta  $\gg 10$  es claramente demasiado pequeño para una evaluación segura. Una alternativa, como se indicó en la patente citada, es cierto que permite en caso de mayor número de revoluciones el recorrido de resistencia magnética completa, pero tiene también la desventaja de una espiral larga y compra con ello la ventaja de la carrera grande por medio del hecho de que en vez de dos contactos eléctricos todas las partes de la espiral que forman un círculo no cerrado son provistas respectivamente de cuatro contactos eléctricos y tienen que ser trabajadas y leídas eléctricamente. Esto da como resultado ya en el caso de  $N=100$  cuatrocientos contactos y con ello también un gran gasto en técnica de circuitos. En la solución descrita anteriormente se añade el problema de que después de lograr los máximos dominios conducibles en la pista de conducción de espiral, la pista conductora está ocupada por completo con dominios y con cada rotación parcial adicional un dominio abandona la pista conductora, donde simultáneamente se alimenta otra vez una nueva. De tal modo finaliza una univocidad del recuento de revoluciones con  $n$  espiras y de este modo  $2n$  dominios. Una rotación inversa en la dirección del campo magnético giratorio exterior vacía la espiral por completo finalmente de dominios, de modo que en la dirección de retorno después de sobrepasar el máximo número de revoluciones detectables, ya no es posible un recuento unívoco.

[0004] La eliminación de los problemas descritos anteriormente ya aceptó una propuesta según la patente WO 2009/0270 46 A1, en la que se propuso un contador de revoluciones magnético para la determinación exacta de un número prefijable de revoluciones determinables de un elemento giratorio, en el que dependiendo del número de revoluciones por medir del elemento por detectar, que está provisto de un sistema magnético cuyo campo magnético permite registrar todos los elementos sensores, están previstos varios elementos sensores, donde los elementos sensores están ocupados con dominios magnéticos de un número predeterminable y mantenido de forma fija. Los dominios según esta propuesta se condujeron en bucles cerrados respectivamente en sí mismos, que comprenden al menos una capa ferromagnético, flexible magnéticamente de forma respectiva, donde a los bucles se les asociaron protuberancias acabadas en punta, orientadas hacia el interior de los bucles, y el número de protuberancias previstas por bucle se ha fijado de forma definida que varía de uno a otro. Mediante dispositivos de contacto eléctricos previstos allí, que permiten registrar variaciones de la resistencia eléctrica de secciones de bucle predeterminables una vez realizado el cambio de lugar de los dominios magnéticos, a consecuencia de la influencia del campo magnético giratorio exterior del sistema magnético en los segmentos de bucles prefijados, estos valores de resistencia se pueden llevar a una unidad de evaluación para la asignación del número de revoluciones del elemento giratorio. Los bucles previstos en esta propuesta, cerrados respectivamente en sí mismos, se pueden disponer intercalados unos con otros o uno al lado de otro en un sustrato. Con esta solución se resolvieron los problemas descritos inicialmente del recorrido de tensión necesario y de la univocidad del recuento dentro de los límites prefijables manteniendo al mismo tiempo reducida la longitud de la pista de conducción total. Las protuberancias que acaban en punta y se requieren en el marco de esta propuesta, imponen sin embargo requisitos considerables a la tecnología de fabricación. Las puntas son muy precisas y se pueden realizar en un ángulo inferior a  $15^\circ$ . En caso de que no se quiera recurrir para ello a tecnologías muy complicadas y a su vez por ello costosas, como FIB (haz de iones focalizados), al menos en el caso de puntas mayores con tecnología estándar litográfica se llega muy rápido a los límites en cuanto al rendimiento por alcanzar. Por consiguiente, para cargas de sensores grandes con poco producto defectuoso esta propuesta sólo es adecuada de forma limitada.

Además, en la solución anterior existe otro problema, que consiste en una anchura de pista de conducción que no permanece igual de forma continua. Para ello, en primer lugar, lo que es aplicable a todos los sensores de este tipo, se hace referencia al siguiente hecho: existe una zona de campo magnético limitada por arriba y abajo para el campo magnético que actúa sobre el sensor, en el que se logra una funcionalidad segura del sensor o sistema sensor. Solo por encima de un campo magnético mínimo (a continuación  $H_{\min}$ ) se mueve un dominio a 100% a través de la estructura y se evita una coincidencia de dos dominios y por tanto una destrucción y por ello una reducción no deseada del número de dominios. Al mismo tiempo, el campo magnético no puede ser sin embargo tan grande como para que surjan campos magnéticos de forma no deseada. Es decir, existe un campo magnético  $H_{\max}$ , que no se debe superar. La zona de campo del sensor tiene que estar por lo tanto siempre por encima de  $H_{\min}$  y debajo de  $H_{\max}$ . Para cada aplicación prevista del sensor es ventajoso que tanto  $H_{\min}$  sea muy pequeño como también  $H_{\max}$  sea muy grande y por ello la llamada ventana magnética  $\Delta H = H_{\min} - H_{\max}$  sea grande en la medida de lo posible. El tamaño del  $H_{\max}$  depende ante todo de la sección transversal de la parte de la pila de capa utilizada en la que se mueven los dominios magnéticos. Es proporcional a su espesor e indirectamente proporcional a su anchura. El campo mínimo depende de la rugosidad de la capa. Con rugosidad absoluta constante desciende el  $H_{\min}$  al aumentar la anchura.

En la propuesta según la patente WO 2009/027046 A1 se reconoce ahora que es inevitable en el lugar de la convergencia en el extremo inferior de una punta un ensanchamiento sobre al menos el doble de la anchura de la pista conductora del dominio, lo que lleva a un descenso notable del campo superior  $H_{\max}$ . En el caso de además se tome todavía un radio típico de curvatura por fabricar de forma mínima en este extremo de la punta

de 200 nm (lo que es un valor alcanzable típico para un transportador de oblea DUV estándar) aumenta esta anchura a ~ 600 nm. Este ensanchamiento conduce a una reducción masiva del máximo campo admisible superior en el que trabaja el sensor. Este valor, en una primera aproximación, es indirectamente proporcional a la anchura de la franja (aquí = 200 nm), se reduce por lo tanto a un valor de ~ 33 % del valor, que en realidad sería posible teóricamente con la anchura de franja de 200 nm.

[0005] Este último problema de la repercusión de diferentes anchuras de banda conductora se resolvió en la patente DE 10 2010 022 611 A1 de forma que entra en uso una estructura de bucles magnética flexible ocupada con un número predeterminable de dominios magnéticos y provista de paquetes de capa GMR o TMR, donde la estructura de bucles está formada por al menos dos bucles separados, que están formados respectivamente en forma de espiral, donde el primer extremo respectivo del bucle interno está unido puenteando con el segundo extremo de bucle exterior respectivo del mismo bucle a una distancia prefijable cada uno por medio de un bucle magnético flexible y por ello también el bucle que cierra respectivamente de forma magnética, donde en cada una de las estructuras de bucle cerradas en sí mismas está inscrito al menos un dominio. Esta solución, que es la más próxima a la presente invención, dispone de una ventana magnética más amplia que las soluciones comparables conocidas hasta ahí, dado que con ello es posible al menos la fabricación de las mismas anchuras de forma continua de pistas conductoras. Sin embargo, la formación de los puentes previstos allí y con ello la garantía de los mismos espesores de las pistas conductoras en las zonas de transición en forma escalonada, trae consigo exigencias tecnológicas tan considerables que una producción en masa de contadores de revoluciones de este tipo trae consigo un índice alto de producto defectuoso y por ello no resulta rentable.

[0006] Complementariamente al estado de la técnica descrito anteriormente debe remitirse al fascículo DE 10 2008 063 226 A1, en el que se describe dónde y cómo debería realizarse una colocación manifiesta de contactos de lectura con el ejemplo de una estructura en espiral realizada en forma romboide de pistas conductoras que conducen dominios. Estos razonamientos también encuentran aplicación en la invención propuesta aquí de forma novedosa, de modo que solo tendría que entrarse en ella nuevamente de forma limitada. Igualmente, la patente DE 10 2010 022 611 A1 da indicaciones respecto a un enlace de contacto ventajoso para la lectura del sensor así como también a la inscripción definida de dominios en las estructuras de pistas de conducción, que pueden encontrar aplicación también en la presente invención de forma análoga.

[0007] Tarea de la presente invención es un sensor magnético para indicar el recuento absoluto de revoluciones, revoluciones parciales respectivas, o recorridos lineales, que se pueda fabricar de forma tecnológica fácilmente con tecnologías disponibles comercialmente, que disponga de una ventana magnética más ancha que sensores comparables según el estado de la técnica conocido y manteniendo la topología fundamental se pueda usar de una manera sencilla para el recuento de números de revoluciones prefijables a voluntad y particularmente números de revoluciones elevados N (por ejemplo.  $N > 4000$ ), de recorridos lineales respectivamente mayores, de p.ej. 4.000 mm hasta 20.000 mm, dependiendo de la resolución deseada (por ejemplo. 50  $\mu\text{m}$  - 250  $\mu\text{m}$ ).

[0008] Dentro del marco de invención entran en aplicación además estructuras de capa conocidas en sí mismas, como p.ej. en las patentes EP 1 740 909 B1 o WO 2009/027046 A1, que hacen posible la norma de una configuración de dominio aprovechando el efecto conocido de que la resistencia eléctrica en una pila GMR o TMR depende de la dirección relativa de la magnetización de la capa en la que se mueven los dominios, en comparación con una dirección de referencia definida por una capa fuertemente magnética.

[0009] En el marco de la invención actual se propone una topología nueva de bucles, que resuelve la tarea de la invención. Las ventajas esenciales de esta topología propuesta consisten en una ventana magnética bastante ampliada, en la que puede trabajar el sensor magnético, así como también en la reducción clara de los requisitos para su fabricación.

[0010] La esencia de la invención consiste en que están previstos al menos dos bucles separados, que conducen dominios, que comprenden secciones parciales dispuestas en su mayoría de forma recta y a modo de rombo entre sí, y las al menos dos estructuras en bucle están conectadas entre sí a través de un punto de intersección común, donde directamente de forma respectiva antes del área de intersección, en el cual y después del cual los dominios pueden cambiar desde una estructura de bucles a la estructura de bucles adyacente, estas secciones de las estructuras de bucles están formadas de forma doblada en contra del sentido de la dirección de la guía y en esta zona están formadas a modo de sifón, orientadas hacia el interior de la estructura de bucles, donde las pistas conductoras en los hundimientos respectivos a modo de sifón se cruzan de forma perpendicular en un punto y todas las estructuras de bucles citadas están dispuestas en solo un plano común, donde todas las secciones de bucles que conducen dominios, incluyendo las áreas de cruce, presentan esencialmente la misma anchura. Puesto que con esta conformación del área de cruce prevista, que se crean en un plano con todas las otras estructuras de pista conductora en un único proceso de estructuración, se acaban todos los problemas de fabricación de sensores comparables según el estado de la técnica, como se ha descrito anteriormente. Simultáneamente, dado que en la topología nueva propuesta no se presentan puntas agudas, que conducen a un ensanchamiento no deseado e inevitable de la pista conductora, se aumenta de forma considerable la ventana magnética útil. Esto tiene simultáneamente como consecuencia una reducción perceptible de los requisitos al campo magnético externo, que acciona los dominios.

[0011] La tarea se resuelve a través de las características de la reivindicación 1. Configuraciones ventajosas son objeto de las reivindicaciones secundarias.

5 [0012] Las tareas de medición que están en la base de la presente invención y con ello el uso del sensor magnético propuesto, en el caso de la determinación de revoluciones, se presentan en la técnica en dos configuraciones básicas: o bien se tiene que determinar el número de las revoluciones de un eje, que es accesible desde el lado (disposición descentralizada o dispositivo sensor de eje hueco) o el sensor se puede colocar frente a un extremo del eje (central disposición). Por otra parte se puede usar el sensor magnético también para la determinación absoluta de desplazamientos lineales o revoluciones parciales con precisión extrema.

10 Otra ventaja esencial de la solución según la invención, particularmente desde el punto de vista de la tecnología de fabricación, consiste en que todas las estructuras de bucles que llevan dominios incluyendo las áreas de cruce críticas en sí mismas (comparar con el estado de la técnica conocido) se pueden configurar exclusivamente en un plano unitario.

15 [0013] Los ejemplos de realización y figuras que siguen deben servir para la explicación más detallada de lo que antecede y de la invención. Se muestran:

20 Fig. 1a El principio básico de un dispositivo sensor descentrado (sensor de eje hueco);

Fig. 1b El principio básico de un dispositivo sensor central;

25 Fig. 1c A modo de ejemplo en la parte superior de la figura una escala magnética lineal y en la parte inferior una rueda polar frente a los cuales se puede disponer respectivamente el sensor según la invención;

Fig. 2 Una pila de capa a título de ejemplo, que se puede usar para el aprovechamiento del efecto GMR o TMR;

30 Fig. 3 Una primera forma de realización a título de ejemplo según la invención de un sensor con una conformación de bucles representada aquí con dos espirales en vista desde arriba;

Fig. 3a Una representación ampliada de un área de intersección creada según la invención, que conecta los dos bucles según la Fig. 3;

35 Fig. 4 Una disposición esencialmente a título de ejemplo de un sensor con cinco bucles, combinada con dos bucles dobles y triples empaquetado uno dentro del otro y

Fig. 5 Un posible contacto eléctrico por medio de una estructura quíntuple de bucles.

40 [0014] Las figuras 1 a y 1 b muestran dos disposiciones fundamentales, en las que puede encontrar aplicación el sensor según la invención que se describe más detalladamente más adelante. En este caso la Fig. 1 a muestra una sección transversal a través de un sistema global con disposición descentralizada (disposición de sensor de eje hueco), que consiste en un eje 01 con un sistema magnético 20 dispuesto sobre el perímetro de un sustrato 10 (que ventajosamente comprende igualmente una electrónica de evaluación), sobre el que se encuentra un contador de revoluciones 11 según la invención. En el lugar del contador de revoluciones 11 actúa por fuera un campo magnético, aquí en forma de una combinación magnética permanente 20, que en el movimiento al pasar produce una rotación de la dirección del campo magnético de 360° en el lugar del contador de revoluciones 11. Puesto que según el estado de la técnica los contadores de revoluciones se ponen en servicio fundamentalmente en relación con un sensor angular por esto no representado aquí más en detalle, a partir de la señal del sensor angular se conoce el lugar del campo magnético giratorio.

50 [0015] En una en principio segunda posibilidad de aplicación mencionada anteriormente un imán permanente 20 está fijado a la superficie frontal de un eje 01. La Fig. 1b muestra una realización de este tipo en sección transversal a través de un sistema global con disposición central, que consiste en un sustrato-Si, ventajosamente con electrónica de evaluación 10, sobre el se encuentra el contador de revoluciones 11 según la invención. En el lugar del sensor 11 actúa por fuera un campo magnético de un imán permanente 20 que se encuentra en el extremo del eje 01, donde el imán está realizado de tal manera que todo el contador de revoluciones es detectado por el campo magnético mencionado, como deben indicar las líneas de campo ejemplares. Al girar el eje 01 en 360° el contador de revoluciones 11 también experimenta un campo magnético que gira en 360°. También en esta forma de realización es válido que hay zonas angulares, en las que la configuración de dominios inscrita está sujeta en ese momento a un cambio y suministraría entonces declaraciones no válidas respecto al número de revoluciones. Pero cuando esta zona es menor que 90° por rotación parcial, entonces se puede conseguir una determinación unívoca del número de revoluciones en caso de que se conozca el ángulo, que entra en aplicación junto con el contador de revoluciones, o a través de la aplicación de un contador de cuadrantes, es decir, un sensor angular, que puede determinar, en que cuadrante se halla la dirección del imán giratorio permanente. Esto se explica en detalle en Trans IEEE. Magn. Vol 45,

fascículo 10, p. 3792 - 3795. Puesto que estas medidas suplementarias pertenecen al estado de la técnica conocido, en el marco de la invención actual no necesitan más aclaraciones.

[0016] Las paredes de dominios mismas se mueven en el sensor según la invención en una disposición producida por ejemplo por un proceso de estructuración de varios bucles descritos en detalle más adelante, en los que por un proceso de inicialización que pertenece al estado de la técnica está inscrito respectivamente un número definido de paredes de dominios. La configuración de estos bucles diferentes está configurada y elegida respectivamente de tal manera que un número prefijable a voluntad de revoluciones siempre permite un recuento claro.

[0017] Las configuraciones de dominios presentes de forma concreta se pueden determinar con ayuda de un número de contactos eléctricos sobre los bucles, con base en efectos magnetoresistentes, p.ej. el efecto-GMR (magnetorresistencia gigante) o el efecto-TMR (magnetorresistencia túnel), y por ello se averigua el número de las revoluciones de un campo magnético, que mueve las paredes de dominios en los bucles cerrados. Esta determinación de la configuración de dominios se aprovecha del efecto conocido de que la resistencia en una pila GMR o TMR depende de la dirección relativa de la magnetización de la capa en la que se mueven los dominios, en comparación con una dirección de referencia definida por una capa magnéticamente fuerte.

[0018] La resistencia es baja cuando la dirección de la magnetización en la capa de referencia y la capa sensora es igual y aumenta en (6 - 10)% (en el caso del efecto GMR) o en (100 - 500)% en caso del efecto TMR, cuando la dirección de ambas magnetizaciones es antiparalela.

[0019] La figura 1c muestra la posibilidad de uso de un sensor según la invención en relación con una escala magnética lineal IM en representación principal (véase la parte superior de la Fig. 1c). También en este caso los dominios inscritos en la estructura sensor representada en detalle en la Fig. 3 experimentan un movimiento por esta estructura, cuando el sensor se mueve en paralelo a la escala. En caso de que la escala tenga una longitud polar de p.ej. 1 mm, el sensor experimenta con el movimiento de 1 mm una rotación completa del campo magnético en 360°. De este modo se logra una medición de longitud absoluta. En caso de que el sensor cuente por ejemplo revoluciones de hasta 4096, se pueden medir longitudes hasta 4000 mm. La resolución del sistema de medición de longitud se determina por la resolución del medidor angular no representado aquí igualmente y asociado al contador de revoluciones. En caso de que sea de p.ej. 0,5°, se puede medir la longitud polar de 1 mm con una precisión de  $0,5^\circ/360^\circ \cdot 1\text{mm} \sim 1,4 \mu\text{m}$ . La ilustración inferior en la Fig. 1c muestra a modo de ejemplo una rueda polar Pr que se puede usar en una disposición según la Fig. 1a, la que igualmente está estructurada a partir de segmentos dispuestos de forma alternante y orientados de forma cambiante (análogamente a la escala lineal), lo que se indica solamente dos veces en esta ilustración.

[0020] La figura 2 muestra a modo de ejemplo una pila de capas, que se debe usar para el aprovechamiento del efecto GMR o TMR. En la fig. 2 está representado un paquete de capas conocido en sí mismo en sección transversal. Para sistemas de capas GMR la corriente fluye en dirección de las flechas de magnetización trazadas (en el plano de capa), la resistencia eléctrica se determina por contactos eléctricos (no representados aquí), que están dispuestos a gran distancia entre sí (típicamente hasta 200  $\mu\text{m}$ ). En caso del uso de un pila TMR en la invención actual la capa de cobre de un espesor de 2,5 nm mostrada en la Fig. 2 se sustituye por una capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o  $\text{MgO}$  de un espesor de 1 - 2. La corriente fluye entonces en perpendicular a través de la pila de capas de abajo a arriba o viceversa. La pila de TMR ocupa en general un área de algunos hasta varios 10 hasta 100  $\mu\text{m}^2$ . Otras formas de realización respecto a posibles configuraciones de pilas de capas GMR o TMR no son necesarias en este punto, porque estas pertenecen en sí al estado de la técnica conocido. Por eso a continuación a la siguiente aclaración:

[0021] Como verdadera capa sensora en la que se mueven los dominios magnéticos actúa una capa  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  de (Permalloy=Py), donde la capa de cobre de un espesor de 0,5 nm solo sirve para aumentar el efecto de GMR o TMR. Como capa fuertemente magnética sirve una combinación de un llamado antiferroimán (CoFe/0,8 nm Ru/CoFe en combinación con un antiferroimán (en la Fig. 2: IrMn, de lo contrario también NiMn o PtMn). La capa de Ru con un espesor de 0,8 nm se ocupa de que los momentos magnéticos de ambas capas de CoFe estén orientados de forma antiparalela y de forma ideal, que se neutralicen. El IrMn en combinación con una capa de CoFe produce una llamada anisotropía unidireccional. De tal modo se define la dirección prioritaria magnética. Puede ser homogénea en la totalidad de la placa y con ello también en los bucles formados según la invención.

[0022] Para el movimiento seguro de los dominios en la capa sensora es necesario un campo medio  $H_{\text{min}}$  que depende de la geometría (altura y anchura de la capa sensora) y magnetización del material de la capa suavemente magnética, que está estructurada en la forma de bucles según la invención descrita más adelante. El principio propuesto requiere simultáneamente que el número de dominios dentro del bucle no cambie durante el uso del contador de revoluciones. Esto significa que el campo magnético que actúa sobre el contador de revoluciones tiene que ser siempre más pequeño que un campo magnético  $H_{\text{nuk}}$ , en el que sucede una nucleación de un ámbito magnético y con ello la generación de paredes de dominios adicionales, lo que se puede realizar sin embargo sin problemas a través de la elección del campo magnético del imán permanente giratorio 20 (compárese. Fig. 1 a y 1 b, respectivamente escala lineal IM o rueda polar Pr en la Fig. 1 c) que

actúa sobre el contador de revoluciones. Como indicado anteriormente, estos requisitos, sin embargo se han reducido de forma considerable, condicionados por la topología nueva según la invención, puesto que con la presente invención se puede lograr una ventana magnética mucho mayor. Todas las normas y posibilidades de uso descritas anteriormente, que pertenecen ya al estado de la técnica conocido, valen del mismo modo para las topologías novedosas propuestas en el marco de esta invención.

[0023] El principio básico de la presente invención se debe explicar más detalladamente por medio de la figura 3. En este caso la Fig. 3 muestra una estructura de bucles fundamental, que en el ejemplo consiste en dos bucles en espiral  $S_1$  y  $S_2$ . Ambos bucles en espiral están comprendidos por el campo magnético giratorio en este ejemplo (representado aquí por medio de una flecha gruesa dispuesta centralmente) del mismo modo. Para resulte claro el principio de topología esta figura no está representada a escala, de modo que algunos detalles se han exagerado mucho para presentar la esencia de la invención actual. Para tener una idea de la configuración real se comunica que en el ejemplo realizado la anchura  $b$  de las pistas de conducción que conducen los dominios  $D$  (aquí  $D_1$  y  $D_2$ ) es de 200 nm, mientras que la distancia de los bucles entre sí está en el margen de tamaño de 5-10  $\mu\text{m}$  y la superficie total que es ocupada por la disposición romboide comprende en este ejemplo aprox. 200  $\mu\text{m} \cdot 200 \mu\text{m}$ . Ya solo a partir de ahí resulta visible que es posible una disposición de sensores, que comprenden más de dos bucles o una combinación de varios sensores con diferente número de bucles sobre superficies de sustrato muy pequeñas, de modo que todos los sensores se pueden abarcar sin problema del mismo modo por el campo magnético exterior macroscópicamente mucho mayor. En la Fig. 3 la flecha gruesa interna indica la dirección del campo magnético exterior giratorio que se supone aquí en las tres ilustraciones superiores en el sentido de las agujas del reloj, y debe estar en la parte superior izquierda de la Fig. 3 en  $45^\circ$ . Las flechas finas en las pistas conductoras indican la dirección de las direcciones de magnetización local en los segmentos de la pista conductora, mientras que los dos dominios  $D_1$  y  $D_2$  inscritos aquí se representan por una flecha doble. Figura 3 muestra las posiciones de los dominios  $D_1$  y  $D_2$ , donde estas se tienen que suponer a modo de ejemplo a  $45^\circ$ . El movimiento de los dominios  $D_1$  y  $D_2$  que se extienden en las secciones parciales  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{14}$  y  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{23}$ ,  $S_{231}$ ,  $S_{24}$ ,  $S_{241}$  esencialmente rectas dispuestas a modo de rombo, no es crítico. Es interesante el transcurso del movimiento de los dominios sobre el cruce  $K$  dispuesto al mismo nivel sobre el sustrato cruce. En caso de que la intersección total  $K$  se realizara de forma exclusivamente rectangular (no representado aquí), desde el punto de vista energético sería mucho más probable que la pared del dominio  $D_1$  al seguir girando el campo magnético exterior, se moviera hacia arriba, que, como deseado, hacia la derecha dentro del bucle  $S_2$ . De tal modo ya no se daría un recuento biyectivo de la rotación de dominios a través de los bucles. Para evitar esto, según invención actual se ha previsto un área de intersección moderna  $K$ , que está representada de forma ampliada en detalle en la fig. 3a. La figura 3a representa solo el recorte del área comprendida en un círculo en la imagen izquierda inferior en la fig. 3. Allí se ve cómo el área de intersección directamente delante y después del área de intersección, dentro y después de los dominios  $D_1$  puede cambiar del primer bucle  $S_1$  al bucle adyacente  $S_2$ . Para ello en los bucles que se cruzan  $S_1$  y  $S_2$  se da respectivamente una estructura de bucles de tipo sifón conformada de forma curvada y dirigida al interior de la estructura de bucles, dentro de la cual está en perpendicular entre sí solo una corta sección de la pista conductora de los hundimientos respectivos. En las figuras 3 y 3a las secciones de las bajadas de la estructura de bucles que se extiende en horizontal se designan con  $Sk_1$  y  $Sk_2$ , las secciones realizadas de forma análoga de las secciones de las bajadas en perpendicular no se designan más detalladamente. Importante para la funcionalidad de la solución según la invención es que ambas curvaturas de bajada (es decir, la bajada horizontal y la bajada que está en perpendicular a esta) apuntan a la dirección del interior de los bucles. Además, es esencial que directamente antes del área de intersección, en el que y después del cual los dominios ( $D$ ) pueden cambiar de una estructura de bucles a la adyacente, estas secciones de las estructuras de bucles están dobladas al contrario del sentido de la dirección de la guía de la pista de conducción y forman el área propuesta a modo de sifón. Para el logro del cambio del sentido de dirección de la guía de la pista conductora sirve al ángulo de acodamiento previsto  $\alpha$  antes de que de las secciones rectas de la pista conductora ( $S_{13}$ ,  $S_{241}$  y  $S_{14}$ ,  $S_{231}$ ) entren en las secciones de bajada ( $Sk_{1,}$ ;  $Sk_2$ ), que está configurado respectivamente en magnitud  $> 45^\circ$  y más pequeño  $90^\circ$  (compárese. Fig. 3a ilustración izquierda). La misma estipulación vale para la sección de la bajada simétrica a aquello así como también para la segunda bajada que está en perpendicular a la primera bajada, donde por motivos de claridad se renunció a la indicación de otras marcas de referencia. Este ángulo de acodamiento  $\alpha$  se puede elegir en principio entre  $>45^\circ$  y  $< 90^\circ$ , pero por motivos de histéresis no discutidos dentro del marco de invención se elige preferiblemente entre  $>45^\circ$  y  $<55^\circ$ .

[0024] El modo de funcionamiento de las secciones de estructuras de bucles a modo de sifón según la invención se ve de la fig. 3 para ángulos de campo para  $45^\circ$  y  $55^\circ$  del campo magnético exterior (representado a su vez por flechas gruesas en la estructura de bucles) en la parte superior de la Fig. 3. Allí se reconoce que solo a través de una dirección del campo magnético exterior de  $> 45^\circ$ , se llega a un movimiento de la pared de dominio (aquí  $D_1$ ) a través del sifón. En el punto de intersección  $K$  de ambos sifones la dirección del campo que acciona el dominio  $D_1$  está orientada de tal manera que el dominio  $D_1$  se sigue extendiendo en línea recta (el ángulo del campo que acciona es de  $35^\circ$ ). Por el contrario, en el área que está en perpendicular a aquello, el área que acciona está girada en  $55^\circ$  a la dirección de la intersección. Por eso es energéticamente mucho más favorable para la pared de dominio  $D_1$  pasar por el sifón de forma horizontal y realizar entonces el movimiento deseado en el bucle  $S_2$ . Cuando hay expansiones laterales de este sifón, que se elige típicamente en el marco de la invención entre 0,5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , una pared de dominio necesita con velocidades de movimiento de pared típicas

entre 400 - 1000 m/s por consiguiente como máximo 25ns (a una dimensión del sifón  $\sim 10 \mu\text{m}$ ). En este tiempo la dirección del campo magnético exterior no se puede haber modificado mas de  $10^\circ$ . Esta estipulación permite con ello mediciones de rotaciones de hasta  $10^\circ/25 \text{ ns} = 1 \text{ U}/\mu\text{s}$ , por lo tanto  $10^6 \text{ U/s}$ . Esto es más que suficiente para todos los casos de aplicaciones pensables de sensores según la invención.

En el caso de que la pared de dominio  $D_1$  en el ejemplo a  $55^\circ$  se mueva completamente a través de la intersección y el área a modo de sifón (como se muestra en la posición derecha superior de la Fig. 3), puede surgir un movimiento de retorno del dominio  $D_1$  solo cuando el ángulo del campo está muy por debajo de  $315^\circ$ . Entonces es nuevamente obligatorio por motivos energéticos que la pared del dominio pase en horizontal por el sifón.

[0025] De tal modo con la solución según la invención es posible inscribir una intersección en las estructuras de bucles, donde a través de la disposición de la intersección dentro de una modificación a modo de sifón de las áreas rectas que se extienden hacia la intersección, se garantiza siempre que el dominio atraviese la intersección de forma recta y no llegue por error a un área de la intersección que está girada en  $90^\circ$  respecto a la dirección del movimiento precedente. Se ha demostrado que es suficiente que las secciones de pista conductora de la estructura a modo de sifón que se cruzan de forma perpendicular en el punto K en un área que corresponde aproximadamente al orden de tamaño del triple de la anchura de la pista conductora  $b$ , están alineadas entre sí en perpendicular. Las tres ilustraciones inferiores en Fig. 3 muestran únicamente el movimiento del dominio cuando el campo magnético externo se mueve en el sentido contrario a las agujas del reloj, para aclarar, que el sensor propuesto actúa independientemente de la dirección de rotación en ambas direcciones de rotación del campo magnético exterior del mismo modo.

[0026] Ya con la realización más simple de la invención mostrada en figura 3 se puede determinar de forma biyectiva p.ej. el estado con un motor de dos tiempos, dado que en combinación con un sensor angular, un contador, que puede contar hasta 2, determina absolutamente un ángulo de  $0^\circ$ - $720^\circ$ . Este sensor a un ángulo de  $720^\circ$  alcanza nuevamente la posición  $0^\circ$  y repite el proceso cíclicamente.

[0027] Sin embargo, dentro del marco de invención es posible la disposición de varias estructuras de bucles  $S_1$  a  $S_n$  cerradas entre sí bajo mantenimiento del principio propuesto aquí de las intersecciones entre bucles adyacentes. Como se puede ver de forma esquemática en la representación de la izquierda en la figura 4 en el ejemplo de una estructura de bucles con cinco bucles, con la que son detectables de forma biyectiva cinco revoluciones. Ventajosamente, en vista de los contactos eléctricos necesarios, se ordenan aquí las áreas de intersección que aquí solo están representadas de forma simbólica, en diagonal sobre la disposición en forma de rombo representada aquí, como se indica a través de los círculos que comprenden las intersecciones respectivas en la parte izquierda de la Fig. 4. Por razones de simplificación en la fig. 4 las intersecciones solo están representadas de forma simbólica; pero en su conformación efectiva se ajustan idénticamente a las estipulaciones correspondientemente con la descripción especial respecto a la fig. 3. Otras disposiciones de las áreas de intersección en estructuras de bucles de varias piezas que se cierran solo una vez en sí mismas están, sin embargo, explícitamente dentro del marco de invención, en tanto en cuanto se respete la estipulación de las curvaturas orientadas a modo de sifón hacia el interior de los bucles.

[0028] En otra configuración de la invención, sin embargo, esta no está limitada a una única disposición de bucles, múltiple y cerrada en sí misma. El principio que se ha de seguir esencialmente para una expansión de varias disposiciones de bucles respectivamente cerradas en sí mismas, que se tienen que disponer todas sobre el mismo sustrato en cercanía inmediata en una superficie, se indica también en la fig. 4. En la ocupación ventajosa que se busca de cada disposición de bucles cerrada en sí misma con respectivamente dos dominios se representan a título de ejemplo en la figura 4 a la izquierda una disposición de bucles con cinco bucles y al lado a la derecha una disposición de bucles empaquetada en sí misma, que consiste en una disposición interior de 2 bucles y una disposición de 3 bucles que rodea aquella. Todas las disposiciones de bucles citadas, como dicho, están ocupadas respectivamente con dos dominios, de modo que al girar el campo magnético 2 exterior no representado en Fig. 4, se cuentan  $2 \cdot 3 \cdot 5 = 30$  revoluciones de forma biyectiva. Esencialmente dentro del marco de invención, con la adaptación a un número prefijable de revoluciones de medición, respectivamente con la ampliación a números de revoluciones elevados, se tiene que garantizar, como ya se reconoce del ejemplo claro precedente para 30 revoluciones, que el número de bucles por disposición de bucles cerrada en sí misma está fijado en relación a las otras disposiciones de bucles con números primos, para garantizar un recuento biyectivo.

[0029] Con otra transposición de este principio de la disposición de varias estructuras de bucles en números primos, ya se crearon por la solicitante experimentalmente varias disposiciones de bucles, que permiten el recuento biyectivo de 3465 revoluciones, donde las disposiciones de bucles necesarias solo requieren una superficie de aprox.  $500\mu\text{m} \cdot 600\mu\text{m}$ . Estas pequeñas superficies ocupadas por las estructuras sensoras muestran que una expansión sin problemas de tales estructuras de bucles para la determinación de mucho más de 4000 revoluciones están dentro del marco de la invención, dado que las dimensiones del causante exterior de campos magnéticos está bastante por encima de estas dimensiones.

[0030] Figura 5 muestra a modo de ejemplo solo cómo de ventajoso puede ser el tipo del enlace de contacto en una disposición de bucles creada por ejemplo según la fig. 4 (bucle quintuple izquierdo). Los contactos previstos aquí y no designados más en detalle se muestran en la Fig. 5 en negrita. Ya se explicaron detalladamente en la patente DE 10 2008 063 226 A1 las ventajas de un modo de contacto de este tipo y de la conformación de semipuentes wheatstone. Estos conocimientos y estipulaciones se pueden tomar también completamente en la invención actual y por esto no se explican aquí más.

[0031] Como ya explicado inicialmente, el uso del sensor propuesto no está orientado exclusivamente al recuento de revoluciones. Las ventajas adicionales que resultan del uso del sensor propuesto se aclaran con base en las explicaciones que siguen:

Otras aplicaciones se aprovechan de que encima de una disposición lineal o giratoria de imanes permanentes, en los que están dispuestos imanes permanentes adyacentes girados en 180° entre sí, como está indicado en la Fig. 1c, en una distancia constante de la disposición de los imanes permanentes se forma un campo magnético constante en cuanto a la magnitud, cuya dirección efectúa una rotación. En caso de que se use una rueda polar con exactamente 2N imanes permanentes en combinación con un sensor angular, que puede medir un ángulo con una resolución de  $\Delta\varphi$ , entonces se consigue con el uso de este sensor angular para la medición de la dirección del campo magnético por encima del rueda polar una resolución angular de  $\Delta\varphi/2N$ , por lo tanto una mejora de resolución notable fijable sobre el número de los imanes permanentes. Simultáneamente se puede determinar con ayuda de un contador de revoluciones la posición de ángulo absoluta, cuando está estructurado de tal manera que después de 2N revoluciones alcanza su posición inicial. Un valor angular a discreción se calcula por lo tanto a partir de la siguiente fórmula:

$$\Omega = (n \cdot 360^\circ + \varphi) / 2N$$

donde n es el número de las revoluciones contadas del campo magnético por encima de la rueda polar ( $0 \leq n < 2N$ ) y  $\varphi$  es el ángulo de medición del sensor angular. De tal modo la señal es periódica en 2N y la resolución se ha mejorado en el factor 1/2N. Como ejemplos se citan aquí:

Mediante la combinación de una disposición quintupla o cuádrupla de bucles según la invención actual una rueda polar con 20 imanes permanentes individuales puede mejorar la resolución de un sensor angular magnético de p.ej. 0,2° a 0,01° y con ello la resolución de sensores ópticos.

[0032] Resultan planteamientos de solución similares cuando se quiere pasar de un sensor magnético incremental a un sensor absoluto. Se usan sensores magnéticos incrementales o decodificadores para medir distancias en el área de mm hasta m. Para ello se usan escalas magnéticas en las que halla uso una llamada longitud polar típica de 2 mm. La combinación de un sensor angular magnético, que puede determinar de modo exacto la posición relativa dentro de la longitud polar de 2 mm en unos pocos  $\mu\text{m}$  con un contador de revoluciones que cuenta el número de pares de polos por los que pasa el sensor angular, permite la estructura de un codificador absoluto con todas las ventajas que presenta este frente a un sensor de longitud que funciona de modo incremental. Un sensor según la invención que cuenta p.ej. hasta 500, puede medir absolutamente entonces en combinación con un sensor magnético que funciona de forma incremental una distancia recorrida de 1 m longitud a una precisión de 1  $\mu\text{m}$  y registra cada desplazamiento también en un estado, en el que el sistema de sensores no se suministra con energía eléctrica (movimiento en un caso sin corriente, como p.ej. caso de cortocircuito).

[0033] Todas las características que se pueden reconocer en la descripción, los ejemplos de realización y los dibujos que siguen pueden constituir esencia de la invención tanto de forma individual como también en cualquiera combinación entre sí.

Listado de referencias

[0034]

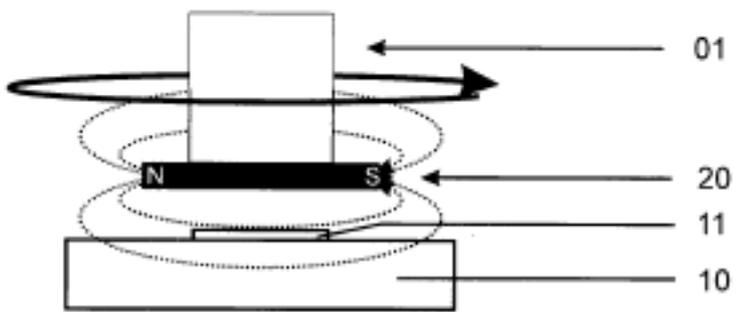
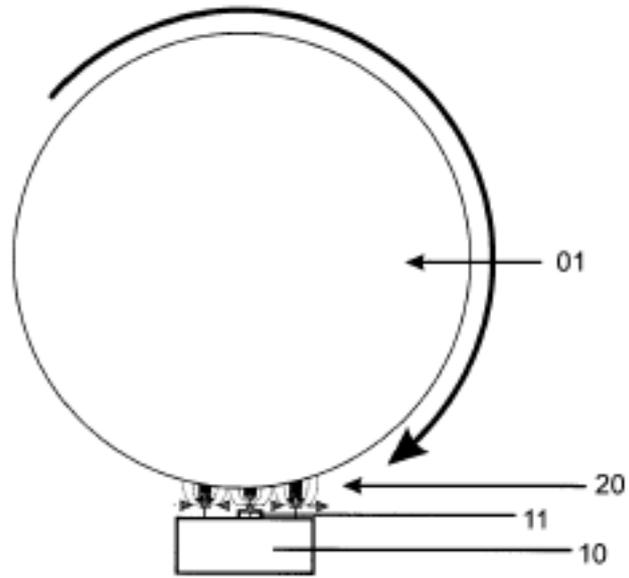
- 01 - eje
- 10 - sustrato con electrónica de evaluación
- 11 - contador de revoluciones
- 20 - sistema magnético
- D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> - dominios magnéticos
- IM - escala lineal
- K - punto de intersección
- Pr - rueda polar
- S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> - bucles del sensor magnético
- S<sub>11</sub>, S<sub>12</sub>, S<sub>13</sub>, S<sub>14</sub> y S<sub>21</sub>, S<sub>22</sub>, S<sub>23</sub>, S<sub>24</sub>, S<sub>231</sub>, S<sub>241</sub> - secciones parciales rectas de bucles

$S_{k1}$ ,  $S_{k2}$  - secciones de hundimiento a modo de sifón  
 $\alpha$  - ángulo de acodamiento

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Sensor magnético para la detección de valores de desplazamiento o de revolución absolutos para la  
determinación biyectiva de un número prefijable de revoluciones por determinar, revoluciones parciales  
respectivas, o desplazamientos de un elemento (20, IM, Pr) conectado a un sistema magnético, que crea un  
campo magnético exterior, dependiente de la dirección, accionable por el giro y/o posición local del elemento,  
donde el sensor comprende una estructura de bucles suavemente magnética poblada de un número  
10 determinable de dominios magnéticos (D) y provista de paquetes de capa GMR o TMR para la detección del  
campo magnético exterior, donde están previstos al menos dos bucles separados ( $S_1$ ,  $S_2$ ) que comprenden en su  
mayoría secciones parciales ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{14}$  y  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{23}$ ,  $S_{24}$ ) rectas y dispuestas entre sí a modo de rombo  
**caracterizado por el hecho de que** los al menos dos bucles están conectados entre sí a través de un punto de  
intersección común (K), donde de forma respectiva inmediatamente antes del área de intersección, en la que y  
15 después de la cual los dominios (D) pueden cambiar de un bucle al bucle adyacente, estas secciones de la  
estructura de bucles están dobladas al contrario del sentido existente de la dirección de la guía de la pista  
conductoras y en esta zona están configuradas a modo de sifón, curvadas orientadas hacia el interior de la  
estructura de bucles, donde las pistas conductoras en los hundimientos respectivos a modo de sifón ( $Sk_1$ ,  $Sk_2$ ) se  
cruzan perpendicularmente en el punto de intersección (K) y todos los componentes citados de las estructuras de  
bucles están dispuestos en solo un plano común.
- 20 2. Sensor magnético según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** están previstos para el logro  
del cambio de dirección de la guía de la pista conductora ángulos de acodamiento ( $\alpha$ ) antes de que los  
segmentos rectos de la pista conductora ( $S_{13}$ ,  $S_{241}$  y  $S_{14}$ ,  $S_{231}$ ) entren en las secciones de hundimientos ( $Sk_1$ ,  
 $Sk_2$ ), que respectivamente están configurados en magnitud  $> 45^\circ$  y más pequeños que  $90^\circ$ , preferiblemente más  
pequeños que  $55^\circ$ .
- 25 3. Sensor magnético según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** la zona de las pistas  
conductoras, en las que se cruzan los hundimientos a modo de sifón respectivos ( $Sk_1$ ,  $Sk_2$ ) en perpendicular,  
está configurada aproximadamente tan larga que ocupa el margen de tamaño del triple de la anchura de la pista  
conductoras (b).
- 30 4. Sensor magnético según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** la dimensión de los  
hundimientos a modo de sifón ( $Sk_1$ ,  $Sk_2$ ) se ha fijado entre  $0,5 \mu\text{m}$  hasta  $10 \mu\text{m}$ .
- 35 5. Sensor magnético según la reivindicación 1 y una o varias de las reivindicaciones 2 hasta 4, **caracterizado  
por el hecho de que** dentro de una estructura de bucles cerrada en sí misma están previstos más de dos bucles  
separados, que están conectados entre sí respectivamente al bucle adyacente respectivamente mediante  
secciones de bucles configuradas de forma curvada a modo de sifón.
- 40 6. Sensor magnético según la reivindicación 1 o 5, **caracterizado por el hecho de que** están previstas más de  
dos estructuras de bucles, que están conectadas entre sí respectivamente por medio de secciones de bucles  
curvadas a modo de sifón, donde un número variable de estas estructuras respectivas de bucles cerradas  
respectivamente en sí mismas están provistas de pistas conductoras separadas entre sí para la conducción de  
dominios y dispuestas de forma muy adyacente en un plano, que comprenden entre sí un número de bucles  
45 prefijable de forma variable.
7. Sensor magnético según la reivindicación 6, **caracterizado por el hecho de que** el número de las espiras por  
cada estructura de bucles cerrada en sí misma está fijada respecto al número de las espiras de las otras  
estructuras de bucles en números primos entre sí.
- 50 8. Sensor magnético según la reivindicación 1 y 5, **caracterizado por el hecho de que** en una estructura de  
bucles cerrada en sí misma conformada a modo de rombo, que comprende más de dos bucles que se cruzan,  
las intersecciones (K) están dispuestas sobre una diagonal una frente a la otra.

55



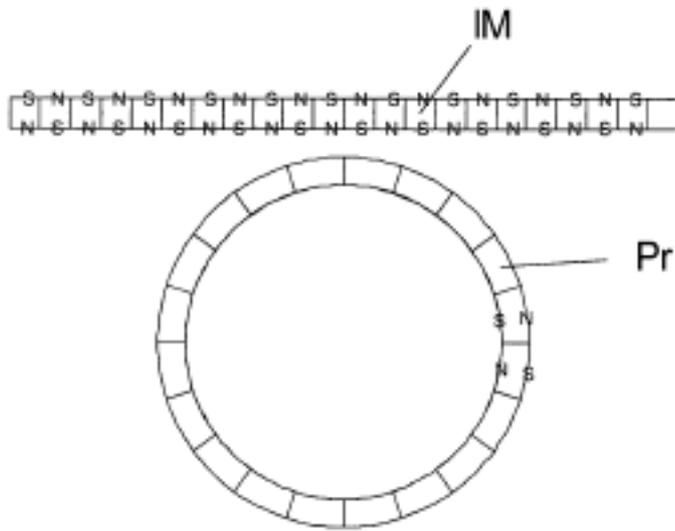


Fig. 1c

|   |        |
|---|--------|
| 5 nm Ta                                 |        |
| 10 nm Ir <sub>19</sub> Mn <sub>81</sub> | ↔↔↔↔↔↔ |
| 5 nm Co <sub>90</sub> Fe <sub>10</sub>  | ←      |
| 0.8 nm Ru                               |        |
| 4 nm Co <sub>90</sub> Fe <sub>10</sub>  | →      |
| 2.5 nm Cu                               |        |
| 0.5 nm Co                               |        |
| 5 nm Py                                 |        |
| 5 nm Ta                                 |        |

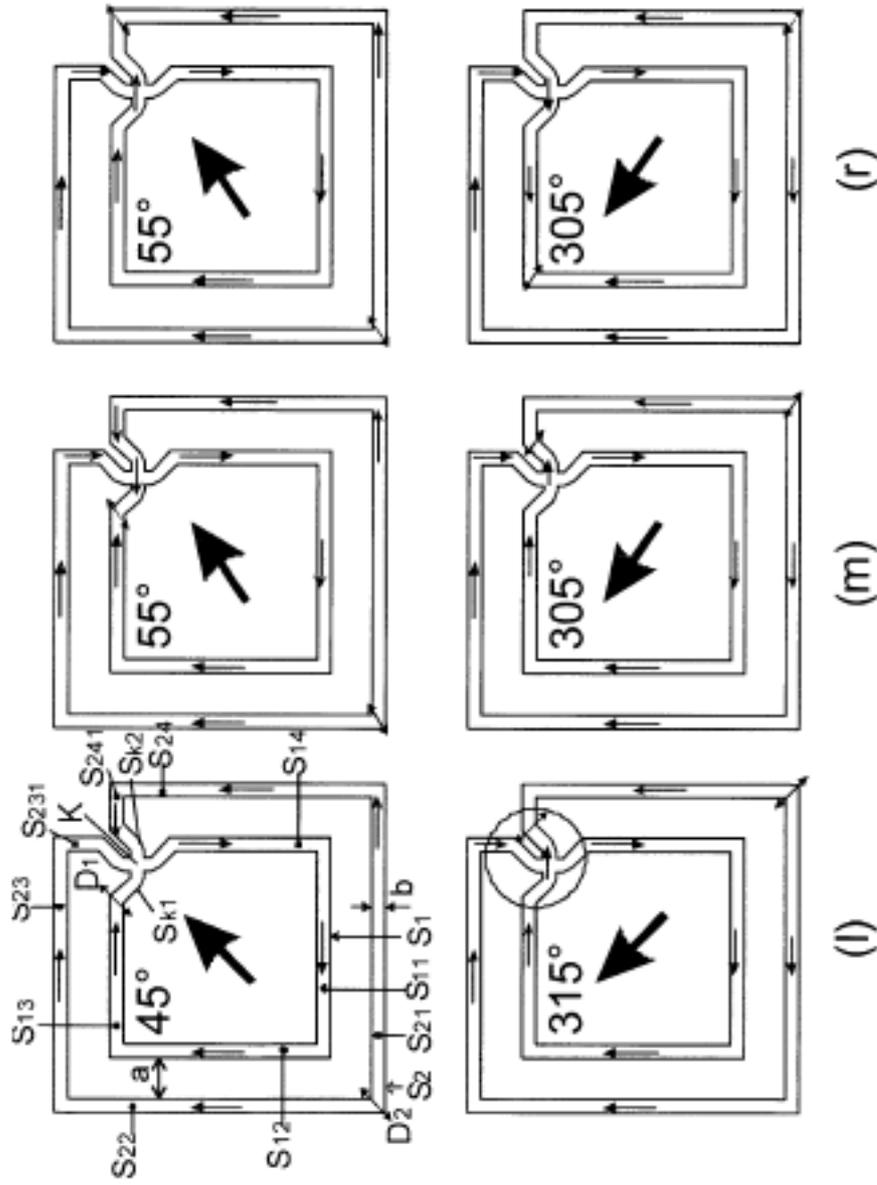


Fig. 3

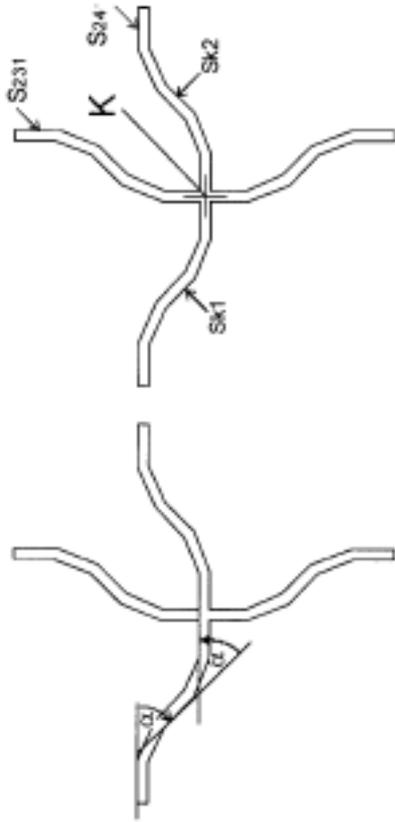


Fig. 3a

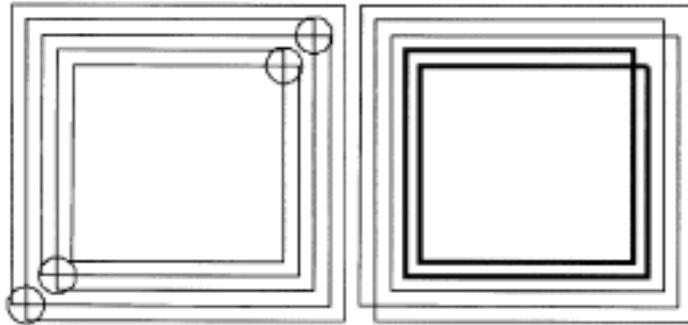


Fig. 4

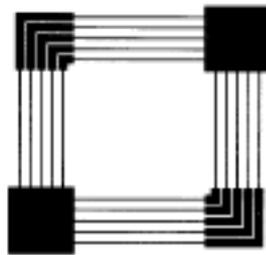


Fig. 5