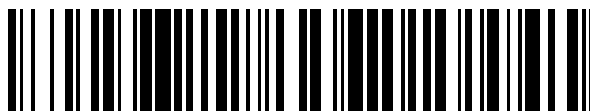


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 529**

51 Int. Cl.:

**G01P 3/488** (2006.01)  
**G01D 5/16** (2006.01)  
**G01D 5/20** (2006.01)  
**G01P 13/04** (2006.01)  
**G01D 3/02** (2006.01)  
**G01D 5/14** (2006.01)  
**G01P 3/487** (2006.01)  
**G01D 5/244** (2006.01)  
**G01R 33/09** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.12.2016 PCT/DE2016/000433**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **15.06.2017 WO17097284**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2016 E 16828919 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 3387387**

54 Título: **Cuentarrevoluciones magnético para la autodetección de estados de error al determinar el número de revoluciones detectables con este cuentarrevoluciones**

30 Prioridad:

**11.12.2015 DE 102015016164**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.05.2020**

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:

**DIEGEL, MARCO;  
DINGLER, PETER;  
MATTHEIS, ROLAND y  
SCHERZINGER, MANFRED**

74 Agente/Representante:

**TOMAS GIL, Tesifonte Enrique**

ES 2 763 529 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

Cuentarrevoluciones magnético para la autodetección de estados de error al determinar el número de revoluciones detectables con este contarrevoluciones

[0001] La invención se refiere a un contarrevoluciones magnético para la autodetección de estados de error en estos contarrevoluciones y para la determinación del número de revoluciones detectables con este contarrevoluciones de un campo magnético exterior, que se puede usar ventajosamente en varios campos de la técnica, en particular, en la construcción de automóviles y transmisiones, ya que dicho contador de revoluciones se puede miniaturizar y operar sin corriente.

[0002] En principio, los contarrevoluciones para el recuento sin revoluciones y sin potencia de revoluciones, mediante el uso de paredes de dominio magnéticas (PD), son conocidos per se y, por ejemplo, se describen en detalle en las DE 10 2008 063 226 A1, DE 10 2010 022 611 A1, DE 10 2011 075 306 A1 y DE 10 2013 018 680 A1.

[0003] El contarrevoluciones mostrado en los documentos anteriores tiene en común: Los sistemas de sensores utilizados comprenden al menos un elemento sensor y al menos un campo magnético externo, donde el elemento sensor se mueve o gira sin contacto en el campo magnético o el campo magnético en el elemento sensor.

[0004] El elemento sensor presenta al menos parcialmente una estructura de capas que consiste en al menos una capa magnética dura y al menos una capa magnética blanda, separada de una capa no magnética. Durante el funcionamiento del sistema de sensores, girar o mover el campo magnético por el elemento sensor (o viceversa) solo puede cambiar la magnetización de la capa magnética blanda y no puede cambiar la magnetización de la capa magnética dura. Como resultado, la magnetización de la capa magnética blanda en el elemento sensor se orientará en su totalidad o parcialmente, de manera bastante paralela o más bien antiparalela, hacia la magnetización de la capa magnética dura. Esta orientación diferente de las magnetizaciones conduce a una diferencia de la resistencia eléctrica en diferentes secciones de pista conductora, que puede leerse mediante el efecto GMR o TMR.

[0005] Dentro de la capa magnética blanda, dos zonas magnetizadas están separadas entre sí, de manera diferente, por una pared de dominio magnético (PD).

[0006] Durante el funcionamiento del sistema sensor, un cambio en la posición del campo magnético externo, por ejemplo, por rotación, en el elemento sensor, conduce al movimiento sin potencia de las paredes del dominio magnéticas existentes en el elemento sensor.

[0007] Las posiciones de lectura de la PD, asociadas con las revoluciones detectables concretas del contarrevoluciones (números de revoluciones), se determinan de manera biunívoca y se calculan en un componente electrónico de evaluación. En formas de realización preferidas, una pluralidad de elementos sensores o una pluralidad de partes de un elemento sensor en puentes de Wheatstone o semipuentes de Wheatstone están interconectados eléctricamente, por lo que se suprime la influencia de la temperatura en la señal magnetorresistiva.

[0008] Los contarrevoluciones según la DE 10 2008 063 226 A1 están formado geométricamente por una espiral en forma de rombo, que termina en un extremo en una superficie grande. Esta superficie grande, preferiblemente circular, actúa como un generador de pared de dominio (GPD) y está hecho del mismo material que la espiral. Después de cada rotación del campo magnético de 180° o cada rotación del elemento sensor de 180°, se genera una denominada pared de dominio de 180° en la transición de superficie-espiral en este generador de pared de dominio. Esta PD de 180° se mueve hacia la espiral. Las PD de 180° generadas se transportan en la dirección de rotación del campo magnético hacia el extremo de la espiral, o bien, las paredes de dominio se transportan en la dirección de rotación opuesta al sentido de rotación hacia el GPD. En este caso, la PD de 180° que llega desde la espiral se aniquila primero con el GPD de 180° generado al mismo tiempo en el GPD. La espiral puede ser eliminada progresivamente por las paredes del dominio, mediante la rotación sucesiva del campo magnético. La rotación del elemento sensor relativo al sistema magnético montado de manera fija es equivalente a la rotación del campo magnético en el elemento sensor fijo.

[0009] El contarrevoluciones rotativo según la DE 10 2011 075 306 A1 consta de dos espirales en forma de rombo, cada una con un GPD en un extremo con sentido de rotación opuesto, o de una combinación de estas dos espirales con solo un GPD en un extremo o en el medio.

[0010] Según las DE 10 2008 063 226 A1 y DE 10 2011 075 306 A1, es común a estos dos contarrevoluciones el hecho de que el número de paredes del dominio de 180° en cada espiral cambia por 1 para cada media revolución.

[0011] Esto ocurre de manera diferente con los cuentarrevoluciones que presentan al menos un bucle cerrado con al menos una intersección (DE 10 2013 018 680 A1) o al menos un bucle cerrado con al menos un puente (DE 10 2010 022 611 A1). En estos cuentarrevoluciones, los dos extremos de una espiral estaban conectados entre sí con un bucle cerrado. Para  $n$  espiras, la conexión directa cruza  $(n-1)$  espiras. Una espiral de dos espiras se convierte, de esta manera, en un bucle con una intersección y una espiral de tres espiras se convierte en un bucle con dos intersecciones. Cada espira puede acomodar un máximo de dos paredes de dominio, de modo que puede existir un máximo de  $2n$  paredes de dominio en un bucle con  $n$  espiras.

[0012] En un bucle cerrado no se genera ni destruye ninguna PD en la operación de recuento regular. Una destrucción o creación de paredes de dominio provocaría un error de recuento y debe excluirse. Los cuentarrevoluciones rotativos con al menos un bucle cerrado requieren que, en un proceso de inicialización, se escriba un número preciso de paredes de dominio en el elemento sensor.

[0013] Algunas formas realización de cuentarrevoluciones de espirales abiertas con GPD pueden inicializarse mecánicamente. Esto sucede, por ejemplo, en una espiral con  $n$  espiras al mover el elemento sensor o el imán exterior del sistema sensor al menos  $n$  revoluciones para llenar completamente la espiral con las paredes de dominio. La rotación posterior en la dirección opuesta por  $n$  revoluciones vacía la espiral de las paredes de dominio. Para aplicaciones que cuentan las revoluciones a la derecha y a la izquierda, la espiral se llena al máximo con PD con  $n$  revoluciones para la inicialización en la posición media y posteriormente se vacía hasta  $n/2$  PD con  $n/2$  revoluciones con sentido de rotación opuesto.

[0014] Todos los cuentarrevoluciones descritos anteriormente tienen en común que el recuento de revoluciones se realiza sin potencia mediante el transporte de paredes de dominio en bucles cerrados, o mediante el transporte con la creación o destrucción de paredes de dominio en espirales abiertas. El almacenamiento de las revoluciones contadas a través de posiciones de PD unívocas y/o números de PD en el elemento sensor también se realiza sin rendimiento.

[0015] En cambio, se requiere potencia para leer el elemento sensor. Para ello, en formas de realización preferidas, se usa el efecto de magnetorresistencia gigante (en inglés, Giant Magnetoresistance Effect o GMR) o el efecto de magnetorresistencia túnel (en inglés, Tunnel Magnetoresistance Effect o TMR), donde una pluralidad de elementos sensores o partes de un elemento sensor según el estado de la técnica conocido están conectados en semipuentes de Wheatstone o puentes de Wheatstone.

[0016] Según la magnetización, un elemento sensor presenta resistencias eléctricas diferentes en diferentes segmentos, o potenciales diferentes, que son legibles cuando el elemento sensor o una parte de un elemento sensor está conectado en semipuentes de Wheatstone o puentes de Wheatstone. Para leer el estado de magnetización, se conduce una corriente de medición a través del elemento sensor (o del (semi) puente de Wheatstone) y el resultado de medición se compara con los umbrales definidos. Dependiendo de si un valor umbral es inferior o superior, se puede decidir si el resultado de medición corresponde o no, por ejemplo, al estado "una PD está presente en este semipuerto".

[0017] En los cuentarrevoluciones según la DE 10 2008 063 226 A1 se introdujo por primera vez una forma de rombo con contacto individual de medias espiras en semipuentes de Wheatstone. Esta configuración particularmente ventajosa con forma de cuadrado usa cuatro redes por espira entre sí en el ángulo de  $90^\circ$ . Respectivamente, dos redes están conectadas entre sí con cuartos de círculo o poligonales de cuarto de círculo. Los cuartos de círculo están cubiertos con contactos eléctricos, que cubren las partes adicionales de las redes adyacentes, de manera que las partes no conectadas de todas las redes entre los contactos eléctricos son preferiblemente de la misma longitud. Las cuatro redes de cada espiral están conectadas en dos semipuentes de Wheatstone. La dirección de referencia se encuentra en las diagonales del rombo o del cuadrado y perpendicular a la línea entre el contacto de VCC y el contacto de GND. Como resultado, siempre es posible una asignación biunívoca al número de revoluciones con solo una espiral cuadrada (con forma de rombo) para cada ángulo de campo. Esto permite, como se muestra en la publicación "IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45, N°. 10, pp 3792 - 3795, 2009", una asignación biunívoca de la magnetización con la revolución contada para todas las revoluciones contables con el sensor.

[0018] Esta geometría permite cuentarrevoluciones con un número de revoluciones detectables de  $n > 10$ . Técnicamente, en el sistema de sensores "RSM 2800" la empresa Novotechnik, se realiza una espiral cuadrada para recuentos de hasta 16 revoluciones.

[0019] Las zonas geométricas, en las cuales se localizan las paredes de dominio dentro de la espiral o el bucle la mayoría del tiempo, se denominan a continuación capas de pared de dominio (capas de PD). En el caso de las espirales con forma de cuadrado o rombo, estos son los cuartos de círculo o poligonales en forma de cuarto de círculo, que conectan entre sí respectivamente dos redes rectas. Para que una PD pase a través de un cuarto de círculo, el campo magnético exterior debe rotarse  $90^\circ$  más un ángulo de histéresis de típicamente  $5^\circ$  a  $20^\circ$ . Tan pronto como la PD se transporte a la red de cuarto de círculo de transición y el campo contiguo salga de la PD, la

PD pasa a través de la red con una velocidad de varios 100 m/seg en pocos 100 ns. Dentro de este tiempo muy corto, la rotación del campo magnético es insignificamente pequeña.

[0020] Por cada espira, hay cuatro cuartos de círculo en una espiral cuadrada (o un bucle cuadrado) y, por lo tanto, cuatro capas de PD, que están cubiertas con los contactos eléctricos de dos semipuentes de Wheatstone. Sobre una capa de PD se encuentra el contacto de VCC, sobre las capas de PD opuestas, el contacto de GND y las dos capas de PD intermedias están cubiertas respectivamente con un contacto central.

[0021] En todos los cuentarrevoluciones descritos anteriormente según el estado de la técnica conocido, las capas de PD en contacto con un contacto central de semipuentes de Wheatstone tienen una distancia angular de 180°.

[0022] A través de la elección de la dirección de la magnetización de referencia en la pila de capas de GMR, el semipuerto de Wheatstone está en el potencial medio, cuando una PD se coloca en las capas de PD debajo del contacto central y está en el potencial alto o en el potencial bajo, cuando la PD se encuentra en las capas de PD, debajo del contacto de VCC o de GND. Para la pila de capas de TMR, esto se puede elegir de manera más variable.

[0023] Para cada rotación del campo magnético de 180°, las paredes de dominio almacenadas en el elemento sensor se transportan en una operación sin errores en el semipuerto de Wheatstone adyacente. En el caso de los cuentarrevoluciones con número de PD constante, las capas de PD cambian, en este caso, por la distancia angular de 180° en el elemento sensor y, en el caso de la espiral con un GPW, se modifica también el número de las paredes de dominio en la espiral por una PD. La detección de este movimiento se logra mediante la lectura eléctrica de los puentes o semipuentes de Wheatstone.

[0024] Todos estos cuentarrevoluciones tienen en común que el campo H de los imanes del elemento sensor deben estar, durante la operación, dentro de una "ventana magnética" entre  $H_{\min}$  y  $H_{\max}$ , donde  $H_{\min}$  debe ser mayor que el campo de depinning máximo  $H_{\text{depinn}}$  y  $H_{\max}$ , menor que el campo de nucleación  $H_{\text{nuc}}$  del elemento sensor:

$$H_{\text{depinn}} < H_{\min} \leq H \leq H_{\max} < H_{\text{nuc}}$$

[0025] El campo máximo  $H_{\max}$  y el campo mínimo  $H_{\min}$  se determina por la aplicación. También es común a todos estos cuentarrevoluciones el hecho de que los elementos sensores se prueben adecuadamente en el campo máximo  $H_{\max}$  y en el campo mínimo  $H_{\min}$  de la aplicación, con respecto a una cierta probabilidad de errores de, por ejemplo, menos de 10<sup>-7</sup>. Dentro de esta ventana magnética las paredes de dominio se transportan de forma segura.

[0026] Con la excepción de los cuentarrevoluciones según la DE 10 2011 075 306 A1, es común a todos los cuentarrevoluciones descritos anteriormente según el estado de la técnica, que no se proporciona ningún reconocimiento de los estados de error y no se implementa ninguna forma de realización.

[0027] Los cuentarrevoluciones según la DE 10 2011 075 306 A1 utilizan una disposición de dos espirales (con forma de rombo) con un sentido de rotación opuesto, para detectar estados de error, a través de paredes de dominio eliminadas o paredes de dominio nucleadas. Las dos espirales poseen un generador de pared de dominio (GPD) o un GPD común en medio. Por consiguiente, en la operación de recuento regular se inyecta, por 180° de rotación de campo, una PD en una espiral y, se transporta lejos de la PD, y al mismo tiempo en la otra espiral, una PD transportada al GPD se elimina por aniquilación con una PD inyectada por el GPD. En las posiciones finales bloqueadas mecánicamente, por ejemplo, en una posición final, la espiral con sentido de rotación CCW (contrario al sentido de las agujas del reloj) está completamente llena de paredes de dominio, y la espiral con sentido de rotación CW (sentido de las agujas del reloj) no tiene PD y en la otra posición final la espiral con sentido de rotación CCW no tiene PD, y la espiral con sentido de rotación CW está completamente llena de paredes de dominio. El número total de las paredes de dominio en ambas espirales permanece igual en estos cuentarrevoluciones. Esto permite detectar cuando se nuclean o aniquilan paredes de dominio en una espiral, ya que, en consecuencia, cambia el número total en las paredes de dominio en comparación con el número de PD que se proporciona en la operación de recuento regular. Debido al hecho de que, en la operación de recuento regular, el número de PD permanece constante solo en la suma, pero no en cada espiral individual, no es posible detectar en el estado de error en qué espiral se produce el error. Por lo tanto, tampoco es posible con esta solución determinar el número de revoluciones en el estado de error.

[0028] La detección de mediciones erróneas y/o funciones erróneas de sensores, así como la identificación redundante de valores medidos es, sobre todo, en el sector automovilístico, un requisito frecuente y está sujeto a varias regulaciones y estándares (por ejemplo, ASIL C).

[0029] Los cuentarrevoluciones magnéticos tienen los siguientes estados de error:

- a. Estado de error eléctrico, debido a un cortocircuito dentro del (semi) puente de Wheatstone o la interrupción de una pista conductora o una red de sensores;
- b. Estado de error magnético, debido a la reducción (aniquilación de PD) o aumento (nucleación de PD) del número de PD o del "no movimiento" (parcial) (pinning de PD) de una PD en el elemento sensor;

[0030] Los estados de error eléctricos debido a un cortocircuito o una interrupción de la pista conductora o una interrupción de la red de sensores provocan niveles de señal, que no corresponden con los niveles de señal admisibles de niveles altos, medios o bajos de los (semi) puentes de Wheatstone. Un estado de error eléctrico impide permanentemente la detección de las revoluciones contadas.

[0031] En el estado de error "pinning de PD", al menos una PD no se transporta durante al menos una media revolución durante un recuento de revoluciones, por que se cambia la distancia angular a otras paredes de dominio transportadas regularmente. En el estado de error "aniquilación de PD", una PD se transporta a una PD anclada, de modo que estas dos paredes de dominio se cancelan entre sí. En el estado de error "nucleación de PD", se generan dos paredes de dominio con una distancia angular de 180 ° entre sí en el elemento sensor o se generan múltiplos de dos paredes de dominio. Los estados de error "magnéticos" impiden generalmente la detección correcta del número de revoluciones, es decir, conducen a mediciones erróneas.

[0032] La tarea de la presente invención es crear cuentarrevoluciones, que ya durante la operación, sin la comparación con medios terceros externos, detectan mediciones erróneas del número de revoluciones y, en configuraciones preferidas, la operación adicional del cuentarrevoluciones sin una reinicialización.

[0033] La tarea se resuelve mediante las características de la reivindicación 1, las configuraciones ventajosas son objeto de las reivindicaciones secundarias.

[0034] La esencia de la invención consiste en que, en primer lugar, se proporciona un cuentarrevoluciones magnético para determinar revoluciones de un campo magnético exterior determinadas por un número predefinido, producido mediante un elemento rotatorio, respectivamente una rueda polar, respectivamente una escala magnética lineal,

- que contiene pistas conductoras magnéticas de pared de dominio, que constan de espirales abiertas o consisten en múltiples bucles retorcidos cerrados en sí, que están formadas por una pila de capas de TMR o una capa magnética suave con pilas de capas TMR presentes localmente y
- pueden introducirse en las paredes del dominio magnético de 180 ° y puede localizarse midiendo la resistencia eléctrica de las secciones de espirales o bucles predeterminables según el estado de la técnica conocido;
- donde en este caso según la invención, sin embargo, una o al menos dos paredes de dominio magnéticas, o, en formas de realización preferidas, cuatro paredes de dominio magnéticas están introducidas en las pistas conductoras de paredes de dominio mediante medios para la producción, fijación o cancelación definida de paredes de dominio,
- y se proporcionan contactos eléctricos por encima de las pistas conductoras de paredes de dominio, de tal manera que las pistas conductoras de paredes de dominio se detecten diagonalmente opuestas a cada contacto de CVV o de GND conjuntamente o en los grupos de varios contactos de VCC y GND para la lectura multiplexada y,
- con respecto a la diagonal situada sobre el/los contacto(s) de CVV y GND, ya sea a ambos lados o en formas de realización preferidas según la invención, solo se proporcionan contactos eléctricos exclusivamente unilaterales,
- que entran en contacto con una espira sustancialmente central entre el/los denominado(s) contacto(s) de CVV y GND respectivamente o, en el caso de una lectura multiplexada, con una pluralidad de espiras en cada sección de pista conductora de paredes de dominio que se encuentra entre ellas y
- dichos contactos están conectados a medios puentes de Wheatstone separados, que son preferiblemente legibles en paralelo o, si las lecturas de multiplexación son demasiado rápidas, una detrás de la otra, casi legibles simultáneamente,
- donde las relaciones de resistencia determinadas por los semipuentes de Wheatstone están almacenadas, en forma de tabla, como nivel de señal en una memoria, que, a fin de determinar el número actual de revoluciones, se compara continuamente con los patrones de valor consigna, con forma de tabla, almacenados en una memoria adicional, y correspondientes con el número de revoluciones concreto, y
- cuando no existe ninguna coincidencia entre un patrón de valor consigna de error y las relaciones de resistencia determinadas por los semipuentes de Wheatstone, estas se comparan con un patrón de valor consigna de error, con forma de tabla, almacenado en una memoria adicional, que corresponde al número específico de revoluciones y a un error específico y
- está emitido como valor de desplazamiento o de rotación biunívoco o inmediatamente como un error no corregible.

[0035] Como alternativa a la lectura del elemento sensor con mediciones de potencial mediante una interconexión en semipuentes de Wheatstone, la invención también permite leer el elemento sensor mediante la medición de las resistencias (de TMR) de todas las espiras. Para este propósito, cada espira individual se pone en contacto con un contacto de GND y un contacto de VCC en cada caso, o en formas de realización preferidas con lectura multiplexada, con un contacto de GND común y un contacto de VCC, cada uno en una espira, o con un contacto de VCC común y un contacto de GND, cada uno en una espira. Los contactos de VCC y de GND están dispuestos preferiblemente de manera diagonal opuestos entre sí. La figura 15 muestra una forma de realización para esta interconexión. Las resistencias determinadas aquí están almacenadas de manera conjunta como nivel de señal, en forma de tabla, en una memoria, como en el caso de la interconexión con semipuentes de Wheatstone, que, a fin de determinar el número actual de revoluciones, se compara continuamente con los patrones de valor consigna, con forma de tabla, almacenados en una memoria adicional, y correspondientes con el número de revoluciones concreto.

[0036] Según el estado de la técnica, las formas de realización preferidas comprenden un sensor de ángulo de rotación o un sensor cuadrante para comparar los valores medidos solo con los patrones de valor consigna, mediante la preselección de un cuadrante de ángulo de campo, que están vinculados al cuadrante de ángulo de campo medido. Esto reduce el número de las comparaciones máximas requeridas a un cuarto y, de este modo, acelera la determinación del número de revoluciones.

[0037] El número comparaciones máximas requeridas para la determinación del número de revoluciones se mantiene aún más bajo, de manera que el número de PD permanece constante en la operación de recuento regular, por lo que debe existir un patrón de señal posible por revolución y cuadrantes angulares de campo y, por lo tanto, también solo se debe almacenar cada vez un patrón de valor consigna para la comparación.

[0038] Según la invención actual, las espirales abiertas que forman las pistas conductoras de paredes de dominio o los múltiples bucles retorcidos cerrados en sí tienen sustancialmente forma de rombo, donde dichos contactos detectan las zonas de las esquinas de los rombos. Además, la separación definida cuando se utilizan dos paredes de dominio adyacentes está fijada preferentemente a  $540^\circ$  según la invención.

[0039] En vez del uso de pilas de capas de GMR, también es posible según la invención, producir las pistas conductoras de paredes de dominio de un material magnético blando, por ejemplo, Permalloy, y colocar los contactos de GND y de VCC por encima de la pila de capas de TMR, que se proporciona por encima de las pistas conductoras de paredes de dominio, por ejemplo, en el centro. Por el contrario, los contactos medios eléctricos ponen en contacto la pista conductora de paredes de dominio magnética suave aquí directamente en las zonas de las esquinas de los rombos mencionados.

[0040] La esencia para determinar los números de revoluciones es que la determinación de la revolución contada se lleva a cabo por medio de un componente electrónico de evaluación, que, en un primer paso, se realiza una comparación de las señales de todos los semipuentes de Wheatstone leídos (o de las resistencias de todas las espiras durante la medición de resistencia) y se efectúa con una tabla almacenada, en la que, para cada rotación contable, están depositadas las señales respectivas de los semipuentes de Wheatstone (o de las resistencias de todas las espiras). Es decir, el componente electrónico de evaluación emite como revolución contada aquella, la que, el patrón de los voltajes de señal medidos desde la espira 1 hasta la espira n de las espirales abiertas o en bucles dobles retorcidos cerrados en sí coincide con un patrón de señal almacenado para la espira 1 hasta la espira n. Si no se descubrió ninguna coincidencia, se realiza en un segundo paso de la comparación de las señales medidas de todos los semipuentes de Wheatstone leídos (o de las resistencias de todas las espiras durante la medición de resistencia) con una tabla almacenada adicional, en la que, para cada revolución contable y para cada estado de error posible, las señales respectivas de los semipuentes de Wheatstone (o las resistencias de todas las espiras) se depositan en una memoria adicional.

[0041] A causa del ángulo de  $90^\circ$ , en las formas de realización preferidas con una espiral cuadrada o bucle cuadrado cerrado en sí se modifica el potencial según la rotación de campo respectiva de  $90^\circ$ , de modo que está guardado al menos, para cada zona angular de campo de  $90^\circ$  (cuadrante de ángulo de campo), un patrón de valor consigna correspondiente, que se selecciona con el valor medido del sensor de ángulo (sensor cuadrante respectivo) para la comparación con las señales del cuentarrevoluciones. En consecuencia, para cada cuadrante del ángulo de campo se mantienen adicionalmente los patrones de valor consigna de error para la comparación.

[0042] Los patrones de magnetización grabados en los bucles o las espirales permiten, por consiguiente, una determinación biunívoca de las revoluciones contadas por sí mismas, mediante una histéresis admisible de  $\pm 45^\circ$ . Por razones de seguridad operativas, se escogen siempre las intensidades de campo (por ejemplo, 120 % de  $H_{\min}$ ) elegir, en las que la histéresis real siempre es significativamente menor que  $\pm 30^\circ$ .

[0043] Todas las configuraciones de los cuentarrevoluciones según la invención poseen, para cada revolución contable, un patrón de magnetización biunívoco (PM). Cada elemento sensor con una pila de capas de GMR está conectado en (semi) puentes de Wheatstone y se lee a través de mediciones de potencial. Los elementos sensores con una pila de capas de TMR pueden conectarse en (semi) puentes de Wheatstone. Alternativamente, en vez de una medición del potencial, también puede producirse una medición de las resistencias del contacto

de túnel, a causa de la gran carrera de TMR de >100%. A diferencia del estado de la técnica, el componente electrónico de lectura según la invención lee siempre todos los (semi) puentes de Wheatstone o las resistencias del contacto de túnel casi simultáneamente. Los niveles de señal medidos de los (semi) puentes de Wheatstone se procesan en una secuencia definida, por ejemplo, en una espiral con n espiras en el orden de espiral 1 a espiral n. Este orden en los niveles de señal se denominará en lo sucesivo secuencia de nivel de señal (SNS). Las SNS medidas se comparan con la SNS del valor consigna almacenada, que se mantienen para cada revolución contable del componente electrónico de lectura. Estas SNS de valores consigna son nuevas en comparación con el estado de la técnica y permiten, por primera vez, la detección segura de estados de error eléctricos y magnéticos. Los estados de error eléctricos detectan el componente electrónico de lectura por medio de un nivel de señal inadmisibles y estados de error magnéticos, por ejemplo, en dos pasos. En el primer paso, el componente electrónico de lectura reconoce un estado de error magnético de que no existe ninguna coincidencia entre la SNS medida y un valor consigna de SNS. En el segundo paso, el componente electrónico de lectura detecta el estado de error haciendo coincidir la SNS medida con una SNS de error de valor consigna, que se mantienen para cada error de recuento concebible y para cada revolución contable del componente electrónico de lectura en formas de realización ventajosas, o se calculan mediante el componente electrónico de lectura. La provisión o el cálculo de la SNS del error del valor consigna es novedoso con respecto al estado de la técnica. Dependiendo del PM inicializado, el componente electrónico de lectura en formas de realización ventajosas genera un valor de error o un valor de error y, no obstante, el número de revoluciones correcto.

[0044] La detección de los tres posibles tipos de errores magnéticos, PD de pinning, aniquilación de PD y nucleación de PD solo es posible cuando en la operación de recuento regular permanece de forma constante el número de PD. Las configuraciones ventajosas según la invención utilizan elementos sensores, en los que el número de PD después de la inicialización permanece siempre inalterado durante la operación de recuento sin errores, es decir, o no tienen ningún generador de PD (GPD) o dos generadores de PD complementarios (es decir, un GPD es generado por el primer GPD, mientras que al mismo tiempo una PD es aniquilada en el segundo GPD).

[0045] Las configuraciones ventajosas según la invención utilizan elementos sensores, en los que el número de PD permanece constante durante la operación de recuento sin errores, e inicializan el PM con cuatro o más paredes de dominio, que permiten siempre la detección del número de revoluciones. Estos PM son redundantes en la lectura del número de las revoluciones contadas y también son novedosos con respecto al estado de la técnica conocido.

[0046] Otras configuraciones ventajosas según la invención utilizan elementos sensores que permiten topológicamente un recuento de revoluciones redundante.

[0047] El núcleo del cuentarrevoluciones según la invención es la combinación de componentes del dispositivo, de los elementos sensores con PM definido, y de la SNS del valor consigna almacenada en memorias y SNS de error del valor consigna y de la comparación de la SNS medida con la SNS del valor consigna y de la SNS de error del valor consigna. La nueva retención de la SNS del valor consigna con respecto al estado de la técnica y la SNS de error del valor consigna y su comparación con la SNS realmente determinada se realiza en un componente electrónico de lectura en configuraciones ventajosas. Si se combina este componente electrónico de lectura reciente según el estado de la técnica con elementos sensores según el estado de la técnica, la supervisión de errores durante la operación de recuento se hace posible por primera vez incluso con estos cuentarrevoluciones conocidos per se.

[0048] Las configuraciones ventajosas de la invención utilizan patrones de magnetización (PM) con un número de PD constante. Un PM se define a través de las posiciones inicializadas de paredes de dominio o de huecos entre PD (HPD) dentro de una cadena de paredes de dominio en el PM. Para que un PM sea adecuado para determinar el número de revoluciones, todos los PM, que se generan durante el movimiento debido a un cambio de campo magnético, deben presentar señales eléctricas significativamente diferentes. Un patrón sencillo con esta característica surge de un PM, que contiene un elemento sensor, que inicialmente está completamente ocupado por paredes de dominio, mediante la eliminación de al menos dos paredes de dominio adyacentes. Es decir, estas dos PD han sido sustituidas por dos HPD con una distancia angular de 180° entre sí, por lo que surge una distancia angular de 540° entre las dos paredes de dominio permanentes, que limitan respectivamente con el HPD. En la operación de recuento regular se transporta este PM dentro del elemento sensor sincrónicamente con las revoluciones contadas, donde las distancias angulares entre cada vez dos paredes de dominio en el PM permanecen constantes durante la mayoría del tiempo. Solo durante el transporte de los PM, debido a la histéresis del movimiento de la pared del dominio, el paso de la PD a través de la red se produce en unos pocos grados de manera diferente.

[0049] La inicialización del PM puede ocurrir tanto en espirales abiertas según el estado de la técnica como en bucles cerrados con un campo de Oerstedt inducido por corriente. En el caso de la eliminación de PD, siempre se aniquilan dos paredes de dominio adyacentes debajo de una pista conductora (25 en la figura 3a) o, en la producción de PD siempre se nuclean dos PD debajo de la pista conductora (25 en la figura 3a), que se separan inmediatamente a una distancia angular de 180°.

[0050] Las configuraciones ventajosas utilizan semipuentes de Wheatstone, que se leen todos siempre en una secuencia definida, por ejemplo, desde el extremo hasta la espiral más interna de una espiral.

[0051] Debido al ángulo de 90° en la espiral o bucle ventajosamente cuadrados, se modifica el potencial después de cada rotación de campo de 90°, de modo que surge una otra secuencia del nivel de señal para cada zona de ángulo de campo de 90° (cuadrante del ángulo de campo).

[0052] Un PM se representa a través del nivel de señal de los semipuentes de Wheatstone con la posición de PD, en los cuales se localizan las paredes de dominio. Es decir, dentro de la secuencia de nivel de señal (SNS) de todos los semipuentes, la secuencia de nivel de señal del PM (PM de SNS) está correctamente definida en la operación de recuento regular para un cuadrante de ángulo de campo determinado y es diferente de todas las otras SNS, que corresponden a otros cuadrantes del ángulo de campo, ya que modifica la posición del PM de SNS dentro de la SNS con el número de revoluciones. Con ayuda de la posición del PM de SNS, o con ayuda de la posición de una PD dentro del PM de SNS, el componente electrónico de lectura detecta el número de revoluciones.

[0053] Las configuraciones ventajosas determinan el número de revoluciones, mientras el componente electrónico de evaluación lleva a cabo una comparación entre la SNS de todos semipuentes de Wheatstone leídos con una tabla almacenada, que, para cada rotación contable (subdividida para cada cuadrante del ángulo de campo), ha depositado la respectiva SNS del valor consigna de los semipuentes de Wheatstone. Es decir, el componente electrónico de evaluación emite como número de revoluciones aquel, en el que la SNS medida desde el semipiente de Wheatstone 1 (W1) hasta el semipiente de Wheatstone n (Wn) coincide con una SPF del valor consigna almacenada para W1 hasta Wn. Antes de la comparación, el valor de medición del sensor angular se evalúa para determinar el cuadrante de ángulo de campo correspondiente (véase la figura 2), respectivamente de las secciones de escala de ángulo o lineales, según la configuración del elemento magnético accionado.

[0054] El componente electrónico de lectura reconoce, mediante la comparación de la SNS medida con los valores consigna almacenados también, si el número de PD se ha modificado en comparación con el número en el PM inicializado o si, con mismo número de PD, se ha modificado la distancia angular entre (al menos) dos paredes de dominio. Estos errores dan como resultado una SNS, que no coincide con los valores consigna. Depende del tipo del error, del número de las paredes de dominio inicializadas en el PM y de una SNS (adicionalmente) almacenada con estados de error, el hecho de si el componente electrónico de lectura puede o no generar aun un número de revoluciones plausible en este caso de error. Esto se describirá con más detalle a continuación.

[0055] Para aclarar adicionalmente lo anterior y la invención, sirven los siguientes ejemplos de realización ventajosos, pero no limitantes, de la invención y las figuras.

[0056] Se muestran:

figura 1 los componentes esenciales de un cuentarrevoluciones según la presente invención;  
 figura 2 un diagrama de flujo para la secuencia de la determinación de una revolución correlacionado con los grupos de componentes correspondientes;  
 figuras 3a a 3l esquemáticamente tres geometrías del elemento sensor, que permiten un número de PD constante con un patrón de magnetización (PM) que consiste en dos paredes de dominio (figuras 3a, 3c y 3d), o con un PM con dos huecos entre PD (figura 3b). Las figuras 3e a 3i, respectivamente 3i a 3l, muestran cómo el recuento de revoluciones transporta el PM con dos paredes de dominio, respectivamente dos huecos entre PD, por el elemento sensor. Los PM representados están dibujados sin histéresis y no se encuentran en ningún estado de error;  
 figuras 4a a 4k esquemáticamente un PM en una espiral cuadrada de cinco espiras con dos puntas. Se muestra cómo la histéresis repercute sobre las posiciones de PD dentro de un PM (figura 4a y 4b). Las figuras 4c y 4d muestran dos PMs sin errores y las figuras 4e a 4k, un PM con estados de error ejemplares. Se describe si estos PM permiten o no la determinación del número de revoluciones en el estado de error;  
 figura 5 un primer ejemplo principal para la configuración del elemento sensor requerido con el "contacto de 180°";  
 figura 6 por medio de una segunda configuración principal del elemento sensor requerido, la escritura de un patrón de magnetización preferiblemente proporcionado según la invención;  
 figura 7 un tercer ejemplo principal para la configuración de un elemento sensor requerido con un "contacto de 360°" según la invención;  
 figura 8 un cuarto ejemplo principal para la configuración del elemento sensor requerido con una división según la invención en dos zonas lógicas del elemento sensor;  
 figura 9 un quinto ejemplo principal para la configuración del elemento sensor requerido con una disposición de redes dobles según la invención;



figuras 10a y 10b esquemáticamente la detección del número de revoluciones redundante en un elemento sensor con tres bucles individuales coprimos en el funcionamiento regular y cuando aparece un estado de error;

figuras 11a a 11h esquemáticamente un PM en un elemento sensor conocido del estado de la técnica, que se lee con un componente electrónico de lectura según la invención. Se muestra qué medidas se necesitan para detectar estados de error;

figura 12 un cuentarrevoluciones según la figura 1 combinado con una rueda polar;

figura 13 un cuentarrevoluciones según la figura 1 combinado con una escala lineal;

figuras 14a y 14b a modo de ejemplo, una forma de realización según la figura 7, pero aquí con contactos de TMR y un contacto de 360° y

figura 15 el elemento sensor de la figura 14a con una disposición según la invención de contactos de TMR para la medición de resistencia.

[0057] La figura 1 muestra un sistema de cuentarrevoluciones 1 con un cuentarrevoluciones 1a según la invención y un sistema magnético 4 con polo norte (N) y polo sur (S) montado en un eje giratorio 5. El cuentarrevoluciones 1a consta de los componentes principales: sensor de revoluciones SR 2, un sensor de ángulo de 360° SA 3 (sensor cuadrante respectivo), y un componente electrónico 6. Los sensores 2 y 3 están montados de manera fija y detectan la posición angular y el número de las revoluciones del campo magnético giratorio. El componente electrónico 6 comprende fuentes de alimentación 7 para los sensores 2 y 3 y el procesamiento de los valores de medición, por medio de una memoria 8 para el valor medido del sensor de ángulo 3, una memoria 9 para los valores de medición del sensor de revoluciones 2, una memoria 10 para valores consigna almacenados con forma de tabla del sensor de revoluciones 2 y una memoria 12 para valores del estado de error almacenados y una unidad de procesamiento 11. Esta unidad de procesamiento 11 compara los valores de medición de las memorias 8 y 9 con los valores de tablas de la memoria 10 y genera el resultado de cada medición. Si la comparación de los valores de medición de la memoria 9 con los valores consigna de la memoria 10 no produjo ningún valor válido, los valores de error almacenados de la memoria 12 se comparan con los valores de medición de los cuentarrevoluciones de la memoria 9 para generar un valor plausible para el número de revoluciones, además de un valor de error, dependiendo del error ocurrido.

[0058] La figura 2 muestra esquemáticamente la determinación del número de revoluciones y la detección de errores en un diagrama de flujos 400 con un sistema de cuentarrevoluciones 1.

- Según el inicio del ciclo de medición
- la electrónica 6 lee, en el primer paso, el sensor de ángulo SA 3 y el sensor del número de revoluciones SR 2 y
- almacena en el 2º paso, en la memoria 8, el valor de medición de SA A8 (8a) y en la memoria 9, los valores de medición de SR como tabla T9 (9a));
- en el 3er paso, la unidad de procesamiento 11 del valor de medición del sensor de ángulo determina el cuadrante del ángulo de campo respectivo C1, C2, C3 o C4;
- en el 4º paso, para el cuadrante determinado (por ejemplo, C1) de la memoria 10 con la SNS del valor consigna se carga la subtabla (por ejemplo, S1C1 (10a)) para el cuadrante determinado para las revoluciones admisibles  $i$  ( $0 \leq i \leq n$ );
- en el 5º paso, se establece, de la unidad de procesamiento 11, el índice de carrera  $i$  en 0;
- el 6º paso es una comparación iterativa mediante la unidad de procesamiento 11 entre los valores medidos 9a con los valores consigna (por ejemplo, 10a) para la rotación  $i$ :
  - Si los valores coinciden, los componentes electrónicos de lectura emiten en el 7º paso el número de revoluciones  $i$  y finaliza el ciclo de medición o
  - Si los valores no coinciden, el índice de ejecución  $i$  aumenta en uno en el 7º paso y
  - el 8º paso verifica si  $i > n$ :
    - Si  $i > n$  la detección de errores continúa en el 9º paso,
    - de lo contrario, el 6º paso se repite para la revolución  $i + 1$ ;
- Para la detección de errores, la unidad de procesamiento 11 establece el índice de carrera  $i$  en 0 en el 9º paso y,
- en el 10º paso, lee, de la memoria 12 con la SNS de error del valor consigna para la revolución  $i$ , las subtablas  $m(i)$  ( $0 \leq j \leq m$ ) (por ejemplo, SE1C1 (12a)) del error precalculado  $m$ ;
- en el 11º paso, el índice de carrera  $j$  se establece en 0
- el 12º paso es una comparación entre los valores de medición 9a con la SNS de error del valor consigna para el estado de error  $j$  (por ejemplo, de la subtabla SE1C1 (12a)) para la rotación  $i$ :
  - Si los valores coinciden, los componentes electrónicos de lectura emiten, en el 13er paso, el número de revoluciones  $i$  y un valor de error para el estado de error y finaliza el ciclo de medición
  - Si los valores no coinciden, el índice de ejecución  $i$  aumenta en uno en el 14º paso y
  - el 15º paso verifica si  $j > m$ :
    - Si  $j \leq m$ , el 12º paso se repite para el error precalculado  $j+1$ ;
    - Si  $j > m$ , la consulta en el 16º paso es si el índice de carrera es  $i > n$ :

- Si la respuesta es sí, se realiza en el 17° paso la emisión de un solo valor de error y la finalización del ciclo de medición,
- Si la respuesta es no, en el 17° paso, el índice de carrera *i* aumenta en uno y se repite el 10° paso

5

- El ciclo de medición finaliza con la emisión de un número de revoluciones (paso 7) o la emisión de un número de revoluciones con un valor de error (paso 13) o la emisión de un solo valor de error (paso 17).

10 [0059] La emisión de un valor de error y de un número de revoluciones válido presupone que se inicializó un PM, que permite además en el estado de error la determinación de un número de revoluciones válido.

[0060] La figura 3 muestra esquemáticamente tres geometrías del elemento sensor, que permiten números de PD constantes con un patrón de magnetización (PM) que consta de dos PD.

15 [0061] La figura 3a muestra esquemáticamente una espiral de cinco espiras con dos puntos, representada por una línea horizontal larga con marcas verticales. Cada marca vertical simboliza una posición de PD (véase la poligonal 302 en forma de cuarto de círculo en la figura 5) en una espiral cuadrada, las marcas largas simbolizan revoluciones completas, las marcas de longitud media, las revoluciones medias y las marcas cortas de 90° o de 270°, el incremento del ángulo de campo dentro de una rotación de 360°. Las paredes de dominio están simbolizadas a través de las líneas verticales negras gruesas. Las zonas blancas sobre la línea horizontal simbolizan la magnetización en dirección CCW y las zonas grises de la línea horizontal simbolizan la magnetización en dirección CW. Las paredes de dominio se observan temporalmente, de manera predominante en los cuartos de círculo (capas de PD, véase la figura 6). Por lo tanto, están colocadas en los cuartos de círculo, simbolizadas por las marcas verticales. El PM con las dos paredes de dominio ejemplares tiene una distancia angular de 180° entre las paredes de dominio. El PM se puede mover dentro de la espiral con tanta frecuencia como se desee desde la izquierda, sobre la posición dibujada, hacia la derecha y hacia atrás. Para que el PM no sea transportado hacia fuera del elemento sensor, el elemento sensor necesita topes finales mecánicos no representados conocidos per se.

30 [0062] La figura 3b muestra esquemáticamente una espiral de cinco espiras con dos generadores de pared de dominio (GPD), representada mediante una línea horizontal larga con marcas verticales y dos círculos exteriores para el GPD. Las capas de PD y las magnetizaciones están simbolizadas como se describe en la figura 3a. El PM con dos huecos entre PD (HPD) aquí, simbolizado por una cruz, tiene una distancia angular de 180° entre los HPD y de 540° entre las paredes de dominio, que limitan en el HPD. El PM con los dos PDD se puede mover dentro de la espiral con tanta frecuencia como se desee desde la izquierda, sobre la posición dibujada, hacia la derecha y hacia atrás. En este caso, un hueco entre PD puede limitar con el GPD, como se muestra en la figura 3j. El número de PD permanece constante durante el transporte del PM. Si el PM se mueve hacia la derecha, una PD se aniquila por rotación media en el GPD derecho con una PD producido por el GPD y, al mismo tiempo, una PD es inyectada en la espiral por el GPD izquierdo. Para que el PM no sea transportado hacia fuera del elemento sensor, el elemento sensor necesita nuevamente topes finales mecánicos mencionados.

45 [0063] La figura 3c muestra esquemáticamente un bucle cerrado de cinco espiras, representado por un círculo marcas perpendiculares al círculo que, como en la figura 3a, simbolizan las capas de PD. El PM con dos paredes de dominio tiene una distancia angular de 180° entre las paredes de dominio o de 1620° (4,5 espiras). El PM se puede transportar CW o CCW a través del bucle con la frecuencia deseada. Un elemento sensor formado de esta manera no necesita topes finales mecánicos.

50 [0064] La figura 3d muestra el elemento sensor de la figura 3c en una representación geométricamente modificada que ahorra espacio. Las cinco espiras se representan como en la figura 3a. La curva inferior simboliza la red de unión desde la espira exterior a la espira interior, que convierte una espiral en un bucle cerrado con intersecciones (véase la red 64 en la figura 7).

55 [0065] Las figuras 3e a 3i muestran el elemento sensor de la figura 3a con el PM en cinco posiciones diferentes, que representan 0 los números de revoluciones (figura 3e), 1 (figura 3f), 2 (figura 3g), 3 (figura 3h) y 4 (figura 3i). Esta asignación depende de la aplicación y no del elemento sensor. En vez de 0 a 4 revoluciones, las mismas posiciones de PM podrían representar en otra aplicación las revoluciones -2 hasta +2. A partir de la posición de PM en la figura 3e, se transporta de nuevo el PM con cada rotación alrededor de cuatro capas de PD (correspondientes a una espira) en dirección CW. El PM de dos paredes de dominio permanece en este caso inalterado con una distancia angular de 180°.

60

[0066] Las figuras 3j a 3l muestran esquemáticamente cómo se ve el PM de la figura 3b cuando está ubicado en las posiciones que representan los números de revoluciones 0,1 y 2. El PM con los dos HPD permanece inalterado durante el transporte a través del elemento sensor. Del mismo modo, el número total en las paredes de dominio. Cuando el PM se transporta hacia la derecha, dos paredes de dominio desaparecen a la derecha con cada revolución y se agregan dos nuevas paredes de dominio a la izquierda.

65

[0067] La figura 4 muestra los patrones de magnetización (PM) en una espiral ejemplar cuadrada de cinco espiras con dos puntas. Se muestra cómo afecta la histéresis sobre las posiciones de PD dentro de un PM (figuras 4a y 4b). Las figuras 4c y 4d muestran dos PMs sin errores y las figuras 4e a 4k representan PMs con estados de error ejemplares. A continuación, se describe de nuevo si estos PMs permiten o no la determinación del número de revoluciones en el estado de error.

[0068] La figura 4a muestra el PM de la figura 3a con dos paredes de dominio en una posición, que representa, por ejemplo, la rotación cero. Las dos PD están colocadas entre sí en dos capas de PD con una distancia angular de  $180^\circ$ .

[0069] La figura 4b muestra el PM de la figura 4a con una histéresis de  $\pm 45^\circ$ , donde la histéresis se simboliza a través de un rectángulo gris. La histéresis de  $\pm 45^\circ$  comprende  $90^\circ$ , es decir, un cuadrante. Los cuadrantes están dispuestos preferiblemente con respecto a la espiral (la figura 5 muestra una tal espiral típica), de manera que el ángulo de campo, que representa la "capa de  $0^\circ$ ", la histéresis, es perpendicular a una red. Como consecuencia, los ángulos de campo, que representan los límites de histéresis, muestran las dos capas de PD que comprenden esta red. Mediante esta disposición de los cuadrantes para la espiral cuadrada, los cuatro cuadrantes dentro de una espiral representan respectivamente una red y la histéresis representa cada posición de PD sobre esta red de manera, incluida la mitad de las capas de PD adyacentes, en las cuales las PD evitan permanecer la mayoría del tiempo. Las posiciones de PD de las figuras 4a están simbolizadas en la figura 4b con líneas verticales gruesas y las posiciones de PD en las capas de PD en el extremo opuesto de la red correspondiente, con líneas verticales finas. En el funcionamiento regular sin errores, una PD atraviesa la red entre dos capas de PD dentro de menos de 100 ns. Las posiciones de PD dentro de la red están simbolizadas por el rectángulo gris. Cuando esta red es una parte de un semipunte de Wheatstone, los niveles de señal admisibles en los cuadrantes 1 y 2 son de nivel alto o medio, simbolizados por el rectángulo gris claro, y en los cuadrantes 3 y 4, de nivel medio o bajo, simbolizados por el rectángulo gris oscuro (donde se encuentra la dirección de referencia así, como se muestra en las figuras 5 a 7).

[0070] La figura 4c muestra un PM con cuatro paredes de dominio en una posición que representa, por ejemplo, la revolución cero. El número de revoluciones cero es emitido por el componente electrónico de lectura. Las distancias angulares en el PM son de  $180^\circ$  entre la PD exterior izquierda y la PD interior izquierda, de  $540^\circ$  entre la PD interior izquierda y la PD interior derecha y de  $180^\circ$  entre la PD interior derecha y exterior izquierda, en total  $900^\circ$  entre las paredes de dominio exteriores. Las paredes de dominio están simbolizadas por los rectángulos que comprenden todas las posiciones de PD por encima de una red, correspondientes de una histéresis admisible de  $\pm 45^\circ$ . Los rectángulos de color gris claro simbolizan, como en la figura 4b, niveles medios o altos y los rectángulos de color gris oscuro, niveles bajos o medios del semipunte de Wheatstone.

[0071] La figura 4d muestra el PM de la figura 4c según una revolución de CW. De cada cuatro paredes de dominio se han transportado además respectivamente cuatro capas de PD (cuadrantes). Las distancias angulares permanecen iguales en el PM. Esta posición de PM representa el número de revoluciones 1. Se emite el número de revoluciones uno del componente electrónico de lectura. Las paredes de dominio están simbolizadas, como en la figura 4c, por rectángulos de color gris claro y gris oscuro.

[0072] La figura 4e muestra un PM con dos paredes de dominio con una distancia angular de  $900^\circ$  en posiciones que ocupan también las paredes de dominio exteriores en la figura 4c. Si en la figura 4e, el PM inicializado era el PM de la figura 4c, dos paredes de dominio se aniquilan entre la medición del PM de la figura 4c y la medición de la figura 4e. Debido a la distancia angular de  $900^\circ$ , el número de revoluciones cero se puede determinar de manera plausible a partir del PM de la figura 4e. En configuraciones ventajosas, el componente electrónico de lectura emite el número de revoluciones cero y un valor de error. Las paredes de dominio están simbolizadas, como en la figura 4c, por rectángulos de color gris claro y gris oscuro.

[0073] La figura 4f muestra un PM con dos paredes de dominio con una distancia angular de  $180^\circ$ . Si en la figura 4f, el PM inicializado era el PM de la figura 4c, dos paredes de dominio se aniquilan entre la medición del PM de la figura 4c y la medición de la figura 4f. Debido a la distancia angular de  $180^\circ$ , no es posible determinar ningún número de revoluciones de manera plausible a partir del PM de la figura 4f. En configuraciones ventajosas, el componente electrónico de lectura emite un valor de error. Las paredes de dominio están simbolizadas, como en la figura 4c, por rectángulos de color gris claro y gris oscuro.

[0074] La figura 4g muestra un PM con cuatro paredes de dominio con una distancia angular de  $1260^\circ$  entre las PD exteriores y de  $180^\circ$  entre la PD exterior derecha y la PD interior derecha. En base a estas dos paredes de dominio, se puede determinar de modo plausible el número de revoluciones uno. En configuraciones ventajosas, el componente electrónico de lectura emite el número de revoluciones uno y un valor de error. Enfrente del PM en la figura 4c se encuentra la PD en el exterior a la izquierda en la misma posición. Esta no está desplazada CW aproximadamente  $360^\circ$  (4 capas de PD), como las otras tres paredes de dominio, sino que estaba fijada durante la revolución de CW. Las paredes de dominio están simbolizadas, como en la figura 4c, por rectángulos de color gris claro y gris oscuro.

[0075] La figura 4g muestra un PM con cuatro paredes de dominio con una distancia angular de 90° entre las PD exteriores y de 180° entre la PD interior izquierda y la PD exterior izquierda. En base a estas dos paredes de dominio, se puede determinar de modo plausible el número de revoluciones uno. En configuraciones ventajosas, el componente electrónico de lectura emite el número de revoluciones uno y un valor de error. En comparación con el PM en la figura 4c, la PD se encuentra en el interior a la derecha en la misma posición. Esta no está desplazada CW aproximadamente 360° (4 capas de PD), como las otras tres paredes de dominio, sino que estaba fijada durante la revolución de CW. Las paredes de dominio están simbolizadas, como en la figura 4c, por rectángulos de color gris claro y gris oscuro.

[0076] La figura 4i muestra un PM con seis PD con una distancia angular de 90° entre las paredes de dominio exteriores y de 180° entre dos paredes de dominio adyacentes. En base a las dos paredes de dominio exteriores se puede determinar de manera plausible el número de revoluciones cero. En configuraciones ventajosas, el componente electrónico de lectura emite el número de revoluciones cero y un valor de error. En comparación con el PM en la figura 4c, dos paredes de dominio están añadidas dentro del PM original, a través de la nucleación de PD. Las paredes de dominio están simbolizadas, como en la figura 4c, por rectángulos de color gris claro y gris oscuro.

[0077] La figura 4j muestra un PM con seis PD con una distancia angular de 1260° entre las PD exteriores y de 180° entre la PD interior izquierda y la PD exterior izquierda y de 540° entre la PD interior izquierda y la PD central izquierda, así como de 180° entre la PD central izquierda y la PD central derecha. En base a estas cuatro PD, que ocupan las posiciones de las cuatro PD en la figura 4c, se puede determinar de manera plausible el número de revoluciones cero. En configuraciones ventajosas, el componente electrónico de lectura emite el número de revoluciones cero y un valor de error. En comparación con el PM en la figura 4c, dos paredes de dominio están añadidas fuera del PM original, a través de la nucleación de PD. Las paredes de dominio están simbolizadas, como en la figura 4c, por rectángulos de color gris claro y gris oscuro.

[0078] La figura 4k muestra un PM con seis paredes de dominio con una distancia angular de 1620° entre las paredes de dominio exteriores. En comparación con el PM en la figura 4a, dos paredes de dominio están añadidas a través de nucleación de PD fuera del PM original, con una distancia angular de 540° y 720° a la PD derecha exterior, en la figura 4a, que está ahora en el centro a la derecha en el PM. Debido a las distancias angulares en el PM de la figura 4i no es plausible determinar ningún número de revoluciones. En configuraciones ventajosas, el componente electrónico de lectura emite, en este caso, solamente un valor de error. Las paredes de dominio están simbolizadas, como en la figura 4c, por rectángulos de color gris claro y gris oscuro.

[0079] Las figuras sucesivas 5 a 7 muestran, en vista desde arriba, a modo de ejemplo, geometrías reales del elemento sensor, que permiten el funcionamiento con PM con un número de PD constante: Estos ejemplos muestran esquemáticamente: una espiral de tres espiras con dos puntas con un contacto de 180° (figura 5), una espiral de tres espiras con dos GPD (figura 6) y un bucle cuadrado de cuatro espiras con un contacto de 360° según la invención (figura 7). En favor de una vista en conjunto, están representados los sensores de revoluciones ejemplares solo con los detalles, que se explican a continuación para la figura respectiva.

[0080] La figura 5 muestra una configuración según la invención de un sensor de revoluciones 2. El elemento sensor debe ser, en el ejemplo una espiral 20 cuadrada de tres espiras, cuyos extremos estén aguzados. La punta 21 es el extremo de la espira exterior y la punta 22, el extremo de la espiral más interior. La espiral consta de una pila de capas magnética, que muestra el efecto GMR. La dirección de referencia 28 se encuentra diagonalmente a las espiras cuadradas. La primera espira más extrema consta de las redes 31, 32,33 y 34, la segunda espira media, de las redes 41, 42,43 y 44 y la tercera espira más interior, de las redes 51, 52,53 y 54 (en el sentido de las agujas del reloj). Cada red se encuentra en el ángulo de 90° con respecto a la red siguiente. Las conexiones entre las redes son cuartos de círculo o poligonales 302 con forma de cuarto de círculo (mostradas en el círculo ampliado 301), formadas a partir de la misma pila de capas que las denominadas redes mismas. Estas poligonales son las "esquinas" de la espiral cuadrada y simultáneamente las capas de la pared de dominio (capas de PD). La primera espira más extrema comprende las capas de PD 35, 36,37 y 38, la segunda espira, las capas de PD 45, 46,47 y 48 y la tercera espira, las capas de PD 55, 56,57 y 58.

[0081] La espiral está provista de contactos eléctricos en el "esquema de contacto de 180°": Hay un contacto de GND común 70 arriba a la izquierda, un contacto de VCC común 80 debajo a la derecha y tres contactos medios 91,93 y 95 arriba a la derecha, así como tres contactos medios 90,92 y 94 debajo a la izquierda, así como una pista conductora 25 con un estrechamiento 26 para inicializar el elemento sensor. El estado de magnetización del elemento sensor se lee a través de medición del potencial con seis semipuentes de Wheatstone. Abajo a la izquierda se encuentran los tres semipuentes con los contactos medios 90,92 y 94:

- Los semipuentes de Wheatstone W1-1 forman las redes 31 y 32 con el contacto central 90, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80;

- Los semipuentes de Wheatstone W2-1 forman las redes 41 y 42 con el contacto central 92, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80;
- Los semipuentes de Wheatstone W3-1 forman las redes 51 y 52 con el contacto central 94, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80.

5 [0082] Arriba a la derecha se encuentran los tres semipuentes con los contactos medios 91,93 y 95:

- Los semipuentes de Wheatstone W1-2 forman las redes 33 y 34 con el contacto central 91, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80;
- Los semipuentes de Wheatstone W2-2 forman las redes 43 y 44 con el contacto central 93, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80;
- Los semipuentes de Wheatstone W3-2 forman las redes 53 y 54 con el contacto central 95, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80.

[0083] El elemento sensor 2 está llenado inicialmente aquí, de manera completa, con seis PD (por ejemplo, después de un pulso de campo con una intensidad de campo sobre la intensidad de campo de nucleación del elemento sensor 2):

- En la primera espira exterior se localizan la PD 111 en la capa de PD 36 y la PD 112 en la capa de PD 38,
- En la segunda espira intermedia se localizan la PD 113 en la capa de PD 46 y la PD 114 en la capa de PD 48,
- En la tercera espira más interior se localizan la PD 115 en la posición de PD 56 y la PD 116 en la posición de PD 58.

20 [0084] Los tres semipuentes están en el potencial medio, a través de estas posiciones de PD y la capa de la dirección de referencia 28. La dirección de magnetización en dirección de CVV está representada de color gris oscuro y la dirección de magnetización en dirección CW, de color gris claro. Además, la dirección de magnetización para cada red está marcada con una flecha. La dirección de referencia 28 de la pila de capas de GMR se encuentra diagonalmente a la espiral cuadrada y apunta desde la parte inferior izquierda hacia la parte superior derecha.

[0085] El patrón de magnetización mostrado en la figura 5 con seis PD no es todavía adecuado para contar revoluciones. Este debe ser eliminado en primer lugar. De otro modo, el procedimiento de eliminación idéntico debe ser descrito utilizando una espiral con dos generadores de pared de dominio en los extremos, como se representa en la figura 6, para tratar aquí una posible forma de realización adicional del elemento sensor real.

30 [0086] La figura 6 muestra una variante del elemento sensor 2. El elemento sensor 2 es un espiral 20 cuadrada de tres espiras, en cuyos extremos están colocados los generadores de pared de dominio 23 y 24. Este lleva un patrón de magnetización (PM) con 2 huecos entre PD (HPD) 221 y 222, que se visualiza por una cruz. Antes de la eliminación, se hallaban la PD 113 y la PD 114 (no representado más en la figura 6, compárese con la figura 5) en las posiciones del HPD 221 y del HPD 222. La inicialización, sin entrar en detalles, se realiza, por ejemplo, en dos fases:

1. O bien la nucleación de las dos PD con un pulso de campo magnético con una intensidad de campo por encima de la intensidad de campo de nucleación con dirección de campo a lo largo de las diagonales de las espirales (por ejemplo, de debajo a la izquierda hacia arriba a la derecha), o bien una rotación del campo magnético del sistema de sensores desde el sistema de sensor alrededor de n+1 revoluciones con una espiral de n espiras en dirección CW o dirección de CVV (aquí 4 revoluciones). Por consiguiente, la espiral del generador de pared de dominio GPD 23 (o del GPD 24) se llena completamente con PD.

2. Las aniquilaciones de PD de dos PD debajo del estrechamiento 26 de la pista conductora 25 con ayuda de un campo de Oerstedt suficientemente grande, da como resultado dos huecos entre PD HPD 221 y HPD 222, que se transportan posteriormente a la posición cero deseada.

[0087] En vez de las puntas 21 y 22 del elemento sensor representado en la figura 5, la espiral 20 cuadrada está provista, en la figura 6, de dos generadores de pared de dominio (GPD) 23 y 24. Para determinación el número de revoluciones, las posiciones de la PD 112 y/o de la PD 115 se detectan en la SNS medida. El contacto eléctrico para una espiral con dos GPD es siempre el "contacto de 180°" (véase la figura 5) y se omitió en la figura 6, en aras de una mayor claridad. La dirección de referencia 28 de la pila de capas de GMR se encuentra diagonalmente a la espiral cuadrada y apunta desde abajo a la izquierda hacia arriba a la derecha.

[0088] La figura 7 muestra una otra configuración según la invención de un sensor de revoluciones 2, que consiste en un bucle 27 cerrado, de cuatro espiras. En el ejemplo, se inicializó un PM con dos PD 111 y PD112 con una distancia angular de 540° con la pista conductora 25, con el estrechamiento 26. La dirección de referencia 28 de la pila de capas de GMR también se encuentra aquí diagonalmente a la espiral cuadrada y apunta de debajo a la izquierda hacia arriba a la derecha. Sin embargo, eléctricamente, este bucle se une analógicamente a la espiral en la figura 5 con un "contacto de 360°", que consta de un contacto de GND común 70, un contacto de VCC común 80 y cuatro contactos medios 91, 93,95 y 97, que se localizan en una mitad a la derecha de la línea, el contacto de VCC al contacto de GND. El estado de magnetización del elemento sensor se lee por medición del potencial con cuatro semipuentes de Wheatstone:

- Los semipuentes de Wheatstone SPW1 forman las redes 33 y 34 con el contacto central 91, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80;
- Los semipuentes de Wheatstone SPW2 forman las redes 43 y 44 con el contacto central 93, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80;
- Los semipuentes de Wheatstone SMP3 forman las redes 53 y 54 con el contacto central 95, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80;
- Los semipuentes de Wheatstone SPW4 forman las redes 63 y 64 con el contacto central 97, el contacto de GND 70 y el contacto de VCC 80.

[0089] Los cuatro semipuentes de Wheatstone SPW1 a SPW4 W1 se correlacionan simultáneamente con las espiras E1 a E4.

[0090] La figura 8 muestra una configuración adicional ejemplar según la invención de un elemento sensor 2 para la medición de revoluciones. El elemento sensor 2 debe consistir en el ejemplo de dos subespirales 20a y 20b con las puntas 21 y 22 y con cuatro espiras y con un "contacto de 360°", que consta de los contactos 71 (GND), 81 (VCC), 91, 93,95 y 97 (contactos medios) por encima de la espiral parcial 20a, así como 72 (GND), 82 (VCC), 99, 101, 103,105 y 107 (contactos medios) por encima de la espiral parcial 20b, se inicializaron cuatro paredes de dominio PD 111, PD 112, PD 113 y PD 114. En esta configuración, estas cuatro paredes de dominio forman dos patrones de magnetización lógicos con cada dos paredes de dominio: PD 111 y PD 112 forman un PM en la espiral parcial 20a, así como PD 113 y PD 114 forman un segundo PM. Cada PM se encuentra en el ejemplo representado en la "posición cero" y tres revoluciones se pueden mover CW. La distancia angular entre PD 111 y PD 112, así como entre PD 113 y PD 114 es respectivamente de 540°, la distancia angular entre PD 112 y PD 113 es de 900°. A través de estos dos PMs lógicos, esta configuración se lleva a cabo para formar un cuentarrevoluciones con un recuento de revoluciones redundante sobre un chip, que puede contar tres revoluciones. Para la inicialización sirve la pista conductora 25 con la delimitación 26. La dirección de referencia 28 de la pila de capas de GMR se encuentra diagonalmente a las espirales cuadradas y apunta respectivamente de debajo a la izquierda hacia arriba a la derecha. Los resultados de medición de las dos subespirales son evaluados por el componente electrónico de lectura (6) (véase la figura 1). Solo si el componente electrónico de lectura de las SNS parciales medidas de ambas subespirales detecta el mismo número de revoluciones, la medición proporciona un resultado redundante doble. En el caso de un evento de error en una espiral, el componente electrónico de lectura puede detectar el número de revoluciones siempre a partir de la SNS de la espiral, en la que el componente electrónico de lectura reconoce un estado válido (coincidencia con un patrón de valor consigna). La otra SNS conduce a un valor de error. Con PM apropiado, por ejemplo, el PM de la figura 4c, aun se puede detectar el número de revoluciones, a pesar de un estado de error (coincidencia con un patrón de valor consigna de error), de modo que el número de revoluciones es detecta dos veces, de manera redundante, también a pesar del estado de error.

[0091] La figura 9 muestra otra posibilidad de configuración ejemplar según la invención de un elemento sensor para la medición de tres revoluciones. Dos espirales anidadas 20a (espiral interna) y 20b (espiral externa) con las puntas 21a y 22a o 21b y 22b y con cada cuatro espiras y un contacto de 360° común, que consta de los contactos 71 (GND), 81 (VCC), 91,93 (contactos medios) por encima de las subespirales de izquierda, así como 72 (GND), 82 (VCC), 95,97 y 99 (contactos medios) por encima de las subespirales de derecha forman un cuentarrevoluciones, que se proporciona con doble redundancia aquí por la doble espiral guiada en paralelo. La dirección de referencia 28 de la pila de capas de GMR se encuentra diagonalmente a la espiral cuadrada y apunta de debajo a la izquierda hacia arriba a la derecha. Para la inicialización sirve la pista conductora 25 con la delimitación 26. Se inicializa, en el ejemplo, un PM con cada par de PD PD 111a y PD 112a en la espiral 20a, así como PD 111b y PD 112b en la espiral 20b con una distancia angular respectiva de 540°. En la operación de recuento válida, este elemento sensor proporciona los niveles de señal de nivel alto (nivel de 100 %), nivel medio (nivel de 50 %) y nivel bajo (nivel de 0 %). En el caso de un evento de pinning de PD, que produce un cambio en la distancia angular entre dos PD, surgen dos niveles nuevos: nivel de 75 % y nivel de 25 %, que indican al componente electrónico de lectura que se produce un error. El componente electrónico de lectura debe detectar estos niveles sin duda alguna. Sin embargo, esta puede determinar un número de revoluciones válido por medio de la SNS, con el nivel de 75 % o nivel de 25 %, ya que un par de PD se transporta sin errores en una espiral (por ejemplo, la espiral 20a). Es decir, en vez de, por ejemplo, un nivel alto, un nivel de 75 % está disponible en la SNS y, en vez de un nivel bajo, está disponible un nivel de 25 % en la SNS. Los patrones de valor consigna

almacenados y los patrones de valor consigna de error se adaptan al nivel de señal cinco de este elemento sensor.

[0092] La figura 10 muestra esquemáticamente una configuración según la invención de un elemento sensor para contar 40 revoluciones (U) en una aplicación ejemplar. El elemento sensor contiene tres bucles con los números de revoluciones 5 máximos coprimos (B5), 8 (B8) y 9 (B9). En la vista en planta se muestran estos bucles cuadrados, como se muestra a modo de ejemplo en la figura 7, que están representados aquí ahorrando espacio. Los bucles, las capas de PD y las paredes de dominio se simbolizan como en la figura 3d. Para un recuento de revoluciones no redundante se necesita los bucles B5 y B8, que, en combinación, cuentan hasta 40 revoluciones:  $5R * 8R = 40R$ . Al añadir el bucle B9 para el recuento de revoluciones redundante hay tres combinaciones de cada dos bucles, que pueden contar al menos 40 revoluciones.

[0093] La figura 10a muestra, a modo de ejemplo, para el número de revoluciones 10R, las posiciones de PM en los bucles B5 (número de revoluciones de bucles individuales: 0R), B8 (número de revoluciones de bucles individuales: 2R) y B9 (número de revoluciones de bucles individuales: 1R) con un PM redundante con cuatro PD con las distancias angulares de  $180^\circ$  entre PD exterior izquierda y PD interior izquierda, de  $180^\circ$  entre PD interior izquierda y PD interior derecha y de  $540^\circ$  entre PD interior derecha y PD exterior derecha. La posición de la PD exterior derecha representa aquí respectivamente el número de revoluciones de bucles individuales. Para cada tres combinaciones de los bucles (B5 + B8), (B5 + B9) y (B8 + B9), el componente electrónico de lectura de los números de revoluciones de bucles individuales determina respectivamente el número de revoluciones 10U para la combinación de bucles. En total, el número de revoluciones se determina de modo redundante tres veces. O bien, introduciendo el número de revoluciones de la combinación de bucles (tabular) correspondiente para cada combinación de números de revoluciones de bucles individuales, para cada combinación de bucles, o bien calculándolo. En una aplicación, que cuenta 40 revoluciones, representa el número de revoluciones de bucles individuales

- 0R, para el bucle B5, los números de revoluciones 0R, 5R, 10R, 15R, 20R, 25R, 30R, 35R y 40R (generalmente  $n*5R$ ),
- 2R, para el bucle B8, los números de revoluciones 10R, 18R, 26R y 34R (generalmente  $m*8R+2R$ ),
- 1R, para el bucle B9, los números de revoluciones 10R, 19R 28R y 37R (generalmente  $k*9R+1R$ ).

[0094] A causa de la división de los bucles entre sí, siempre hay una sola coincidencia para cada combinación de revoluciones de bucles individuales, que es el número de revoluciones de la combinación. En este caso es el número de revoluciones 10R.

[0095] Para la creación de la SNS del valor consigna, se deben calcular las posiciones de PM correctas o las posiciones correctas de la PD relevantes. La posición de PD correcta es el resto de la división del número de revoluciones (aquí 10R) con el número de revoluciones máximo del bucle (aquí 5R, 8R o 9R):

- B5: 0R ( $10/5 = 2 + \text{resto } 0$ ),
- B8: 2R ( $10/8 = 1 + \text{resto } 2$ ) y
- B9: 1R ( $10/9 = 1 + \text{resto } 1$ )

[0096] La figura 10b muestra las posiciones de PM para el número de revoluciones contado 10R, cuando en el bucle B8 la PD exterior derecha se fijó durante una revolución y, en comparación con la figura 10a, la distancia angular a la PD interior derecha se reduce de  $540^\circ$  a  $180^\circ$  y la distancia angular a la PD derecha exterior se reduce de  $900^\circ$  a  $540^\circ$  a la PD. En base a esta distancia angular de  $540^\circ$ , el componente electrónico de lectura detecta que el bucle B8 está en un estado de error (E). A causa de la distancia angular de  $180^\circ$  entre la PD exterior izquierda y la PD interna izquierda, que no cambia con respecto a la figura 10a, el componente electrónico de lectura detecta de manera plausible el número de revoluciones 2R para el bucle B8.

- B5: 0R ( $10/5 = 2 + \text{resto } 0$ ),
- B8: E + 2R (estado de error, así como  $10/8 = 1 + \text{resto } 2$ ) y
- B9: 1R ( $10/9 = 1 + \text{resto } 1$ )

[0097] En función del estado de error del bucle B8, el componente electrónico de lectura determina el número de revoluciones 10R con los valores válidos de los bucles B5 y B9 (B5: 0R y B9: 1R). A causa del PM redundante con cuatro PD, el componente electrónico de lectura, a pesar del estado de error del bucle B8 (E) puede determinar sus números de revoluciones de bucles individuales 2R y usa y determina también respectivamente, en la secuencia para las combinaciones de los bucles (B5 + B8) y (B8 + B9), el número de revoluciones 10R, en total tres veces de manera redundante, debido al patrón de magnetización redundante con cuatro paredes de dominio en cada bucle individual.

[0098] La figura 11 muestra un PM en una espiral de cinco espiras con un GPD. En la vista en planta, este es una espiral cuadrada similar a la espiral de la figura 6, en la que un GPD se reemplazó por una punta. La espiral está representada de nuevo aquí para ahorrar espacio. La espiral, el GPD, las capas de PD, PD y son HPD están simbolizados como se hace en la figura 3b. Esta espiral se conoce básicamente por el elemento sensor del estado de la técnica (figuras 11a hasta 11e), que se combina con el componente electrónico de lectura según la invención para detectar estados de error. La figura 11f a 11h muestra, en comparación con las nuevas variantes del estado de la técnica, que son más sensibles en la detección de los estados de error de nucleación de PD y, que las espirales conocidas del estado de la técnica en las figuras 11a hasta 11e. El GPD inyecta una PD en la espiral con cada media revolución, de modo que en el funcionamiento sin errores del GPD hasta la punta de la espiral puede estar colocada una cadena de PD en la espiral. La PD exterior derecha es la PD transportada más lejos hacia la espiral y representa el máximo número de revoluciones detectables con esta forma de realización.

[0099] La figura 11a muestra la espiral de cinco espiras con seis paredes de dominio. La PD exterior derecha representa el número de revoluciones 3.

[0100] La figura 11b muestra la espiral de cinco espiras con cuatro paredes de dominio y dos HPD, simbolizada por una cruz. Los dos HPD exteriores de derecha están creadas a través de aniquilación de las dos paredes de dominio de exteriores de derecha en la figura 11a. El PM en la figura 11b representa el número de revoluciones 2. El estado de error de la aniquilación de PD no se reconoce.

[0101] La figura 11c muestra la espiral de cinco espiras con cuatro paredes de dominio y dos HPD, simbolizada por una cruz. Los dos HPD dentro de la cadena de PD están creados mediante la aniquilación de las dos paredes de dominio en el centro, en el PM de la figura 11a. El PM en la figura 11c representa el número de revoluciones 3. El estado de error (E) de la aniquilación de PD se reconoce.

[0102] La figura 11d muestra la espiral de cinco espiras con diez PD. El PM en la figura 11e representa el número de revoluciones 5. Esto es también idéntico con el PM después de las nucleaciones de PD, en las que la espiral se llena completamente con PD. Por lo tanto, este estado de error (E) es se reconoce.

[0103] La figura 11e muestra la espiral de cinco espiras, en la que solo se pueden contar cuatro revoluciones mediante un tope mecánico. Esta quinta espiral (5) se excluye de la operación de recuento regular y siempre está libre de PD para poder detectar siempre la nucleación de PD en esta espiral.

[0104] Por consiguiente, el PM con diez PD en la figura 11e se crea a través de nucleaciones de PD, en las que la espiral se llena completamente con las PD. Este estado de error (E) es reconocido por las dos PD en espira (5), que no existen en la operación de recuento regular, recuento hasta la rotación 4.

[0105] La figura 11f muestra una variación de la espiral de cinco espiras de la figura 11e, en las que espira quinta tiene redes más anchas. Por consiguiente, las PD se nuclean, en primer lugar, en la espiral (5). Si solo dos PD se nuclean en esta espiral, el número de revoluciones se puede detectar todavía de manera plausible. El PM en la figura 11f muestra, de manera plausible, el número de revoluciones 2 y el estado de error de la nucleación de PD en espiral (5).

[0106] La figura 11g muestra una variación de la espiral de cinco espiras de la figura 11f, en la que la primera espira tiene redes más estrechas. Por lo tanto, es más probable que una PD se fije en la espira (0) que en las otras espiras. Esta espira está excluida de la operación de conteo regular, mediante el tope mecánico, y siempre se llena con dos PD para detectar siempre el estado de error posible de pinning de PD con la posterior aniquilación de PD en la espiral (0). El PM en la figura 11h representa el número de revoluciones 1.

[0107] La figura 11h muestra el PM de la figura 11g, después que en la espira (0) se aniquilen dos PD. Este estado de error (E) se reconoce. El PM en la figura 11g representa, de manera plausible, el número de revoluciones 1 y muestra simultáneamente el estado de error de aniquilación de PD (E) en la espira (0).

[0108] Mientras que todos los componentes esenciales para la invención están proporcionados dentro del cuentarrevoluciones original incluido en forma de marco en la figura 1 y representado con 1a, las siguientes figuras deben aclarar el campo de aplicación amplio de la solución según la invención.

[0109] Por lo tanto, la figura 12 muestra el cuentarrevoluciones 1a de figura 1 combinado con una rueda polar 5a con los polos magnéticos 4a hasta 4l, en vez de unos imanes 4 sobre un eje 5 según la figura 1. Cuando se gira la rueda polar 5a, genera, en la ubicación del sensor de ángulo SA 3 y del sensor de revolución SR 2, un campo giratorio magnético, que mueve las paredes de dominio del patrón de magnetización en el elemento sensor 2. Cada posición de la rueda polar corresponde, por consiguiente, a un valor de medición del sensor de ángulo y a



un valor medido del contarrevoluciones. El contarrevoluciones cuenta el número de los pares de polos magnéticos que se mueven. Esto es análogo al recuento de revoluciones del imán 4 según la figura 1.

[0110] La figura 13 muestra el contarrevoluciones 1a de la figura 1 combinado con una escala lineal 5b con polos magnéticos 4a hasta 4l, en vez de un imán 4 sobre un eje 5 según la figura 1. La escala lineal 5b con doce polos magnéticos (6 polos norte alternados con 6 polos sur) 4a a 4l también representa, en el ejemplo, otras escalas lineales con más o menos polos magnéticos. Cuando la escala 5b se mueve en relación con el contarrevoluciones 1a, esta produce, en el lugar del sensor angular SA 3 y del sensor de revoluciones SR 2, un campo de rotación magnético, que mueve las paredes de dominio del patrón de magnetización impreso en el elemento sensor 2. Por lo tanto, cada posición de la escala corresponde a un valor de medición del sensor de ángulo y a un valor medido del contarrevoluciones. El contarrevoluciones cuenta el número de los pares de polos magnéticos que se mueven. Esto es análogo al recuento de revoluciones del imán 4 según la figura 1.

[0111] Finalmente, las figuras 14a+b muestran, a modo de ejemplo, la lectura de un elemento sensor 2 con contactos de TMR con "contacto de 360°". La espiral 27 consta, en este caso, de un material magnético blando, por ejemplo, Permalloy.

[0112] La figura 14a muestra, a modo de ejemplo, un bucle 27 de cuatro espiras, cerrado en sí mismo en vista de planta. El elemento sensor 2 se lee a través de mediciones de potencial con cuatro semipuentes de Wheatstone SWH1 a SWH4:

- El SWH1 consiste en la red 33 con el contacto de túnel de GND 71, la red 34 con el contacto de túnel de VCC 81 y el contacto central 91, que cubre el ángulo con forma de un cuarto de círculo entre la red 33 y la red 34, así como partes de estas redes;
- El SWH2 consiste en la red 43 con el contacto de túnel de GND 72, la red 44 con el contacto de túnel de VCC 82 y el contacto central 93, que cubre el ángulo con forma de un cuarto de círculo entre la red 43 y la red 44, así como partes de estas redes;
- El SWH3 consiste en la red 53 con el contacto de túnel de GND 73, la red 54 con el contacto de túnel de VCC 83 y el contacto central 95, que cubre el ángulo con forma de un cuarto de círculo entre la red 53 y la red 54, así como partes de estas redes;
- El SWH4 consiste en la red 63 con el contacto de túnel de GND 74, la red 64 con el contacto de túnel de VCC 84 y el contacto central 97, que cubre el ángulo con forma de un cuarto de círculo entre la red 63 y la red 64, así como partes de estas redes.

[0113] La figura 14b muestra, a modo de ejemplo, la red 33 en una sección lateral a través de la figura 14a como representante de todas las redes con contacto de túnel. La red 33 consiste en un material magnético blando Permalloy 501, protegido con una capa de óxido 504a y 504b. El contacto de túnel de GND 71 está colocado en el medio del puente. El contacto de túnel consta de la capa de Permalloy 501, la barrera de túnel 502 (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o  $\text{MgO}$ ), una pila de capas magnética dura 503, en la que está inscrita la dirección de referencia (28 es en la figura 14a), y del electrodo de oro 505. A la derecha de la red 33 se encuentra directamente, por encima del Permalloy 501, el contacto central 91 de oro. El flujo de corriente en el contacto de túnel se realiza desde el electrodo 505, a través de la pila de capas magnética dura y a través de la barrera 502 en el Permalloy 501. Los contactos de TMR típicos alcanzan cambios de resistencia de >100 % entre la magnetización paralela y antiparalela de la capa magnética blanda y magnética dura en el contacto de TMR, es decir, dependiendo de la posición respectiva de las paredes de dominio 111, 112. La inicialización del patrón de pared de dominio según la invención, así como también la evaluación y la determinación del número de revoluciones actual se realiza en este ejemplo análogamente a la condición ya descrita con referencia a las figuras 5ff., y, por lo tanto, no requiere ninguna repetición.

[0114] La figura 15 muestra el sensor de revoluciones de la figura 14a, con un contacto modificado, en la cual se leen las resistencias. Eléctricamente se contacta esta red con los contactos de GND 71, 72, 73 y 74 y los contactos de VCC 81, 82, 83 y 84, respectivamente un GND y un contacto de VCC sobre una espira. Para que se utilice el efecto de TMR, por ejemplo, los contactos de VCC, respectivamente la capa magnética blanda y los contactos de GND, respectivamente la capa magnética fuerte, deben contactar (análogamente a la figura 14b, en la que el contacto central 91 se contacta con la posición 501 magnética blanda y el contacto de túnel de GND 71, con la posición magnética fuerte), o viceversa. A diferencia de la figura 14, los contactos pueden estar colocados, en vez de sobre las esquinas, por encima de las redes, preferiblemente por encima de las redes opuestas. Por ejemplo, los contactos de VCC 81, 82, 83 y 84 por encima de las redes 31, 41, 51 y 61, y los contactos de GND 71, 72, 73 y 74, por encima de las redes 33, 43, 53 y 63.

[0115] El estado de magnetización del elemento sensor se lee aquí mediante la medición de resistencia de cada espira individual:

Las redes 31, 32, 33 y 34 forman la primera espira exterior E1 con el contacto de GND 71 y el contacto de VCC 81;

Las redes 41, 42, 43 y 44 forman la segunda espira E2 con el contacto de GND 72 y el contacto de VCC 82;

Las redes 51, 52, 53 y 54 forman la tercera espira E3 con el contacto de GND 73 y el contacto de VCC 83;

5 Las redes 61, 62, 63 y 64 forman la cuarta espira más interior E4 con el contacto de GND 74 y el contacto de VCC 83;

También en este ejemplo, la distancia entre las dos paredes de dominio adyacentes PD 111 y PD 112 es de 540° en dirección CW.

10 [0116] Todas las formas de realización descritas anteriormente de manera especial aclaran la multivalencia de la invención actual, que puede aplicarse tanto a sensores de revolución del tipo genérico previamente conocido, como a los recién propuestos aquí.

[0117] Todas las características reconocibles en la descripción, en los ejemplos de realización y/o en los dibujos siguientes pueden ser esenciales para la invención individualmente, así como en cualquier combinación.

#### Lista de referencias

15 [0118]

1	Sistema de contarrevoluciones
1a	Cuentarrevoluciones
2	Sensor de revoluciones SR
3	Sensor angular SA
20 4	Sistema magnético
	4a, 4c, 4e 4g, 4i 4k Polo norte
	4b, 4d, 4f, 4h, 4j, 4l Polo sur
5	Eje rotatorio
5 <sup>a</sup>	Rueda polar
25 5b	Escala lineal
6	Componente electrónico
7	Fuentes de alimentación
8	Memoria para los valores medidos del sensor angular
8 <sup>a</sup>	Valor medido V8 del sensor angular
30 9	Memoria para los valores medidos del sensor de revoluciones
9 <sup>a</sup>	Tabla T9 con valores medidos del sensor de revoluciones
10	Memoria para valores nominales consigna almacenados en forma de tabla del sensor de revoluciones
10a-10d	Subtablas con valores consigna para los cuadrantes del ángulo de campo 1° a 4°.
35 11	Unidad de procesamiento
12	Memoria para la SNS del error del valor consigna almacenado en forma de tabla
12a-12d	Subtablas con la SNS del error del valor consigna para los cuadrantes del ángulo de campo 1° a 4°.
20	Espiral
40 21, 22	Extremos aguzados de una espiral
25	Pista conductora para la inicialización de un patrón de magnetización
26	Estrechamiento en pista conductora 25
27	Bucle retorcido varias veces, cerrado en sí mismo
28	Dirección de la magnetización de referencia
45 31, 32, 33, 34	Redes de la primera espira más exterior
35, 36, 37, 38	Capas de PD en la primera espira más exterior
41, 42, 43, 44	Redes de la segunda espira
45, 46, 47, 48	Capas de PD en la segunda espira
51, 52, 53, 54	Redes de la tercera espira
50 55, 56, 57, 58	Capas de PD en la tercera espira
63, 64	Capas de la cuarta espira
65	Capa de PD en la cuarta espira
70, 71, 72, 73, 74	Contactos de GND
80, 81, 82, 83, 84	Contactos de VCC
55 91, 93, 95, 97, 99	Contactos medios de las espiras diferentes
111-116	Paredes de dominio (PD)
221, 222	Huecos entre PD
301	Ángulo ampliado entre la red 51 y la red 44
302	Poligonal en forma de cuarto de círculo

	400	Diagrama de flujos
	501	Capa magnética blanda
	502	Barrera de túnel
	503	Pila de capas magnética fuerte
5	504 <sup>a</sup>	Capa de aislamiento
	504b	Capa de aislamiento
	505	Electrodo de oro sobre contacto de túnel

## REIVINDICACIONES

1. Contar revoluciones magnético o contador de desplazamiento para la autodetección de estados de error al determinar números de revoluciones o números de desplazamientos  $n$  detectables de manera predefinible por este contar revoluciones o contador de desplazamiento, producido por un elemento (4) magnético giratorio, o número de desplazamientos producido al pasar un número  $n$  de polos magnéticos de una rueda polar giratoria (5a), o al pasar una escala (5b) magnética lineal, que comprende un sensor (2), que comprende pistas conductoras de paredes de dominio magnéticas, que consisten en espirales abiertas (20, 20a, 20b) o en bucles cerrados (27) enrollados varias veces, que están formados por una pila de capas de GMR o por una capa magnética blanda con pilas de capas de TMR existentes localmente y en las que pueden estar integradas paredes de dominio de  $180^\circ$  magnéticas y cuya presencia o ausencia está determinada mediante la medición de la resistencia eléctrica de secciones de espirales o de bucles predeterminables, mediante contactos previstos sobre las pistas conductoras de las paredes de dominio (70, 80; 91, 93, 95, 90, 92, 94 o 70, 80; 91, 93, 95, 97 o 71, 81; 91, 93, 95, 97-72, 82; 99, 101, 103, 105, 107 o 71, 81; 91, 93-72, 82, 95, 97, 99 o 71, 81; 91 hasta 74, 84; 95), donde
- se proporcionan una primera memoria (9), una segunda memoria (10) y una unidad de procesamiento (11),
  - un patrón de magnetización (PM) biunívoco predefinible de paredes de dominio (PD) y/o huecos entre paredes de dominio (HPD) están inscritos en las pistas conductoras de las paredes de dominio
  - dichos contactos, junto con las secciones de las pistas conductoras de las paredes de dominio asociadas comprendidas en ellos, están conectados en puentes o semipuentes de Wheatstone separados, pero legibles en común, donde las relaciones de resistencia detectables por los puentes o semipuentes de Wheatstone, están almacenadas como niveles de señal en forma de secuencias del nivel de señal (SNS) en la primera memoria (9) en forma de tabla, donde las secuencias del nivel de señal (SNS) almacenadas en la primera memoria (9) se comparan continuamente con los patrones de valor consigna (10a, 10b, 10c y 10d) de las secuencias de niveles de señal almacenadas en la segunda memoria (10) para cada revolución  $i$  ( $0 \leq i \leq n$ ) permisible para la determinación del número de revoluciones o del número de desplazamientos actual, y
  - se proporciona una tercera memoria (12), en la que los patrones de valor consigna de error en forma de tabla (12a, 12b, 12c, 12d) están almacenados para todas las posibles modificaciones involuntarias en el patrón de magnetización (PM) inscrito y las desviaciones de secuencias de niveles de señal (SNS), causadas a partir de secuencias de niveles de señal regulares depositadas en la segunda memoria (10), que, sin embargo, aun son asignables biunívocamente a un número de revoluciones o a un paso de desplazamiento y
  - se puede realizar, mediante la unidad de procesamiento (11), una comparación continua entre las secuencias de niveles de señal determinadas depositadas en la primera memoria (9) y las secuencias de niveles de señal depositadas en la segunda memoria (10) y la tercera memoria (12) y
  - durante una revolución entera o media del elemento giratorio (4) o un paso de desplazamiento de la rueda polar giratoria (5a) de la escala (5b) magnética lineal móvil, el nivel de señal se puede emitir como un valor de revolución o desplazamiento biunívoco o, inmediatamente, como error no corregible.
2. Contar revoluciones magnético según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** junto al contar revoluciones (2), se proporciona otro sensor de ángulo o cuadrante (3) para la detección de las posiciones angulares del elemento giratorio (4), o de la rueda polar (5a) o de desplazamientos lineales de la escala lineal (5b), cuya señal especifica cuál de las subtablas (10a -10d) asignadas a los cuadrantes, o las secciones de ángulo o las secciones de escala lineal en la segunda memoria (10) y las subtablas (12a - 12d) en la tercera memoria (12) deben ser consultadas por la unidad de procesamiento (11) para la comparación.
3. Contar revoluciones magnético según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** la pista conductora de paredes de dominio está formada por una espiral (20) de múltiples espiras, que termina en ambos lados en ambos extremos puntiagudos (21, 22) o que, en lugar de las puntas, se proporciona un generador de pared de dominio (23, 24) o uno para cada uno, donde un patrón de magnetización (PM) definido, con una separación predefinible entre dos paredes de dominio adyacentes (PD) o huecos entre paredes de dominio (HPD), se imprime en esta espiral (20) sustancialmente en forma de rombo y se proporcionan contactos eléctricos sobre las pistas conductoras de paredes de dominio, de manera que las pistas conductoras de paredes de dominio, ubicadas diagonalmente opuestas, sean detectadas conjuntamente por un contacto de GND (70) respectivo y un contacto de VCC (80) colectivamente, o en grupos de contactos de VCC y grupos de contactos de GND con una lectura multiplexada, y se proporcionan contactos separados (91, 93, 95 y 90, 92, 94) sobre cada sección de pistas conductoras de paredes de dominio individuales solamente en un lado y sustancialmente centradas entre el contacto de GND (70) y el contacto (80) mencionados anteriormente o con una lectura multiplexada, en grupos de contactos que contactan una pluralidad de espiras como contacto central de (semipuentes) de Wheatstone.

4. Contar revoluciones magnético según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** la pista conductora de paredes de dominio está formada por una espiral de múltiples espiras, cerrada y esencialmente en forma de rombo, en la que al menos dos paredes de dominio magnéticas están insertadas de tal manera que las al menos dos paredes de dominio (111, 112) a través de medios (25, 26) para la producción, fijación o cancelación de paredes de dominio, de una manera definida, se lleven a una distancia definida de más de 360° una con respecto a otra, en relación a su cambio de ubicación de la primera a la segunda posición, con giro del campo magnético exterior, alrededor del ángulo, de más de 360° y, por lo tanto, estén separadas entre sí, donde los contactos eléctricos se proporcionan sobre las pistas conductoras de paredes de dominio, de tal manera que las pistas conductoras de paredes de dominio localizadas diagonalmente opuestas sean capturadas por un contacto de GND respectivo y por un contacto de VCC respectivo por espira o, con una lectura multiplexada, por un contacto de GND común (70) y un contacto de VCC (80) y contactos centrales (91, 93, 95 y 97) dispuestos en un lado entre los contactos antes mencionados (70, 80), en cada sección de bucle.
5. Contar revoluciones magnético según la reivindicación 1 o 3, **caracterizado por el hecho de que** la pista conductora de paredes de dominio está formada por dos subespirales yuxtapuestas, de múltiples espiras, esencialmente con forma de rombo (20a; 20b), que presentan el mismo sentido de rotación, donde cada una de las subespirales (20a; 20b) colocadas una enfrente de la otra, son detectadas por un contacto de GND común respectivo (71; 72) y un contacto de VCC (81; 82) y los contactos centrales (91, 93, 95, 97; 99, 101, 103, 105, 107) están proporcionados en un lado entre los contactos GND y VCC mencionados anteriormente, y un patrón de magnetización definido de paredes de dominio está inscrito en las pistas conductoras de paredes de dominio, que, por medio de los medios (25, 26) para la producción, fijación o cancelación definida de paredes de dominio, se llevan a una distancia definida de más de 360° entre sí, en relación con su cambio de ubicación de la primera a la segunda posición, con un giro del campo magnético exterior alrededor del ángulo de más de 360°, y estas paredes de dominio adyacentes están separadas unas de otras.
6. Contar revoluciones magnético según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** todas las pistas conductoras de paredes de dominio están diseñadas como pistas conductoras de paredes de dominio paralelas entre sí y son legibles conjuntamente por dichos contactos y que están provistas por patrones de magnetización idénticos en el momento de la inicialización.
7. Contar revoluciones magnético según la reivindicación 1 y 4, **caracterizado por el hecho de que** se proporcionan una pluralidad de bucles (B5, B8; B9) enrollados varias veces, separados entre sí y cerrados, cuyo número respectivo de revoluciones máximamente determinable de manera biunívoca está definido como coprimo, uno con respecto a otro por una ocupación de las paredes de dominio predefinidas.

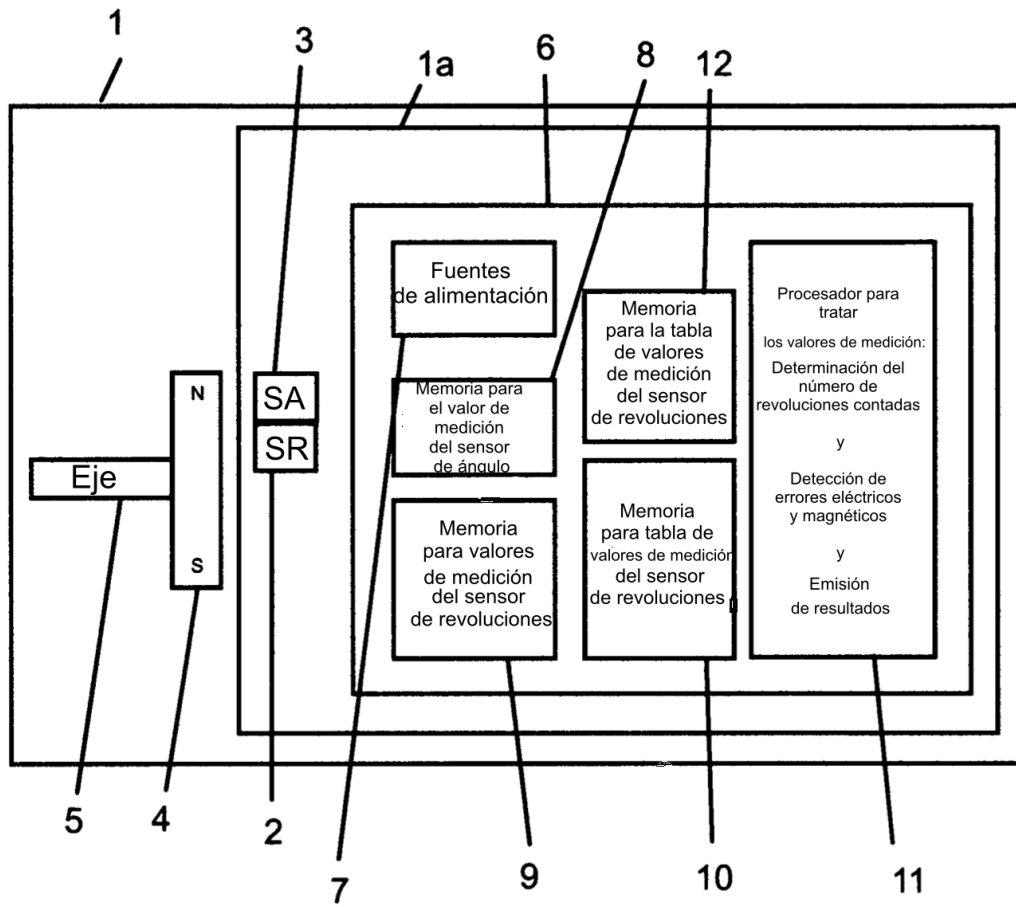


Figura 1

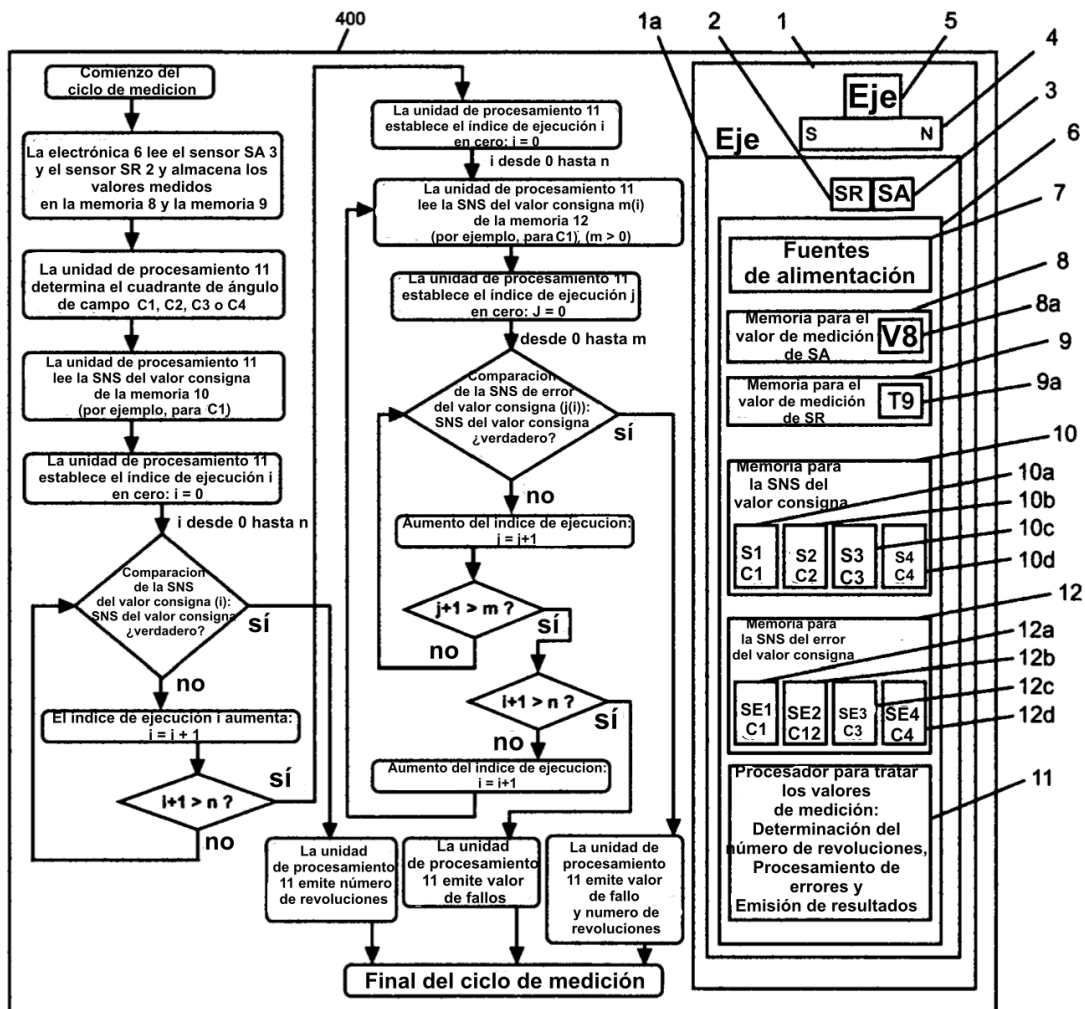


Figura 2



Figura 3a

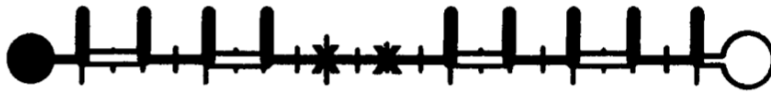


Figura 3b

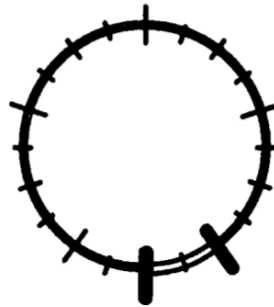
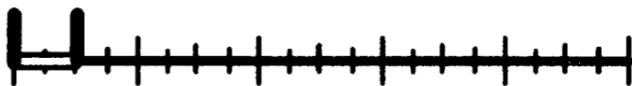


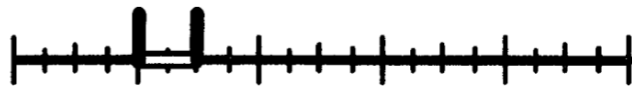
Figura 3c



Figura 3d



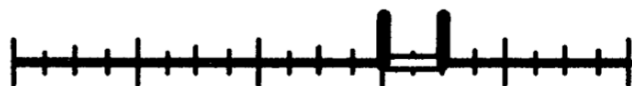
0 Figura 3e



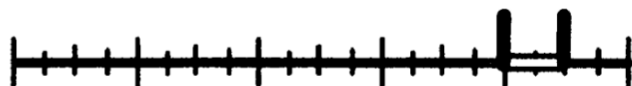
1 Figura 3f



2 Figura 3g



3 Figura 3h



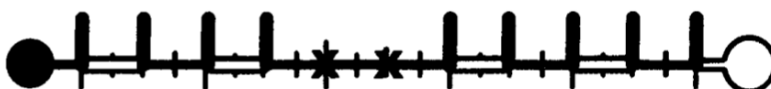
4 Figura 3i



0 Figura 3j



1 Figura 3k



2 Figura 3l

Figura 3



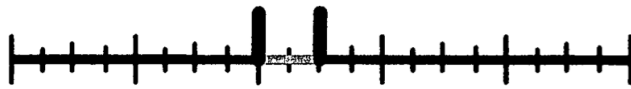


Figura 4a



Figura 4b



Figura 4c

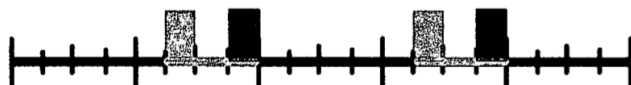


Figura 4d



Figura 4e

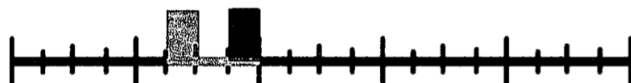


Figura 4f

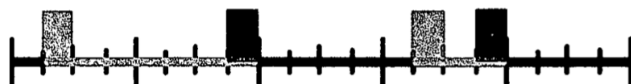


Figura 4g



Figura 4h



Figura 4i



Figura 4j



Figura 4k

Figura 4

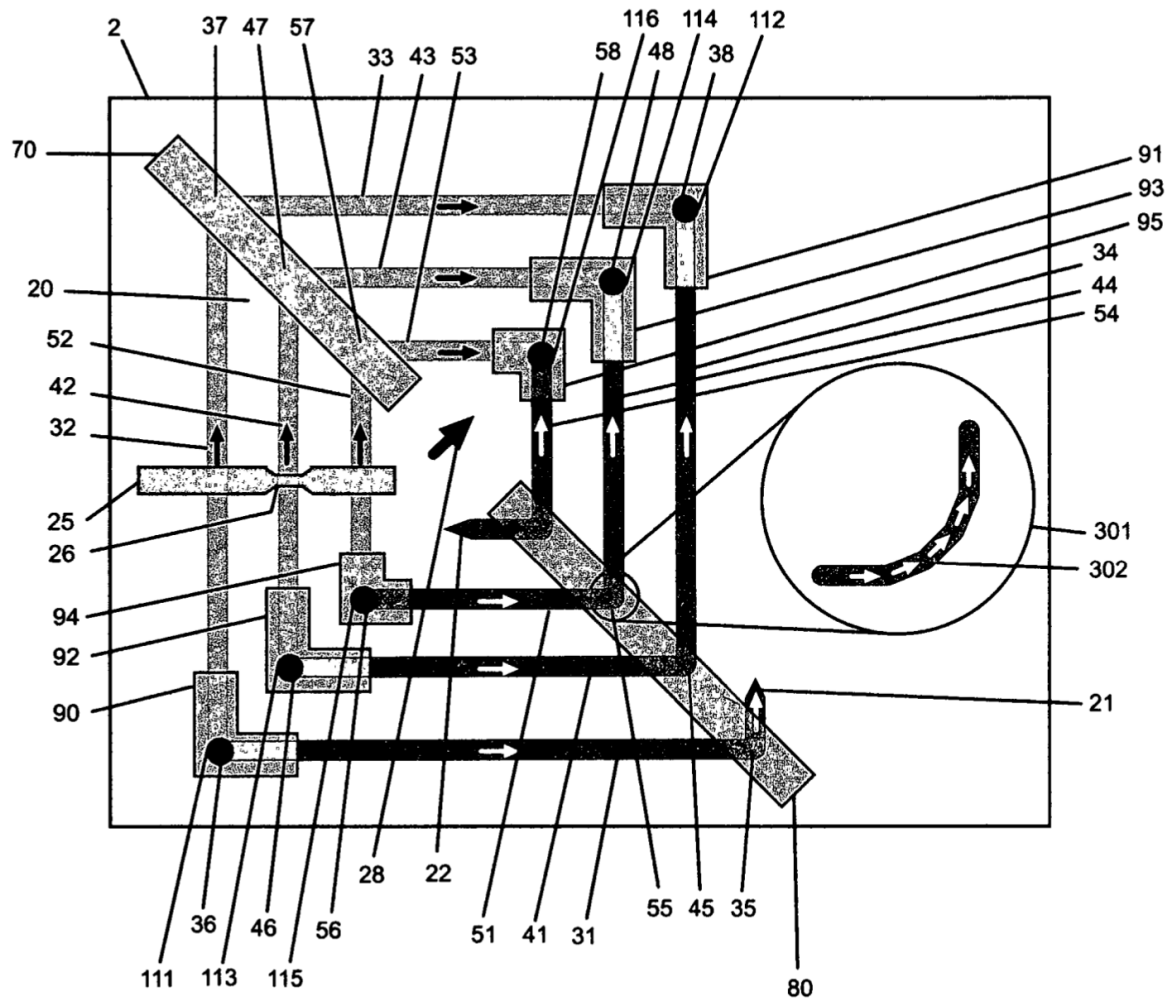


Figura 5

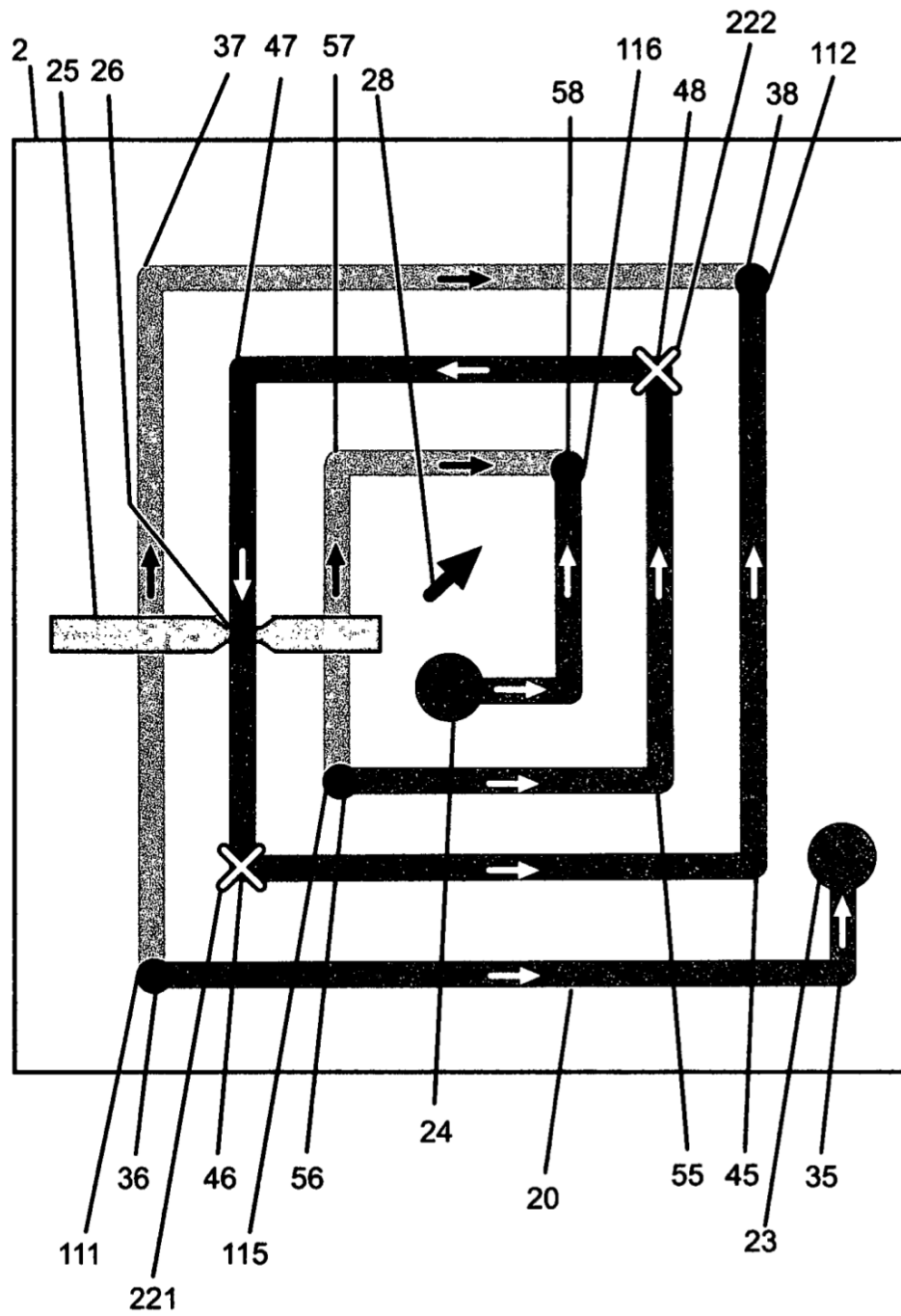


Figura 6

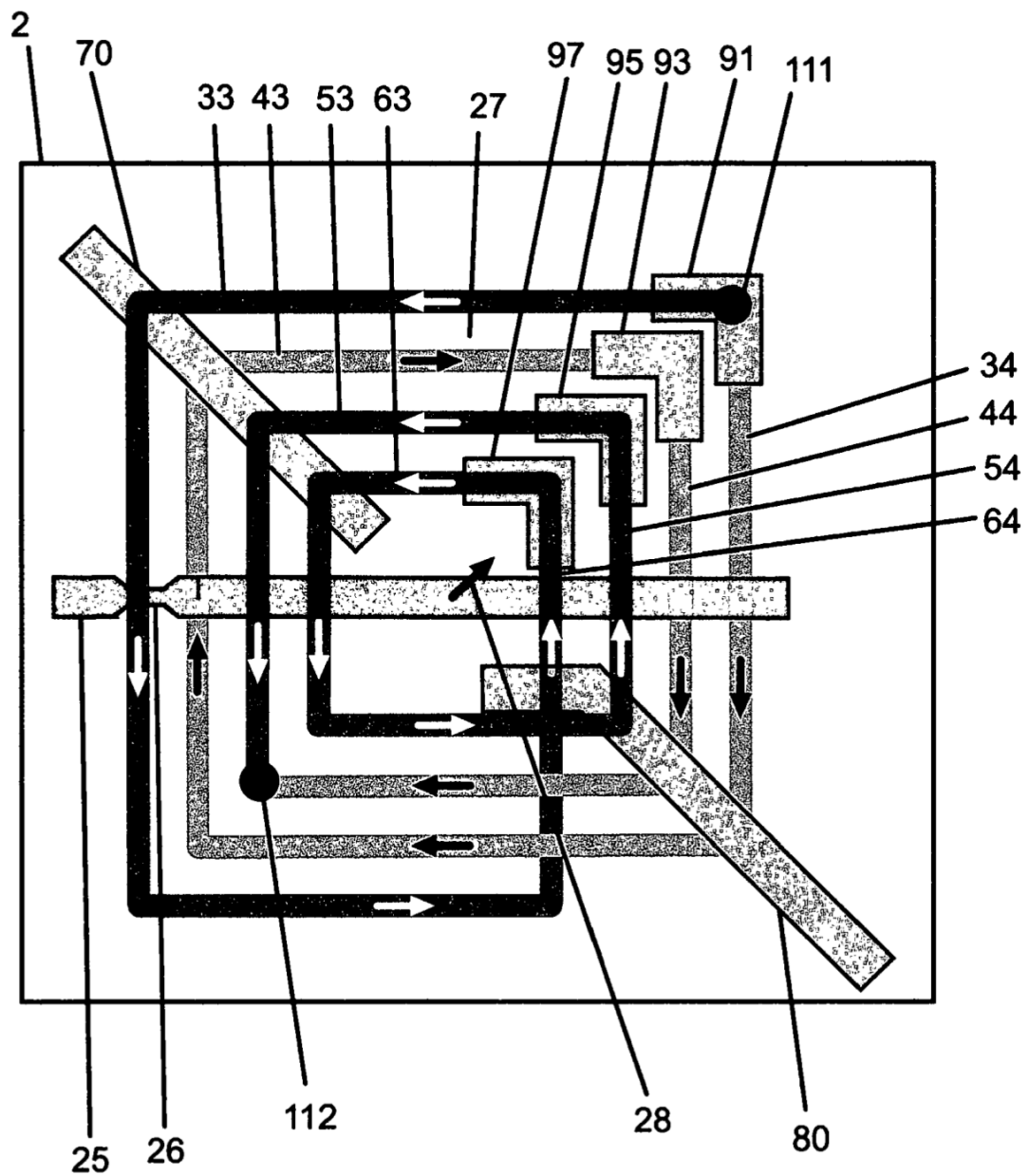


Figura 7

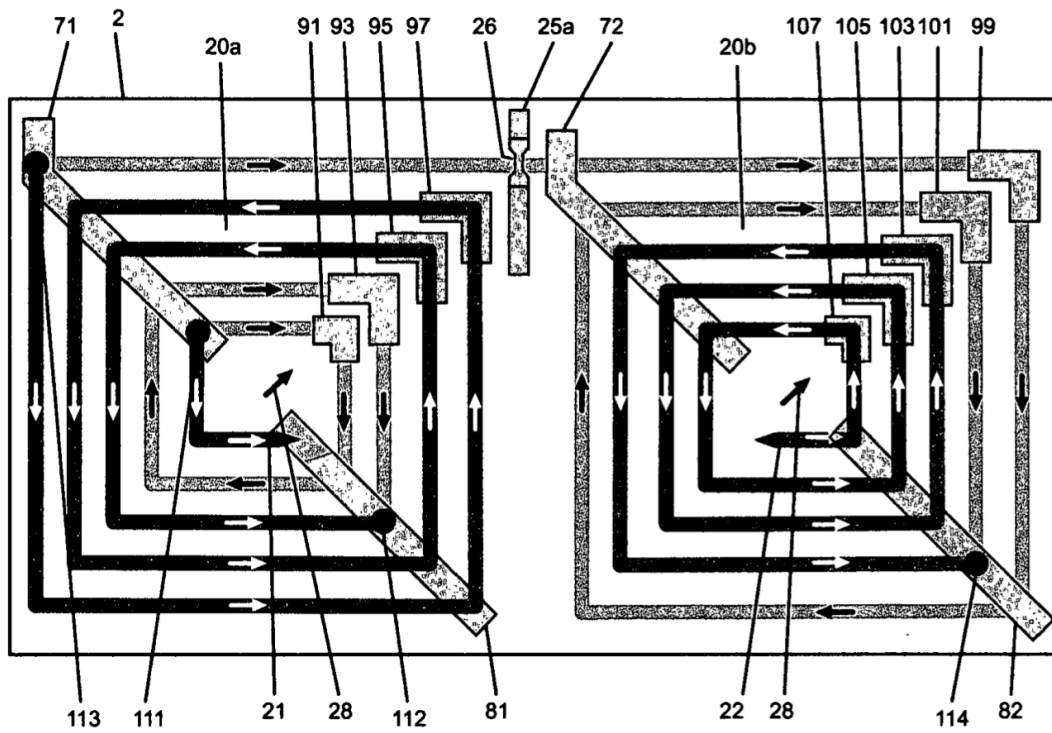


Figura 8

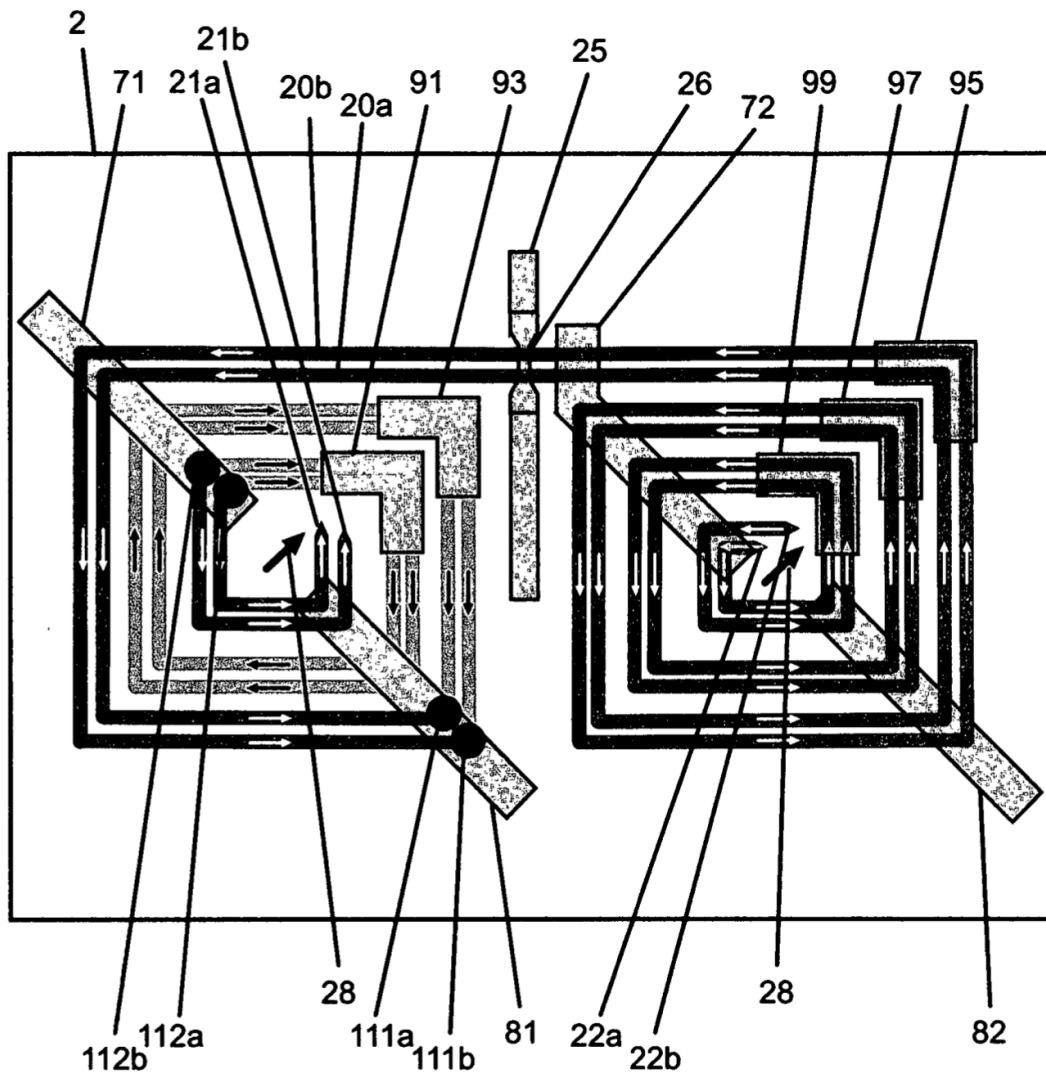
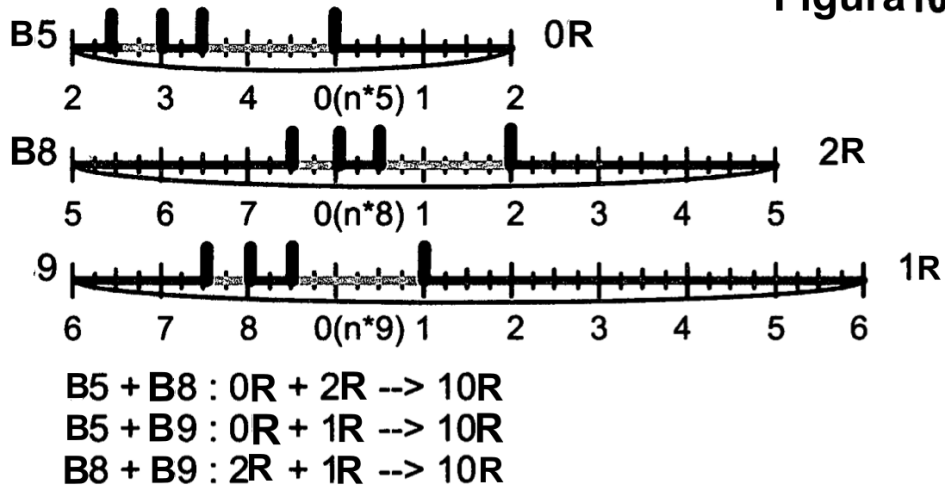
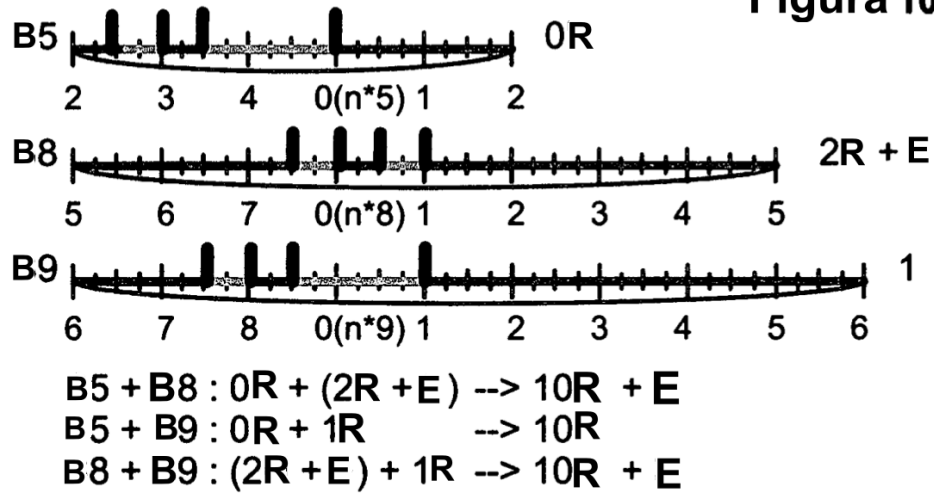


Figura 9

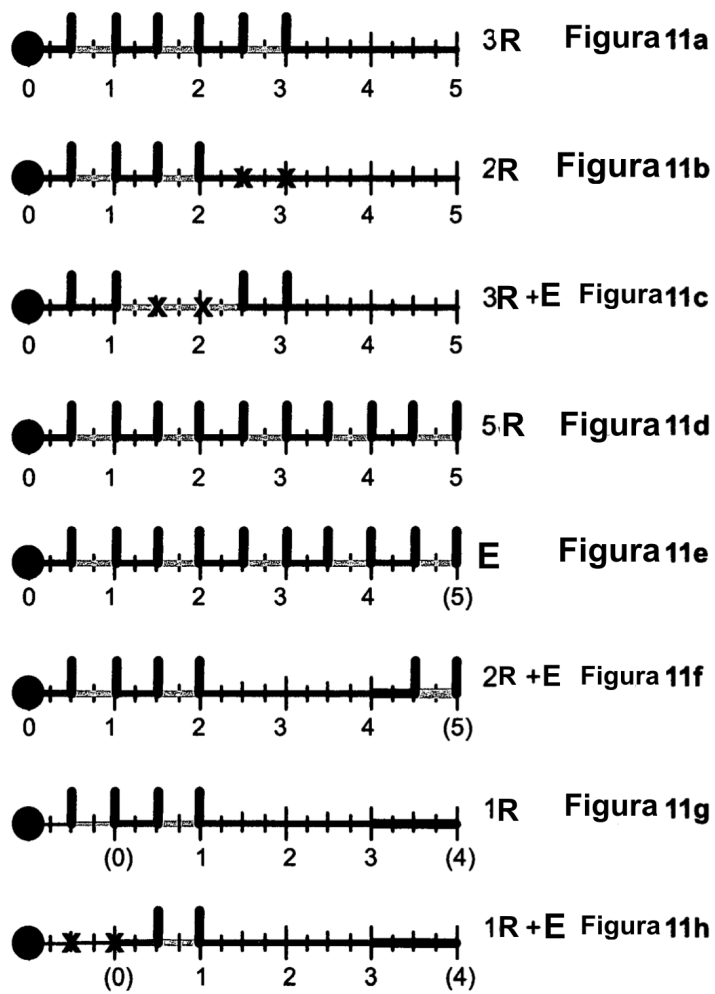
**Figura10a**



**Figura 10b**

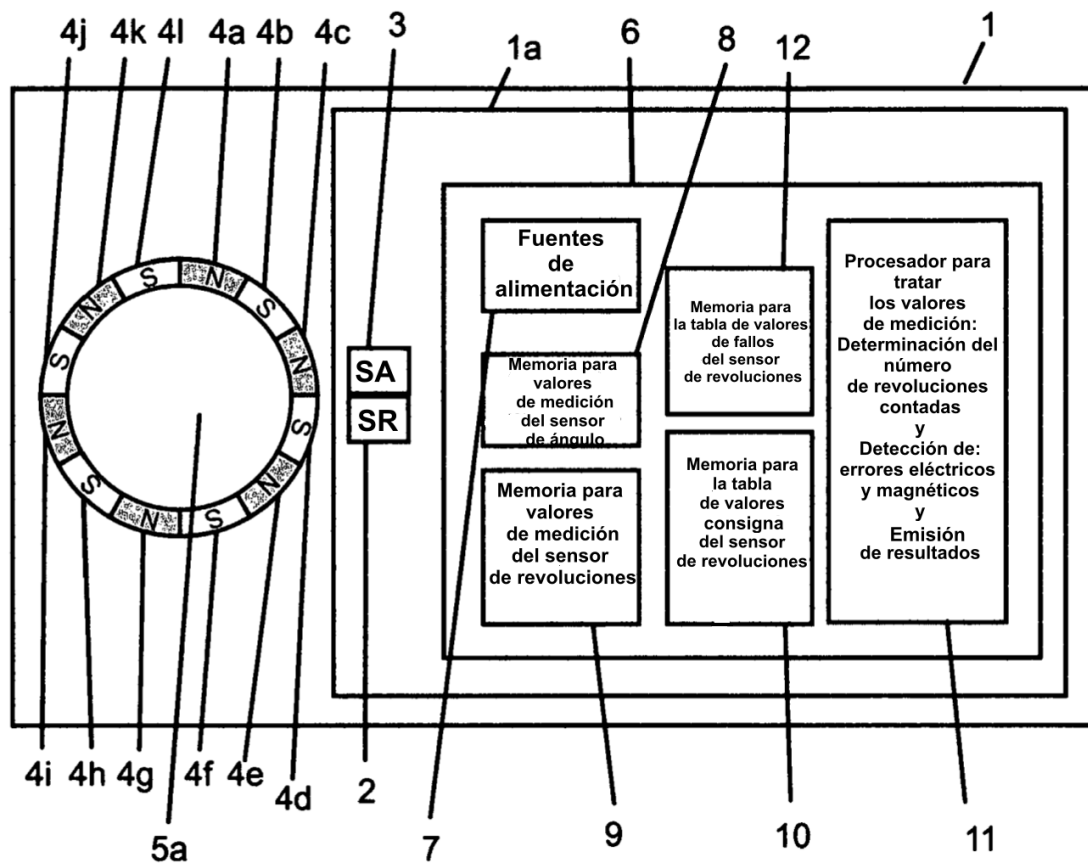


**Figura 10**



**Figura 11**





### Figura 12

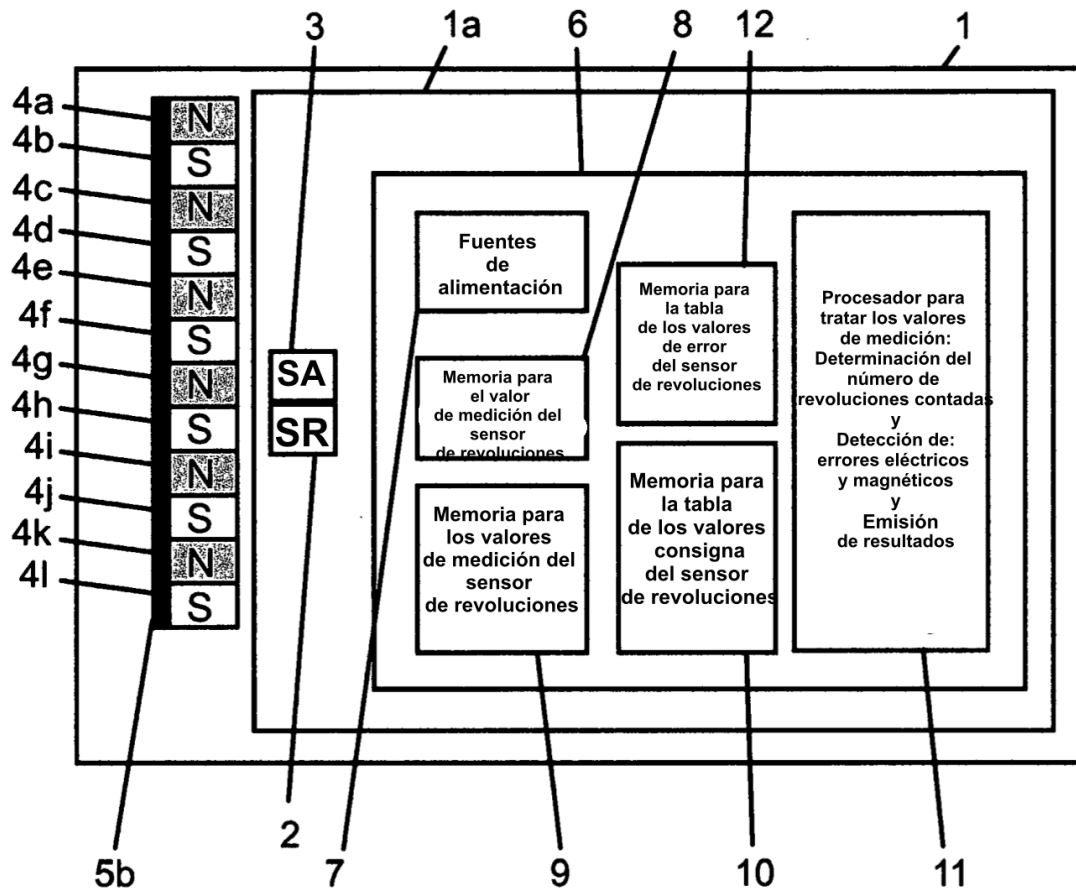


Figura 13

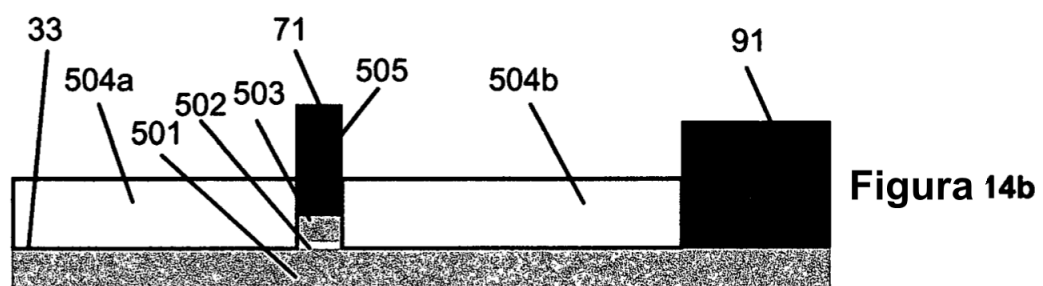
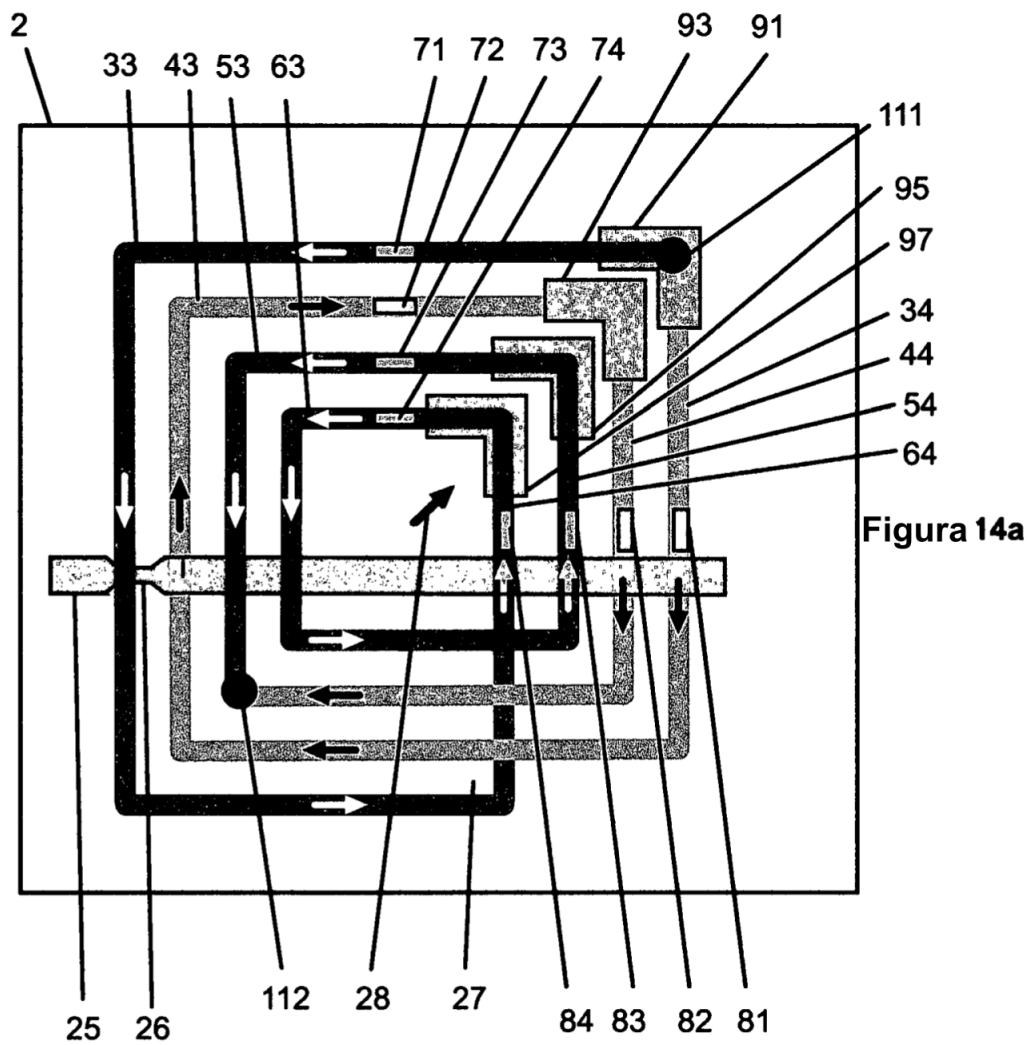


Figura 14

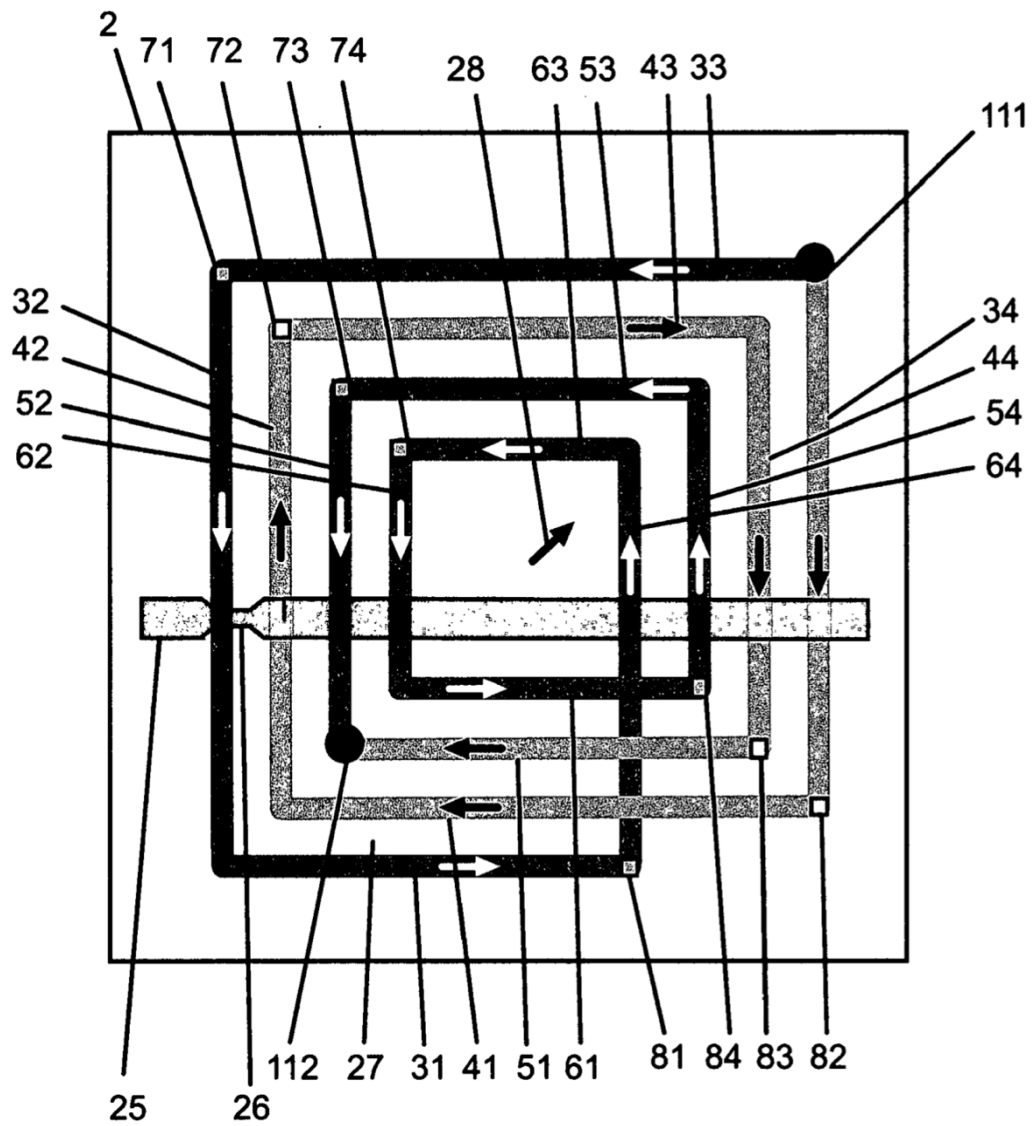


Figura 15