(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 923 414**

(51) Int. CI.:

G01D 5/244 (2006.01)
G01D 5/245 (2006.01)
G01D 5/244 (2006.01)
G01D 5/245 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2020 E 20173118 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.07.2022 EP 3907477**

(54) Título: **Dispositivo magnético de medición de posición**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.09.2022

(73) Titular/es:

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GMBH (100.0%)
Dr.-Johannes-Heidenhain-Str. 5
83301 Traunreut, DE

(72) Inventor/es:

SCHNEIDER, JOHANNES

(74) Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

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

Dispositivo magnético de medición de posición

Campo de la técnica

La presente invención se refiere a un dispositivo magnético de medición de posición que es adecuado para la medición de posición de dos objetos que están dispuestos de forma móvil entre sí a lo largo de al menos una dirección de medición.

Estado de la técnica

Los dispositivos magnéticos de medición de posición generalmente comprenden una escala magnética que consiste en rangos de escala de diferente magnetización dispuestos de manera alterna en la dimensión de cuadrícula P y una unidad de escaneo móvil relativa a ésta en al menos una dirección de medición. La dimensión de la cuadrícula P indica la extensión de un rango de escala a lo largo de la dirección de medición. En el lado de la unidad de escaneo, entre otras cosas, se proporciona una disposición de detector que tiene elementos detectores adecuados sensibles al campo magnético. Las capas delgadas magnetorresistivas en forma de tira pueden considerarse como elementos detectores, por ejemplo, capas de Permalloy con una resistencia magnética anisotrópica. Esto significa que, en presencia de un campo magnético externo, en los elementos detectores cambia la resistencia eléctrica. El cambio en la resistencia que resulta en los elementos detectores es una función del campo magnético externo, por lo que, con el aumento de las intensidades del campo magnético, las curvas características de dichos elementos detectores experimentan distorsiones. Las distorsiones de la curva característica tienen entonces la consecuencia de que las señales de salida de los elementos detectores también tienen distorsiones dependiendo de las amplitudes del campo magnético de escala y afectan negativamente la exactitud de la medición de posición. Dichas distorsiones se denominarán en lo sucesivo armónicos de la frecuencia fundamental de la señal de medición, que resulta de la dimensión de cuadrícula P de la escala.

Ya se ha conocido una serie de soluciones para la eliminación de tales armónicos magnéticos en dispositivos de medición de posición. Dependiendo del armónico a filtrar, generalmente se proporciona una cierta disposición geométrica de los elementos detectores en la disposición del detector del lado de escaneo.

La publicación JP 10-185507 A propone, por ejemplo, para filtrar los terceros armónicos indeseables, una cierta formación de una celda elemental detectora en la disposición del detector, que comprende tres elementos detectores magnetorresistivos en forma de tira, que están dispuestos en la dirección de la medición distanciados entre sí; las direcciones longitudinales de los elementos detectores están orientadas, cada una, perpendicularmente a la dirección de medición. Los elementos detectores adyacentes tienen una distancia de P/8 a lo largo de la dirección de medición, donde P indica la dimensión de cuadrícula de los rangos de escala con magnetización opuesta. El elemento detector medio de la celda elemental detectora tiene una longitud más larga con la longitud L1 que los dos elementos detectores externos, cada uno de los cuales tiene la longitud L2. La longitud L2 de los elementos del detector externos se selecciona de acuerdo con la publicación JP 10-185507 A respectivamente con $L2 = L1 / \sqrt{2}$. Ubicada a una distancia a lo largo de la dirección de medición, se proporciona una segunda celda elemental detectora idénticamente construida, que junto con la primera celda elemental detectora forma un primer bloque detector. Con la ayuda del primer bloque detector, se genera una primera señal incremental periódica; un segundo bloque detector genera una segunda señal incremental periódica, que se compensa en fases en 90° en comparación con la primera señal incremental. El segundo bloque detector está dispuesto perpendicularmente a la dirección de medición en comparación con el primer bloque detector en una cantidad mayor que la longitud L1.

Por un lado, esta variante de filtro está diseñada solo para filtrar los terceros armónicos de las señales de medición; a veces, sin embargo, las señales de medición contienen armónicos aún más altos que deben eliminarse.

Por otro lado, la desviación de los bloques detectores requeridos perpendicularmente a la dirección de la tira para generar la primera y segunda señal incremental no resulta ser ventajosa. Si, por ejemplo, la falta de homogeneidad en la composición del material está presente a escala, las amplitudes de la primera y segunda señales incrementales difieren localmente, lo que resulta en una detección de posición inexacta.

Resumen de la invención

La presente invención se basa en el objetivo de especificar un dispositivo magnético de medición de posición de alta precisión que permita el filtrado efectivo de varios armónicos no deseados de las señales de salida. Al extender la disposición del detector de la manera más compacta posible, se debe garantizar un buen efecto de filtro incluso en el caso de falta de homogeneidad existente en la escala escaneada.

Este objetivo se logra de acuerdo con la invención mediante un dispositivo magnético de medición de posición con las características de la reivindicación 1 y mediante un dispositivo magnético de medición de posición con las características de la reivindicación 6,

Formas de realización ventajosas del dispositivo magnético de medición de posición según la invención resultan de las medidas expuestas en las reivindicaciones dependientes.

El dispositivo magnético de medición de posición según la invención comprende una escala magnética y una unidad de escaneo que se puede mover en al menos una dirección de medición, en relación con esta. La escala magnética tiene rangos de escala dispuestos en la dimensión de cuadrícula uniforme P con magnetización orientada opuestamente, en cuyo caso la dimensión de cuadrícula P indica la extensión de un rango de escala a lo largo de la dirección de medición. La unidad de escaneo tiene al menos una primera celda elemental detectora que comprende tres elementos detectores magnetorresistivos en forma de tira, que están dispuestos en la dirección de medición a una distancia entre sí, en donde las direcciones longitudinales de los elementos detectores están orientadas perpendicularmente a la dirección de medición. A lo largo de la dirección de medición, los elementos detectores adyacentes en la primera celda elemental detectora tienen una distancia $D_x = P/12$. El elemento detector medio tiene una longitud L_b a lo largo de su dirección longitudinal, que es mayor que las longitudes L_a, L_c de los dos elementos detectores externos, en donde los dos elementos detectores externos tienen cada uno una longitud de elemento detector $L_a = L_c = L_b/\sqrt{3}$. La unidad de escaneo tiene al menos un primer bloque detector que consiste en la primera celda elemental detectora y una segunda celda elemental detectora, que es idéntica a la primera celda elemental detectora, en donde la segunda celda elemental detectora

- está dispuesta a lo largo de la dirección de medición desviado en la cantidad de desviación de dirección de medición, $V_DE_x = P/6$ en comparación con la primera celda elemental detectora, y
- está dispuesta perpendicularmente a la dirección de medición desviado en la cantidad de desviación transversal $V_DE_y = L_b + \Delta 1$ en comparación con la primera celda elemental detectora, de modo que el primer bloque detector a lo largo de la dirección longitudinal de los elementos detectores tiene una longitud de bloque detector $L_DB_y = 2 \bullet L_b + \Delta 1$, y donde se selecciona $\Delta 1 = [10\mu m - 100\mu m]$.

Además, es posible que la unidad de escaneo tenga además un segundo bloque detector que es idéntico al primer bloque detector, en donde el primer y el segundo bloque detector juntos forman un primer grupo de detectores, y en donde el segundo bloque detector

- está dispuesto a lo largo de la dirección de medición desviado en la cantidad de desviación de dirección de medición $V_DB_x = P/22$ en comparación con el primer bloque detector, y
- está dispuesto perpendicularmente a la dirección de medición desviado en la cantidad de desviación transversal $V_DB_y = L_DB_y + \Delta 2$ en comparación con el primer bloque detector, y donde se selecciona $\Delta 2 = [10\mu m - 100\mu m]$.

Además, los elementos detectores del primer grupo de detectores pueden estar interconectados en serie entre sí, de modo que, en el caso del movimiento relativo de la escala y la unidad de escaneo, se puede generar una primera señal incremental parcial periódica por medio del primer grupo de detectores.

Además, podrá disponerse que la unidad de escaneo tenga al menos tres grupos de detectores adicionales, cada uno de los cuales sea idéntico al primer grupo de detectores, en donde

- un segundo grupo de detectores está dispuesto, distanciado del primer grupo de detectores, a lo largo de la dirección de medición a una distancia $G_x = P/4$ de modo que, en el caso del movimiento relativo de la escala y la unidad de escaneo, se puede generar una segunda señal incremental parcial periódica por medio del segundo grupo de detectores, que tiene desviación de fase en 90° en comparación con la primera señal incremental parcial, y
- un tercer grupo de detectores está dispuesto, distanciado del segundo grupo de detectores, a lo largo de la dirección de medición a una distancia Gx = P/4 de modo que, en el caso del movimiento relativo de la escala y la unidad de escaneo, se puede generar una tercera señal incremental parcial periódica por medio del tercer grupo de detectores, que tiene desviación de fase en 90° en comparación con la segunda señal incremental parcial y
- un cuarto grupo de detectores está dispuesto, distanciado del tercer grupo de detectores, a lo largo de la dirección de medición a una distancia Gx = P/4 de modo que, en el caso del movimiento relativo de la escala y la unidad de escaneo, se puede generar una cuarta señal incremental parcial periódica por medio del cuarto grupo de detectores, que tiene desviación de fase en 90° en comparación con la tercera señal incremental parcial.

En este caso es posible que

- los grupos de detectores primero y tercero estén interconectados de tal manera que se puede generar una primera señal incremental periódica a partir de la primera y tercera señal incremental parcial, y
- los grupos de detectores segundo y cuarto están interconectados de tal manera que se puede generar una segunda señal incremental periódica a partir de la segunda y cuarta señal incremental parcial, que tiene desviación de fase en 90° en comparación con la primera señal incremental.

El dispositivo magnético de medición de posición según la invención comprende una escala magnética y una unidad de escaneo capaz de moverse en al menos una dirección de medición, en relación con ésta. La escala magnética tiene rangos de escala dispuestos en la dimensión de cuadrícula uniforme P con magnetización orientada opuestamente, en donde la dimensión de cuadrícula P indica la extensión de un rango de escala a lo largo de la

dirección de medición. La unidad de escaneo tiene al menos una primera celda elemental detectora que comprende tres elementos detectores magnetorresistivos en forma de tira, que están dispuestos en la dirección de medición a una distancia entre sí, en donde las direcciones longitudinales de los elementos detectores están orientadas perpendicularmente a la dirección de medición. Los elementos detectores adyacentes a lo largo de la dirección de medición, en la primera celda elemental detectora, tienen una distancia Dx = P/12. La unidad de escaneo tiene al menos un primer bloque detector que se compone de la primera celda elemental detectora y una segunda celda elemental detectora, en donde la segunda celda elemental detectora está dispuesta a lo largo de la dirección de medición desviada en la cantidad de desviación de dirección de medición V_DE_x = P/6 en comparación con la primera celda elemental detectora, y donde un elemento detector es parte tanto de la primera como de la segunda celda elemental detectora, de modo que el primer bloque detector comprende cinco elementos detectores. Los elementos detectores medios de las dos celdas elementales detectoras tienen cada uno la misma longitud $L_b = L_b'$. Los elementos detectores más externos de las dos celdas elementales detectoras tienen cada uno la misma longitud $L_a = L_a'$ y el elemento detector, que forma parte tanto de la primera como de la segunda celda elemental detectora, tiene una longitud de elemento detector $L_3 = 2 \cdot L_a = 2 \cdot L_b/\sqrt{3}$ a lo largo de su dirección longitudinal. Preferiblemente, el primer bloque detector a lo largo de la dirección longitudinal de los elementos detectores tiene una longitud de bloque detector $L_DB_y' = 2 \cdot L_b + \Delta 1'$, en donde se selecciona $\Delta 1'$ = [10µm - 100µm].

Además, se dispone que:

Continuación: Página original 7

- el elemento detector, que forma parte tanto de la celda elemental del primer como del segundo detector, está dispuesto simétricamente a una línea de simetría central del primer bloque detector, y
- los otros dos elementos detectores de la primera celda elemental detectora están dispuestos a una distancia en un lado de la línea de simetría en el rango entre $\Delta 1'/2$ y $L_DB_y'/2$, y
- los otros dos elementos detectores de la segunda celda elemental detectora están dispuestos en el rango entre $\Delta 1'/2$ y $L_DB_y'/2$ en el lado opuesto de la línea de simetría.

Además, la unidad de escaneo también puede tener un segundo bloque detector, que es idéntico al primer bloque detector, en donde el primer y el segundo bloque detector juntos forman un primer grupo de detectores y en donde el segundo bloque detector

- está dispuesto a lo largo de la dirección de medición desviado en la cantidad de desviación de dirección de medición $V_DB_x' = P/22$ en comparación con el primer bloque detector, y
- está dispuesto perpendicular a la dirección de medición desviado en la cantidad de desviación transversalmente $V_DB_y = L_DB_y' + \Delta 2'$ en comparación con el primer bloque detector, y donde se selecciona $\Delta 2'$ = [10µm - 100µm].

Con ventaja, los elementos detectores de un grupo de detectores están interconectados respectivamente en serie entre sí.

Además, puede preverse que los elementos detectores se formen como sensores magnetorresistivos anisótropos.

En el dispositivo magnético de medición de posición según la invención, se puede construir un dispositivo basado en la formación de una primera celda elemental detectora, que también asegura un filtrado o supresión de varios armónicos no deseados en las señales de salida, por ejemplo, el filtrado simultáneo de los armónicos 3., 5., 7., 9. y 11. Esto también se puede lograr mediante una expansión espacial extremadamente compacta de las estructuras necesarias para esto en la disposición del detector del lado de escaneo. Como resultado, la influencia de cualquier falta de homogeneidad de escala en el efecto de filtro deseado puede reducirse significativamente.

Otros detalles y ventajas de la presente invención se explican por medio de la siguiente descripción de ejemplos de realización del dispositivo según la invención en conexión con las figuras.

Breve descripción de los dibujos

Estos muestran

Figura 1 una representación esquemática de un primer ejemplo de realización del dispositivo magnético de medición de posición según la invención, que es adecuado para detectar movimientos relativos rotacionales;

Figura 2 una representación esquemática de un segundo ejemplo de realización del dispositivo magnético de medición de posición según la invención, que es adecuado para detectar movimientos relativos lineales;

Figura 3 una representación esquemática para la explicación de la estructura de una celda elemental detectora en un ejemplo de realización de una unidad de escaneo del dispositivo magnético de medición de posición según la invención;

Figura 4 una representación esquemática para la explicación de la estructura de un bloque detector en un ejemplo de realización de una unidad de escaneo del dispositivo magnético de medición de posición de acuerdo con la invención;

Figura 5 una representación esquemática para explicar la estructura de un grupo detector en un ejemplo de realización de una unidad de escaneo del dispositivo magnético de medición de posición de acuerdo con la invención;

Figura 6 una representación esquemática para la explicación de una disposición con varios grupos detectores en un ejemplo de realización de una unidad de escaneo del dispositivo magnético de medición de posición de acuerdo con la invención;

Figura 7 una representación esquemática para explicar la estructura de un bloque detector en otro ejemplo de realización de una unidad de escaneo del dispositivo magnético de medición de posición de acuerdo con la invención;

Figura 8 una representación esquemática para explicar la estructura de un grupo detector en la realización de la Figura 7.

Descripción de las formas de realización

Las figuras 1 y 2 ilustran en una forma muy esquematizada un primer y segundo ejemplo de realización del dispositivo magnético de medición de posición según la invención.

La variante que se muestra en la Figura 1 se utiliza para registrar la posición relativa de dos objetos, no mostrados, que están dispuestos girando entre sí alrededor de un eje de rotación R. Un primer objeto está conectado a la escala magnética 10 del dispositivo magnético de medición de posición según la invención, un segundo objeto con la unidad de escaneo 20 del dispositivo de medición de posición. La escala 10 y la unidad de escaneo 20 se pueden mover a lo largo de la dirección de medición x relativamente entre sí alrededor del eje de rotación R, en donde la dirección de medición x se extiende aquí a lo largo de un anillo circular alrededor del eje de rotación R.

Los objetos conectados con la escala 10 y la unidad de escaneo 20 pueden ser, por ejemplo, dos componentes de máquina que pueden moverse entre sí alrededor del eje de rotación R, cuya posición relativa puede detectarse con la ayuda del dispositivo magnético de medición de posición de acuerdo con la invención. Para este propósito, el dispositivo de medición de posición genera señales de escaneo dependientes de la posición en forma de señales incrementales periódicas, que pueden seguir procesándose por parte de una técnica electrónica de secuencial, no mostrada.

La escala magnética 10 tiene rangos de escala 11a, 11b con magnetización orientada opuestamente, que están dispuestos en la dimensión de cuadrícula uniforme P a lo largo de la dirección de medición x en la superficie circunferencial externa de un cuerpo portador en forma de tambor. El cuerpo portador en forma de tambor está dispuesto con capacidad de girar alrededor del eje de rotación R. La dimensión de cuadrícula P indica la extensión de un rango de escala 11a, 11b a lo largo de la dirección de medición x; tanto los rangos de escala 11a como también los rangos de escala 11b tienen, por lo tanto, la extensión idéntica a lo largo de la dirección de medición x. Como se puede ver en la Figura 1, los rangos de escala 11a, 11b están dispuestos de tal manera que los rangos de escala adyacentes 11a, 11b en el rango límite tienen cada uno una magnetización orientada opuestamente o los polos magnéticos iguales. En los rangos de escala adyacentes 11a, 11b, los polos magnéticos norte o sur se encuentran, por lo tanto, siempre opuestos entre sí. La periodicidad de la escala λ da como resultado una escala formada 10 de acuerdo con $\lambda = 2 \cdot P$.

Por medio de la escala 10, se genera un campo magnético modulado periódicamente a lo largo de la dirección de medición x adyacente a la escala 10, que es escaneada por la unidad de escaneo 20. En un posible ejemplo de realización, se selecciona la dimensión de cuadrícula de los rangos de escala 11a, 11b según P = 395µm.

En los lados de la unidad de escaneo 20 se proporciona una disposición de detector con varios elementos detectores magnetorresistivos para la generación de señales de escaneo dependientes de la posición o señales incrementales. La disposición del detector solo se indica esquemáticamente en la Figura 1 y se explica en detalle en el curso de la descripción adicional. En el presente ejemplo de realización, la unidad de escaneo 20 está dispuesta estacionaria en comparación con el cuerpo portador giratorio en forma de tambor con la escala 10.

Como elementos detectores magnetorresistivos, en la unidad de escaneo 20 en este ejemplo de realización fungen sensores magnetorresistivos anisotrópicos que también se conocen como los llamados sensores AMR. Estos se componen de capas delgadas diseñadas en forma de tira de una aleación de NiFe como, por ejemplo, Permalloy, cuya resistencia eléctrica cambia en presencia de un campo magnético externo. Debido al campo magnético de escala modulado periódicamente, en el caso de un movimiento relativo de escala 10 y unidad de escaneo 20, se pueden generar señales de escaneo periódicas dependientes de la posición por medio de la disposición del detector de la unidad de escaneo 20, que tienen un período de señal SP = P.

Las señales de escaneo generadas con la ayuda del dispositivo magnético de medición de posición según la invención se transmiten a un aparato electrónico secuencial, que tampoco se muestra en las figuras, que las procesa posteriormente según la aplicación. Por ejemplo, este puede ser un control de máquina de nivel superior que controla el movimiento relativo de los dos componentes de máquina capaces de moverse uno hacia el otro.

En la figura 2 se muestra una segunda variante de un dispositivo magnético de medición de posición según la invención. Este sirve para registrar la posición relativa de dos objetos, que tampoco se muestran, que están dispuestos aquí a lo largo de la dirección de medición lineal x, capaces de desplazarse entre sí. Un primer objeto está a su vez conectado a la escala magnética 110 del dispositivo magnético de medición de posición según la invención, un segundo objeto a la unidad de escaneo 120 del dispositivo de medición de posición.

La escala 110 se extiende aquí a lo largo de la dirección de medición lineal x y también tiene rangos de escala 111a, 111b con magnetización orientada opuestamente. Los rangos de escala 111a, 111b están dispuestos en un cuerpo portador adecuado como en la variante rotacional en la dimensión de cuadrícula uniforme P a lo largo de la dirección de medición x.

También en este ejemplo, la formación concreta de la unidad de escaneo 120 y, en particular, la disposición del detector con los elementos detectores magnetorresistivos no es reconocible a partir de la figura. Las posibles variantes de la unidad de escaneo 120 del dispositivo magnético de medición de posición según la invención se explican en detalle en la secuencia por medio de las figuras 3 a 6; estas pueden ser utilizadas tanto en formas de realización rotacionales como también lineales del dispositivo según la invención.

La figura 3 muestra en forma esquemática una vista superior de una primera celda elemental detectora 21.1 l en la disposición del detector de una unidad de escaneo, que se muestra adyacente a una sección de la escala magnética 10 escaneada anteriormente. La celda elemental detectora 21.1 comprende de acuerdo con este ejemplo de realización tres elementos detectores magnetorresistivos en forma de tira 21.1a, 21.1b, 21.1c, que están dispuestos en la dirección de medición x a una distancia entre sí. Los elementos detectores 21.1a - 21.1c son rectangulares, en donde sus direcciones longitudinales orientadas en paralelo y se extienden respectivamente perpendicular a la dirección de medición x.

La distancia D_x entre los elementos detectores adyacentes 21.1a - 21.1c proporcionada a lo largo de la dirección de medición x se selecciona en el dispositivo magnético de medición de posición de acuerdo con la invención dependiendo de la dimensión de cuadrícula P de los rangos de escala 11a, 11b en la escala 10 y es $D_x = P/12$.

Como se puede ver en la Figura 3, el elemento detector medio 21.1b, a lo largo de su dirección longitudinal y, tiene una longitud L_b que se selecciona mayor que las longitudes L_a, L_c de los dos elementos detectores externos 21.1a, 21.1c. Las longitudes L_a, L_c de los dos elementos detectores exteriores 21.1a, 21.1c están idénticamente seleccionadas y cada una tiene las longitudes $L_a = L_c = L_b/\sqrt{3}$.

En un posible ejemplo de realización, en el caso de una dimensión de cuadrícula P = 395µm, se elige la longitud de L_b del elemento detector medio 21.1b según L_b = 80µm, en donde resulta que para las longitudes L_a, L_c de los dos elementos detectores externos 21.1a, 21.1c según la relación antes mencionada La = Lc = 46,19µm.

Por medio de una formación de este tipo de la primera celda elemental detectora 21.1 resulta un efecto de filtro definido sobre los armónicos contenidos en las señales de escaneo periódicas. Por lo tanto, con una celda elemental detectora 21.1 diseñada de esta manera, los armónicos 5. y 7. pueden filtrarse de las señales de escaneo, lo que resulta en el caso de un movimiento relativo entre la escala 10 y la unidad de escaneo en el escaneo de la escala magnética 10.

En principio, en este ejemplo de una primera celda elemental detectora 21.1, no se requiere obligatoriamente que los dos elementos detectores externos 21.1a, 21.1c, como se proporciona en el ejemplo de la Figura 3, estén dispuestos en el medio con respecto a una línea de simetría S del elemento detector medio 21.1b. Alternativamente, también es posible que estos elementos detectores 21.1a, 21.1c estén dispuestos desviados a lo largo de su dirección longitudinal y en un área que se especifica por la longitud L_b del elemento detector medio 21.1b.

Con el fin de eliminar otros armónicos de las señales de escaneo además de los armónicos 5. y 7., la disposición de detector compuesta por la primera celda elemental detectora 21.1 en la unidad de escaneo puede modificarse o ampliarse adecuadamente. A continuación, se explica la posibilidad de filtrado adicional de los armónicos 3. y 9. Por medio de la representación esquemática de la Figura 4.

En este ejemplo de realización se prevé que la disposición del detector en la unidad de escaneo tenga una segunda celda elemental detectora 21.2 además de la primera celda elemental detectora 21.1. La segunda celda elemental detectora 21.2 es básicamente idéntica a la primera celda elemental detectora 21.1, es decir que comprende de forma análoga a la primera celda elemental detectora 21.1 también tres elementos detectores 21.2a - 21.2c, cuyas longitudes a lo largo de la dirección y, así como su disposición relativa mutua a lo largo de la dirección de medición, se seleccionan de manera análoga a la primera celda elemental detectora 21.1.

La segunda celda elemental detectora 21.2 está dispuesta en una cierta posición relativa a la primera celda elemental detectora 21.1 en la disposición del detector. Por lo tanto, la segunda celda elemental detectora 21.2 está dispuesta a lo largo de la dirección de medición x desviada en la cantidad de desviación de la dirección de medición $V_DE_x = P/6$ en comparación con la primera celda elemental detectora 21.1. Además, se prevé que la segunda celda elemental detectora 21.2 esté dispuesta perpendicular a la dirección de medición x, es decir, a lo largo de la dirección y, desviada en la cantidad de desviación transversal $V_DE_y = L_b + \Delta 1$ en comparación con la primera celda elemental detectora 21.1. La variable Δ1 se selecciona preferiblemente en un rango Δ1 = [10µm - 100µm].

Un primer bloque detector 22.1 se forma así por medio de las dos celdas elementales detectoras 21.1, 21.2. El primer bloque detector 22.1 tiene una longitud de bloque detector $L_DB_y = 2 \bullet L_b + \Delta 1$ a lo largo de la dirección longitudinal y de los elementos detectores 21.1a - 21.1c, 21.2a - 21.2c.

Si en un ejemplo de realización la variable Δ1 se selecciona aproximadamente Δ1 = 80µm, entonces con L_b = 80µm se obtiene una longitud de bloque detector L_DB_y = 240µm a lo largo de la dirección y. Es decir que se puede realizar un filtrado de armónicos no deseados de las señales de escaneo generadas mediante una disposición de detector, que se forma muy compacta a lo largo de la dirección y. Si hay expansiones típicas de eventuales faltas de homogeneidad de escala del orden de aprox. 300 µm, la influencia de cualquier falta de homogeneidad de escala en el efecto de filtro deseado puede reducirse significativamente mediante dicha disposición de detector.

Si, además de filtrar los armónicos 3., 5., 7. y 9., de las señales de escaneo también deben filtrarse los armónicos 11., entonces puede ampliarse de nuevo la disposición del detector que consiste en el primer bloque detector 22.1 según la Figura 4 en la unidad de escaneo. A continuación, se explica la posibilidad de un filtrado adicional de los 11 armónicos utilizando la representación esquemática de la Figura 5.

En este ejemplo de realización se prevé que la disposición del detector en la unidad de escaneo también tenga un segundo bloque detector 22.2 además del primer bloque detector 22.1. El segundo bloque detector 22.2 es básicamente idéntico al primer bloque detector 22.1 y también consiste en dos celdas elementales detectoras que tienen una cierta disposición relativa entre sí.

El segundo bloque detector 22.2 se coloca en la disposición del detector en una cierta disposición relativa al primer bloque detector 22.1. Por lo tanto, por un lado, se prevé que el segundo bloque detector esté dispuesto a lo largo de la dirección de medición x desviado en la cantidad de desviación de dirección de medición $V_DB_x = P/22$ en c operación con el primer bloque detector 22.1. Por otro lado, el segundo bloque detector 22.2 está dispuesto perpendicularmente a la dirección de medición x desviado en la cantidad de desviación transversal $V_DB_y = L_DB_y + \Delta 2$ en comparación con el primer bloque detector 22.1. La variable Δ2 se selecciona preferiblemente en un rango Δ2 = [10µm - 100µm].

Por medio de los dos bloques detectores 22.1, 22.2 en este ejemplo de realización se forma un primer grupo de detectores 23.1, que es adecuado para filtrar los armónicos 3., 5., 7., 9. y 11. de las señales de escaneo.

Todos los elementos detectores del primer grupo de detectores 23.1 están interconectados entre sí en serie en la unidad de escaneo. En el caso del movimiento relativo de la escala 10 y la unidad de escaneo, se puede generar una primera señal incremental parcial periódica, que en lo sucesivo se denominará S_0.

Con el fin de poder proporcionar una electrónica secuencial secundaria mediante señales incrementales con fase desviada de 90° para un dispositivo magnético de medición de posición de acuerdo con la invención, la disposición del detector de la Figura 5 puede ampliarse nuevamente. Una variante correspondiente de dicha disposición del detector se muestra esquemáticamente en la Figura 6. Esta figura también muestra los conductores de conexión que conectan entre sí respectivamente los elementos del detector en serie dentro de un grupo de detectores; estos se pueden formar, por ejemplo, como conductores de cobre entre las tiras de capa de Permalloy de los elementos detectores.

La disposición de los detectores que se muestra en la figura 6 también comprende, además del primer grupo de detectores 23.1 según el ejemplo de la figura 5, tres grupos de detectores adicionales 23.2 a 23.4, cada uno de los cuales es básicamente idéntico al primer grupo de detectores 23.1.

Un segundo grupo de detectores 23.2 está dispuesto a lo largo de la dirección de medición x distanciado a una distancia Gx = P/4 del primer grupo de detectores 23.1. En el caso del movimiento relativo de la escala 10 y la unidad de escaneo, se puede generar una segunda señal incremental parcial periódica S_90 por medio del segundo grupo de detectores 23.2, que tiene una desviación de fase de 90° en comparación con la primera señal incremental parcial S_0.

Un tercer grupo de detectores 23.3 también está dispuesto a lo largo de la dirección de medición x distanciado a la distancia Gx = P/4 del segundo grupo de detectores 23.2, tras lo cual, en el caso del movimiento relativo de la escala 10 y la unidad de escaneo, se puede generar una tercera señal incremental parcial periódica S_180, que tiene una desviación de fase de 90° en comparación con la segunda señal incremental parcial S_90.

Un cuarto grupo de detectores 23.4 se dispone finalmente a lo largo de la dirección de medición x distanciado a la distancia Gx = P/4 del tercer grupo de detectores 23.3 para generar una cuarta señal incremental parcial periódica S_270 por medio del cuarto grupo de detectores 23.4 en el caso del movimiento relativo de escala 10 y unidad de escaneo, que tiene una desviación de fase de 90° en comparación con la tercera señal incremental parcial S_180.

Con el fin de generar a partir de las cuatro señales incrementales parciales generadas S_0, S_90, S_180, S_270 las dos señales incrementales periódicas con desviación de fase de 90° requeridas por parte de la electrónica secuencial, también puede preverse que, por un lado, el grupo de detectores primero y tercero 23.1, 23.3 estén interconectados por medio de un semi-puente de tal manera que desde la primera y tercera señal incremental parcial S_0, S_180 se pueda generar la primera señal incremental periódica SIN. Por otro lado, en este caso, los grupos de detectores segundo y cuarto 23.2, 23.4 estarían interconectados por medio de otro semi-puente de tal manera que a partir de la segunda y cuarta señal incremental parcial S_90, S_270) se puede generar la segunda señal incremental periódica COS, que tiene una desviación de fase de 90° en comparación con la primera señal incremental SIN. La interconexión correspondiente de los elementos detectores no se muestra en detalle en la Figura 6, sino que solo se indica esquemáticamente.

Alternativamente, la generación de las señales incrementales SIN, COS también es posible a partir de puentes completos, cada uno de los cuales consta de dos semi-puentes conectados en paralelo. Para la formación de los puentes completos, se proporcionan cuatro grupos de detectores adicionales (23.1', 23.2', 23.3' y 23.4'), que son idénticos al primer hasta el cuarto grupo de detectores según el ejemplo explicado y están dispuestos a lo largo de la dirección de medición x con desplazamiento en la dimensión de cuadrícula P en comparación con los primeros cuatro grupos de detectores. La primera señal incremental SIN resulta entonces de la interconexión de puente completo de los grupos 23.1, 23.3, 23.1' y 23.3'. La segunda señal incremental COS con desplazamiento de fase de 90° resulta de la interconexión de puente completo de los grupos 23.2, 23.4, 23.2' y 23.4'.

Dicha disposición de detectores también puede extenderse a una matriz de varios grupos de detectores que consiste en columnas de varios grupos de detectores dispuestos en la dirección de medición x y filas dispuestas en la dirección y con varios grupos de detectores. Por ejemplo, se puede formar una matriz de ocho columnas y cuatro filas de grupos de detectores para este propósito. Mediante dicha disposición de detectores, se puede lograr un promedio mejorado de las señales de escaneo generadas; además, se pueden minimizar los errores resultantes de la ampliación no perfecta del dispositivo de medición de posición de acuerdo con la invención en la aplicación respectiva.

A continuación, se explica otro ejemplo de realización para la formación alternativa de bloques detectores o grupos de detectores adecuados en la disposición del detector de la unidad de escaneo de un dispositivo de medición de posición de acuerdo con la invención por medio de las Figuras 7 y 8; esencialmente se aceptan las diferencias significativas con las variantes explicadas hasta ahora.

La Figura 7 muestra la posibilidad de la formación de un primer bloque detector 222.1 a partir de dos celdas elementales detectoras 221.1, 221.2, en donde la segunda celda elemental detectora 221.2 está dispuesta a lo largo de la dirección de medición x desviada en la cantidad de desviación de dirección de medición $V_DE_x = P/6$ en comparación con la primera celda elemental detectora 221.1. Además, aquí se prevé que un elemento detector 221.3 es parte tanto de la primera como de la segunda celda elemental detectora 221.1, 221.2. Como se puede ver en la figura, la primera celda elemental detectora 222.1. es el tercer elemento detector desde la izquierda o la segunda celda elemental detectora es el primer elemento detector de la izquierda. Además, la primera y segunda celda elemental detectora 221.1, 221.2 también comprenden respectivamente dos elementos detectores adicionales 221.1a, 221.1b y 221.2a, 221.2b. Por lo tanto, el primer bloque detector 222.1 que se muestra en la Figura 7 tiene un total de cinco elementos detectores 221.1a, 221.1b, 221.3, 221.2a, 221.2b.

Como en el ejemplo anterior, los elementos detectores adyacentes de una celda elemental 221.1, 221.2 tienen cada uno una distancia $D_x = P/12$ a lo largo de la dirección de medición x.

En las dos celdas elementales detectoras 221.1, 221.2, los elementos detectores medios 221.1b, 221.2b tienen cada uno la misma longitud $L_b = L_b'$; asimismo, los elementos detectores más externos 221.1a, 221.2a en las dos celdas elementales detectoras 221.1, 221.2 tienen respectivamente la misma longitud $L_a = L_a'$.

El elemento detector 221.3, que forma parte de la primera y segunda celda elemental detectora 221.1, 222.2, tiene la longitud $L_3 = 2 \cdot L_a = 2 \cdot L_b/\sqrt{3}$ en el ejemplo de realización representado.

Para el primer bloque detector 221.1 que se muestra en la Figura 7, resulta una longitud de bloque detector $L_DB_y' = 2 \cdot L_b + \Delta 1'$; $\Delta 1' = [10\mu m - 100\mu m]$ a lo largo de la dirección longitudinal y de los elementos detectores 221.1a, 221.1b, 221.3, 221.2a, 221.2b.

Como también se puede ver en la Figura 7, el elemento detector 221.3, que forma parte tanto de primera como de la segunda celda elemental detectora 221.1, 221.2, está dispuesto simétricamente a una línea de simetría central S del primer bloque detector 221.1. Los dos elementos detectores adicionales 221.1a, 221.1b de la primera celda elemental detectora 221.1 están dispuestos en el rango entre $\Delta 1'/2$ y $L_DB_y'/2$ a una distancia en un lado de la línea

de simetría S. Los dos elementos detectores adicionales 221.2a, 221.2b de la segunda celda elemental detectora 221.2 están dispuestos en el rango entre Δ1'/2 y $L_DB_y'/2$ en el lado opuesto de la línea de simetría S.

Con la ayuda de un primer bloque detector 221.1, formado de esta manera, los armónicos 3., 5., 7. y 9. se pueden filtrar de las señales de escaneo periódicas. Si, además, se va a filtrar el armónico 11, entonces la disposición del detector puede complementarse de forma análoga al ejemplo anterior con otro segundo bloque detector 222.2 como se muestra esquematizado en la Figura 8. El segundo bloque detector 222.2 es en principio idéntico al primer bloque detector 222.1; junto con el primer bloque detector 222.1 forma a su vez un primer grupo de detectores 223.1 que es adecuado para generar una primera señal incremental parcial.

El segundo bloque detector 222.2 está dispuesto a lo largo de la dirección de medición x desviada en la cantidad de desviación de dirección de medición $V_DB_x'= P/22$ en comparación con el primer bloque detector 222.1. Perpendicular a la dirección de medición x está dispuesto el segundo bloque detector 222.2 desviado en la cantidad de desviación transversal $V_DB_y = L_DB_y'+ \Delta 2'$ en comparación con el primer bloque detector 22.1; aquí se selecciona Δ2' = [10µm - 100µm].

Como en el ejemplo anterior, la disposición del detector de la Figura 8 puede complementarse, por supuesto, con otros tres grupos de detectores, por medio de los cuales se pueden generar otras tres señales incrementales parciales. A partir de la interconexión adecuada de todos los cuatro grupos de detectores, se pueden formar a su vez las dos señales incrementales SIN, COS con desplazamiento de fase de 90°.

Además de los ejemplos de realización concretamente descritos, por supuesto existen otras opciones de configuración para el dispositivo magnético de medición de posición de acuerdo con la invención en el contexto de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo magnético de medición de posición con una escala magnética (10; 110) y una unidad de escaneo (20; 120) capaz de moverse en al menos una dirección de medición (x), en relación con esta, en donde

- la escala magnética (10; 110) tiene rangos de escala (11a, 11b; 111a, 111b) dispuestos en la dimensión de cuadrícula uniforme P con magnetización orientada opuestamente, en donde la dimensión de cuadrícula P indica la extensión de un rango de escala (11a, 11b; 111a, 111b) a lo largo de la dirección de medición (x), y
- la unidad de escaneo (20; 120) tiene al menos una primera celda elemental detectora (21.1) que comprende tres elementos detectores magnetorresistivos (21.1a - 21.1c) en forma de tira, que están dispuestos en la dirección de medición (x) a una distancia entre sí, en donde las direcciones longitudinales (y) de los elementos detectores (21.1a - 21.1c) están respectivamente orientadas perpendicularmente a la dirección de medición (x),

caracterizado porque

- a lo largo de la dirección de medición (x) los elementos detectores adyacentes (21.1a - 21.1c) en la primera celda elemental detectora (21.1) tienen una distancia entre sí $D_x = P/12$, y
- el elemento detector medio (21.1b) a lo largo de su dirección longitudinal (y) tiene una longitud L_b mayor que las longitudes L_a, L_c de los dos elementos detectores externos (21.1a, 21.1c), en donde los dos elementos detectores externos (21.1a, 21.1c) tienen cada uno una longitud de elemento detector $L_a = L_c = L_b/\sqrt{3}$, y
- la unidad de escaneo (20; 120) tiene al menos un primer bloque detector (22.1) que consiste en la primera celda elemental detectora (21.1) y una segunda celda elemental detectora (21.2) que está formada idénticamente a la primera celda elemental detectora (21.1), en donde la segunda celda elemental detectora (21.2)
- está dispuesta a lo largo de la dirección de medición (x) desviada en la cantidad de desviación de dirección de medición $V_DE_x = P/6$ en comparación con la primera celda elemental detectora (21.1), y
- está dispuesta perpendicularmente a la dirección de medición (x) desviada en la cantidad de desviación transversal $V_DE_y = L_b + \Delta 1$ en comparación con la primera celda elemental detectora (21.1), de modo que el primer bloque detector (22.1) a lo largo de la dirección longitudinal (y) de los elementos detectores (21.1a - 21.1c; 21.2a - 21.2c) tiene una longitud de bloque detector $L_DB_y = 2 \bullet L_b + \Delta 1$, y donde se selecciona $\Delta 1$ = [10µm - 100µm].

2. Dispositivo magnético de medición de posición según la reivindicación 1, caracterizado porque la unidad de escaneo (20; 120) tiene además un segundo bloque detector (22.2) que está formado idénticamente al primer bloque detector (22.1), en donde el primer y el segundo bloque detector (22.1, 22.2) juntos forman un primer grupo de detectores (23.1), y en donde el segundo bloque detector (22.2)

- está dispuesto a lo largo de la dirección de medición (x) desviado en la cantidad de desviación de la dirección de medición $V_DB_x = P/22$ en comparación con el primer bloque detector (22.1), y
- está dispuesto perpendicularmente a la dirección de medición desviado en la cantidad de desviación transversal $V_DB_y = L_DB_y + \Delta 2$ en comparación con el primer bloque detector (22.1), y donde se selecciona $\Delta 2$ = [10µm - 100µm].

3. Dispositivo magnético de medición de posición según la reivindicación 2, caracterizado porque los elementos detectores del primer grupo detector (23.1) están interconectados en serie entre sí, de modo que en el caso del movimiento relativo de escala (10; 110) y unidad de escaneo (20; 120) se puede generar una primera señal incremental parcial periódica (S_0) por medio del primer grupo detector (23.1).

4. Dispositivo magnético de medición de posición según la reivindicación 3, caracterizado porque la unidad de escaneo (20; 120) tiene al menos tres grupos detectores adicionales (23.2, 23.3, 23.4), cada uno de los cuales es idéntico al primer grupo de detectores (23.1), en donde

- un segundo grupo detector (23.2) está dispuesto a lo largo de la dirección de medición (x) distanciado del primer grupo detector (23.1) a una distancia $G_x = P/4$, de modo que en el caso del movimiento relativo de escala (10; 110) y unidad de escaneo (20; 120) se puede generar una segunda señal incremental parcial periódica (S_90) por medio del segundo grupo de detectores (23.2), que tiene desviación de fase en 90° en comparación con la primera señal incremental parcial (S_0), y
- un tercer grupo de detectores (23,3) está dispuesto a lo largo de la dirección de medición (x) distanciado del segundo grupo de detectores (23.2) a una distancia $G_x = P/4$, de modo que en el caso del movimiento relativo de escala (10; 110) y unidad de escaneo (20; 120) se puede generar una tercera señal incremental parcial periódica (S_180) por medio del tercer grupo de detectores (23.3), que tiene desviación de fase en 90° en comparación con la segunda señal incremental parcial (S_90), y
- un cuarto grupo de detectores (23,4) está dispuesto a lo largo de la dirección de medición (x) distanciado del tercer grupo de detectores (23.3) a una distancia Gx = P/4, de modo que en el caso del movimiento relativo de escala (10; 110) y unidad de escaneo (20; 120) se puede generar una cuarta señal incremental parcial periódica (S_270) por medio del cuarto grupo de detectores (23.4) que tiene desviación de fase de 90° en comparación con la tercera señal incremental parcial (S_180)

5. Dispositivo magnético de medición de posición según la reivindicación 4, caracterizado porque

- el primer y tercer grupo de detectores (23.1, 23.3) están interconectados entre sí de tal manera que se puede generar una primera señal incremental periódica (SIN) a partir de la primera y tercera señal incremental parcial (S_0, S_180), y
- los grupos de detectores segundo y cuarto (23.2, 23.4) están interconectados entre sí de tal manera que se puede generar una segunda señal incremental periódica (COS) a partir de la segunda y cuarta señal incremental parcial (S_90, S_270), que tiene desviación de fase de 90° en comparación con la primera señal incremental (SIN).

6. Dispositivo magnético de medición de posición con una escala magnética (10; 110) y una unidad de escaneo (20; 120) capaz de moverse en al menos una dirección de medición (x), en relación con esta, en donde

- la escala magnética (10; 110) tiene rangos de escala (11a, 11b; 111a, 111b) dispuestos en la dimensión de cuadrícula uniforme P con magnetización orientada opuestamente, en donde la dimensión de cuadrícula P indica la extensión de un rango de escala (11a, 11b; 111a, 111b) a lo largo de la dirección de medición (x), y
- la unidad de escaneo (20; 120) tiene al menos una primera celda elemental detectora (21.1) que comprende tres elementos detectores magnetorresistivos en forma de tira (21.1a - 21.1c), que están dispuestos en la dirección de medición (x) a una distancia entre sí, en donde las direcciones longitudinales (y) de los elementos detectores (21.1a - 21.1c) están orientadas cada una perpendicularmente a la dirección de medición (x),

caracterizado porque,

- la unidad de escaneo (20; 120) tiene al menos un primer bloque detector (222.1) que consiste en la primera celda elemental detectora (221.1) y una segunda celda elemental detectora (221.2), en donde la segunda celda elemental detectora (221.2) está dispuesta perpendicularmente a la dirección de medición (x) desviada en la cantidad de desviación de la dirección de medición $V_DE_x = P/6$ en comparación con la primera celda elemental detectora (222.1), y en donde un elemento detector (221.3) forma parte tanto de la primera como de la segunda celda elemental detectora (221.1, 221.2) de modo que el primer bloque detector (221) comprende cinco elementos detectores (221.1a, 221.1b, 221.3, 221.2a, 221.2b), y
- los elementos detectores medios (221.1b, 221.2b) de las dos celdas elementales detectoras (221.1, 221.2) tienen cada uno la misma longitud $L_b = L_b'$, y
- los elementos detectores más externos (221.1a, 221.2a) de las dos celdas elementales detectoras (221.1, 221.2) tienen cada uno la misma longitud $L_a = L_a'$, y
- el elemento detector (221.3), que forma parte tanto de la primera como de la segunda celda elemental detectora (221.1, 221.2), tiene una longitud $L_3 = 2 \bullet L_a = 2 \bullet L_b/\sqrt{3}$ a lo largo de su dirección longitudinal (y).

7. Dispositivo magnético de medición de posición según la reivindicación 6, caracterizado porque el primer bloque detector (222.1) a lo largo de la dirección longitudinal (y) de los elementos detectores (221.1a, 221.1b, 221.3, 221.2a, 221.2b) tiene una longitud de bloque detector $L_DB_y' = 2 \bullet L_b + \Delta 1'$, y en donde se selecciona $\Delta 1' = [10\mu m - 100\mu m]$.

8. Dispositivo magnético de medición de posición según la reivindicación 7, caracterizado porque

- el elemento detector (221.3), que forma parte tanto de la primera como de la segunda celda elemental detectora (221.1, 221.2), está dispuesto simétricamente a una línea de simetría central (S) del primer bloque detector (221.1), y
- los otros dos elementos detectores (221.1a, 221.1b) de la primera celda elemental detectora (221.1) están dispuestos en el rango entre $\Delta 1'/2$ y $L_DB_y'/2$ distanciados a un lado de la línea de simetría (S), y
- los otros dos elementos detectores (221.2a, 221.2b) de la segunda celda elemental detectora (221.2) están dispuestos en el rango entre $\Delta 1'/2$ y $L_DB_y'/2$ en el lado opuesto de la línea de simetría (S).

9. Dispositivo magnético de medición de posición según la reivindicación 8, caracterizado porque la unidad de escaneo tiene además un segundo bloque detector (222.2) que es idéntico al primer bloque detector (222.1), en donde el primer y el segundo bloque detector (222.1, 222.2) juntos forman un primer grupo de detectores (223.1) y en donde el segundo bloque detector (222.2)

- está dispuesto a lo largo de la dirección de medición (x) desviado del primer bloque detector (222.1) en la cantidad de desviación de la dirección de medición $V_DB_x' = P/22$, y
- está dispuesto perpendicularmente a la dirección de medición (x) desviado del primer bloque detector (222.1) en la cantidad de desviación transversal $V_DBy = L_DB_y' + \Delta 2'$, y donde se selecciona $\Delta 2' = [10\mu m - 100\mu m]$.

10. Dispositivo magnético de medición de posición según la reivindicación 4 o 9, caracterizado porque los elementos detectores de un grupo de detectores están interconectados en serie entre sí.

11. Dispositivo magnético de medición de posición según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los elementos detectores están formados como sensores magnetorresistivos anisotrópicos.

FIG. 1

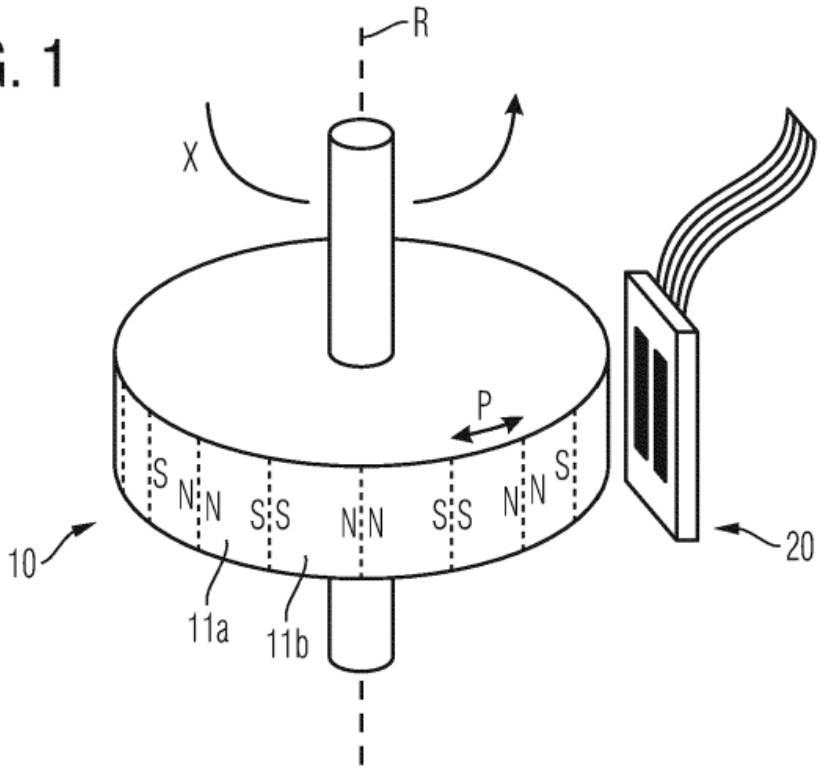

R
X
P
S
N
N
S
S
N
N
S
S
N
N
S
10
11a
11b
20

FIG. 2

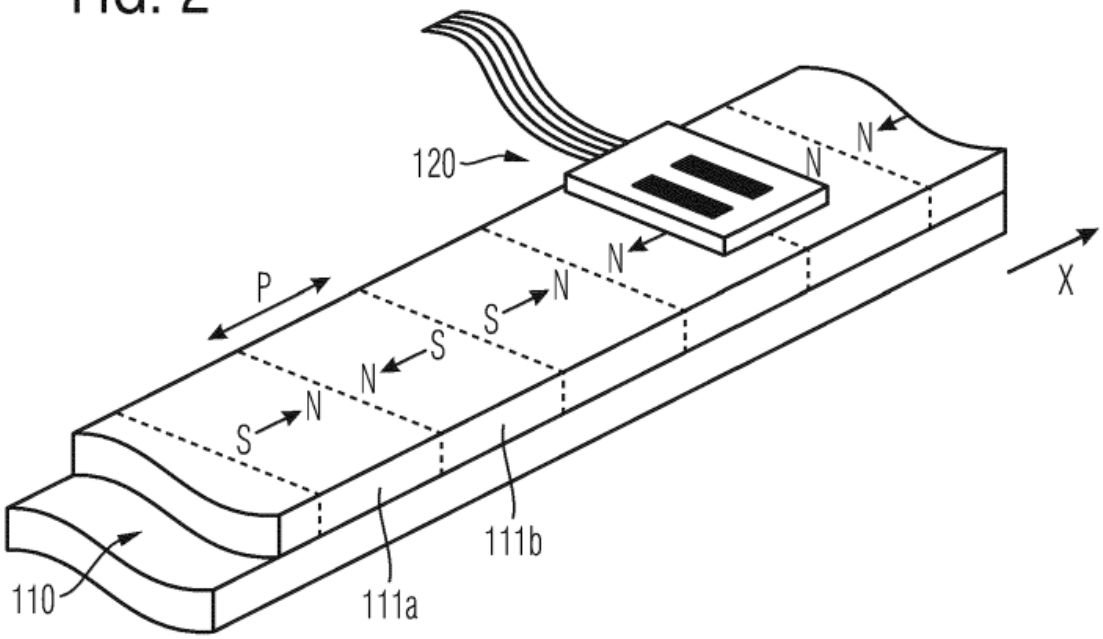

120
N
N
N
P
S
N
S
N
N
S
X
110
111a
111b

FIG. 3

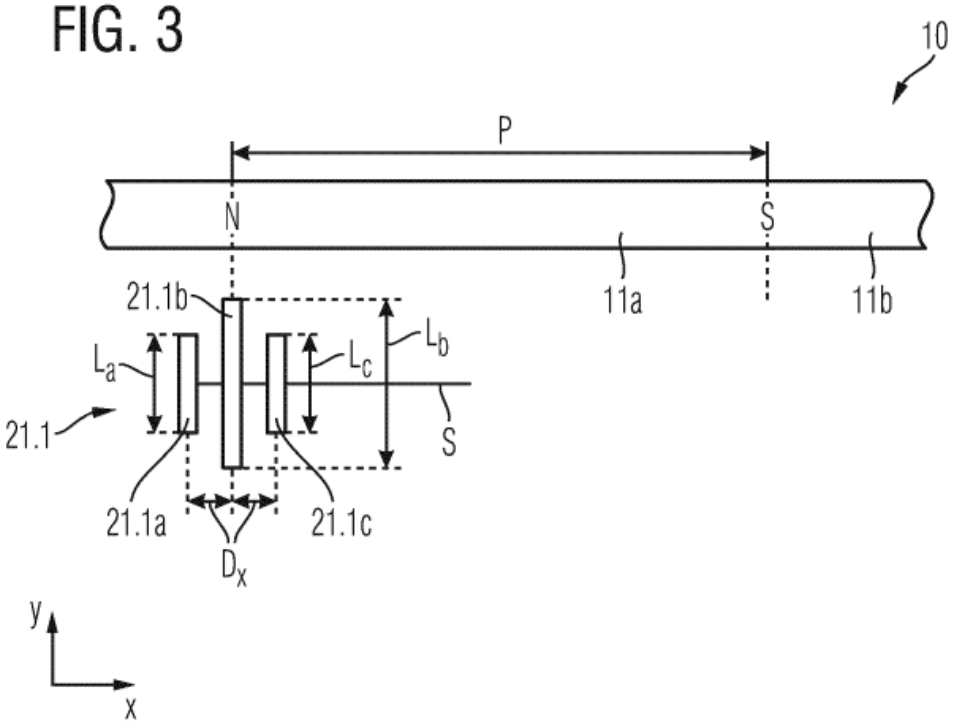

10
P
N
S
11a
11b
21.1b
L_a
L_c
L_b
21.1
S
21.1a
21.1c
D_x
y
x

FIG. 4

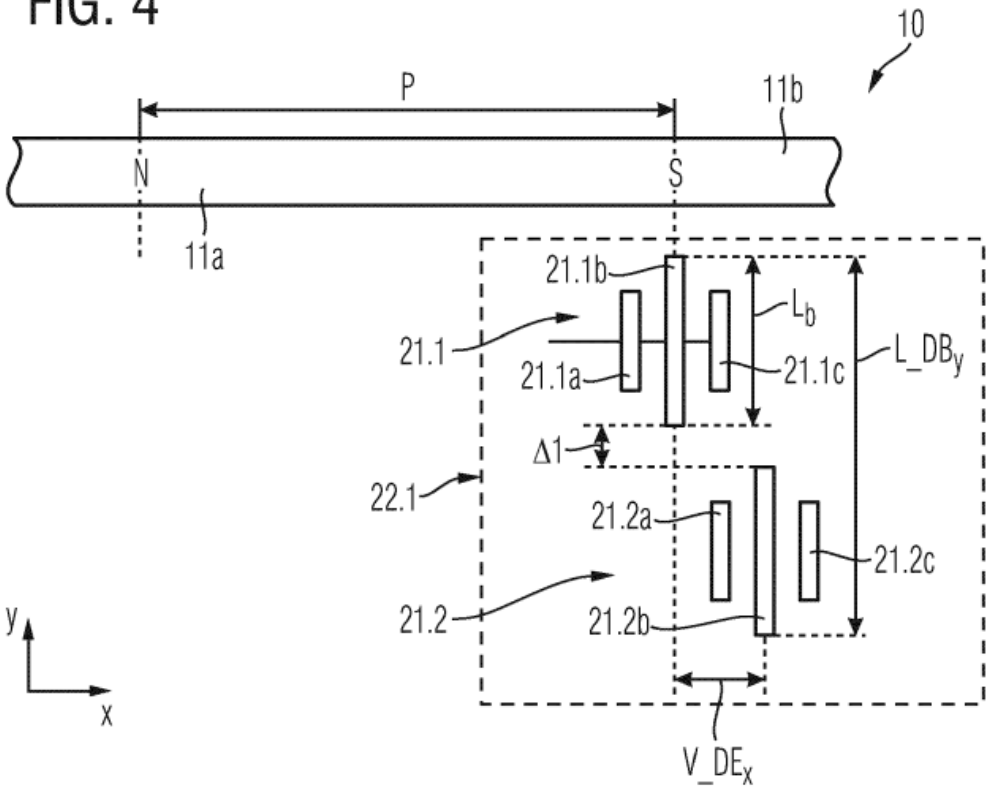

10
P
11b
N
S
11a
21.1b
L_b
21.1
L_DB_y
21.1a
21.1c
Δ1
22.1
21.2a
21.2c
21.2
21.2b
y
x
V_DE_x

FIG. 5

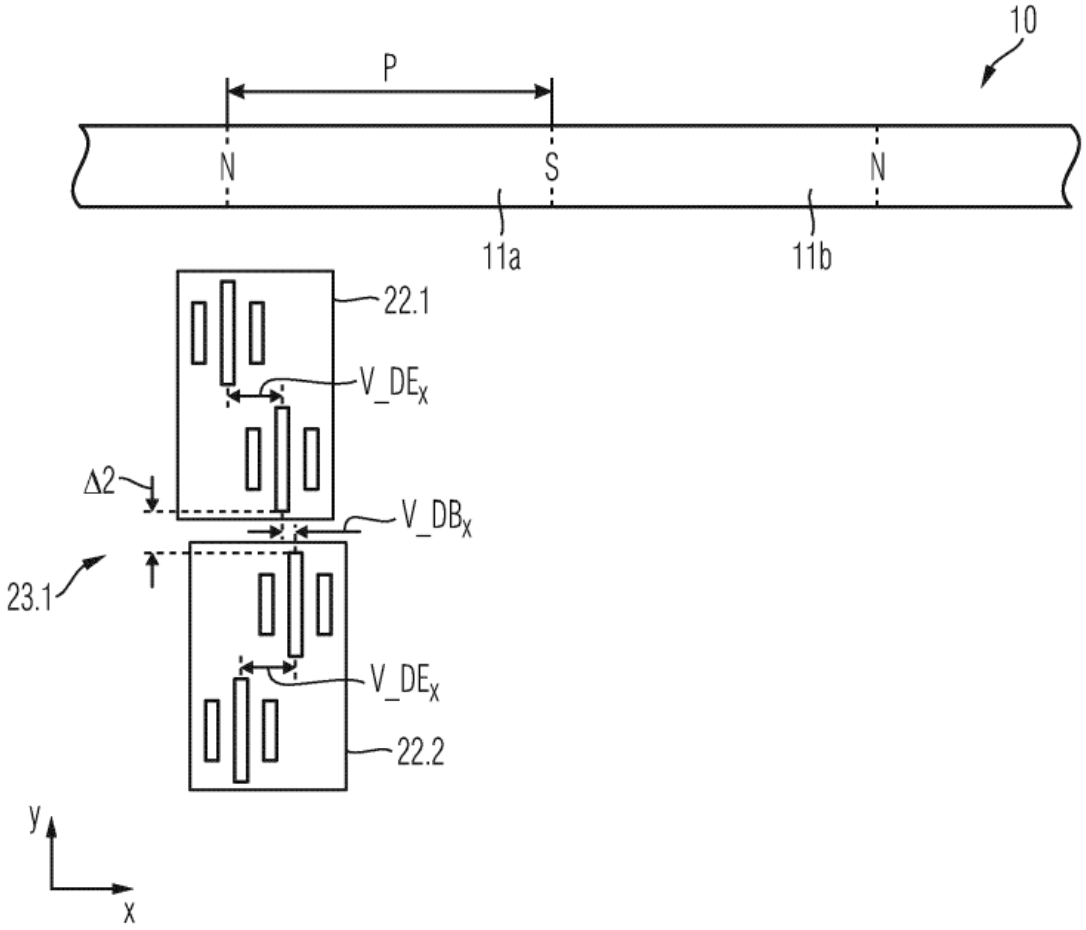


FIG. 6

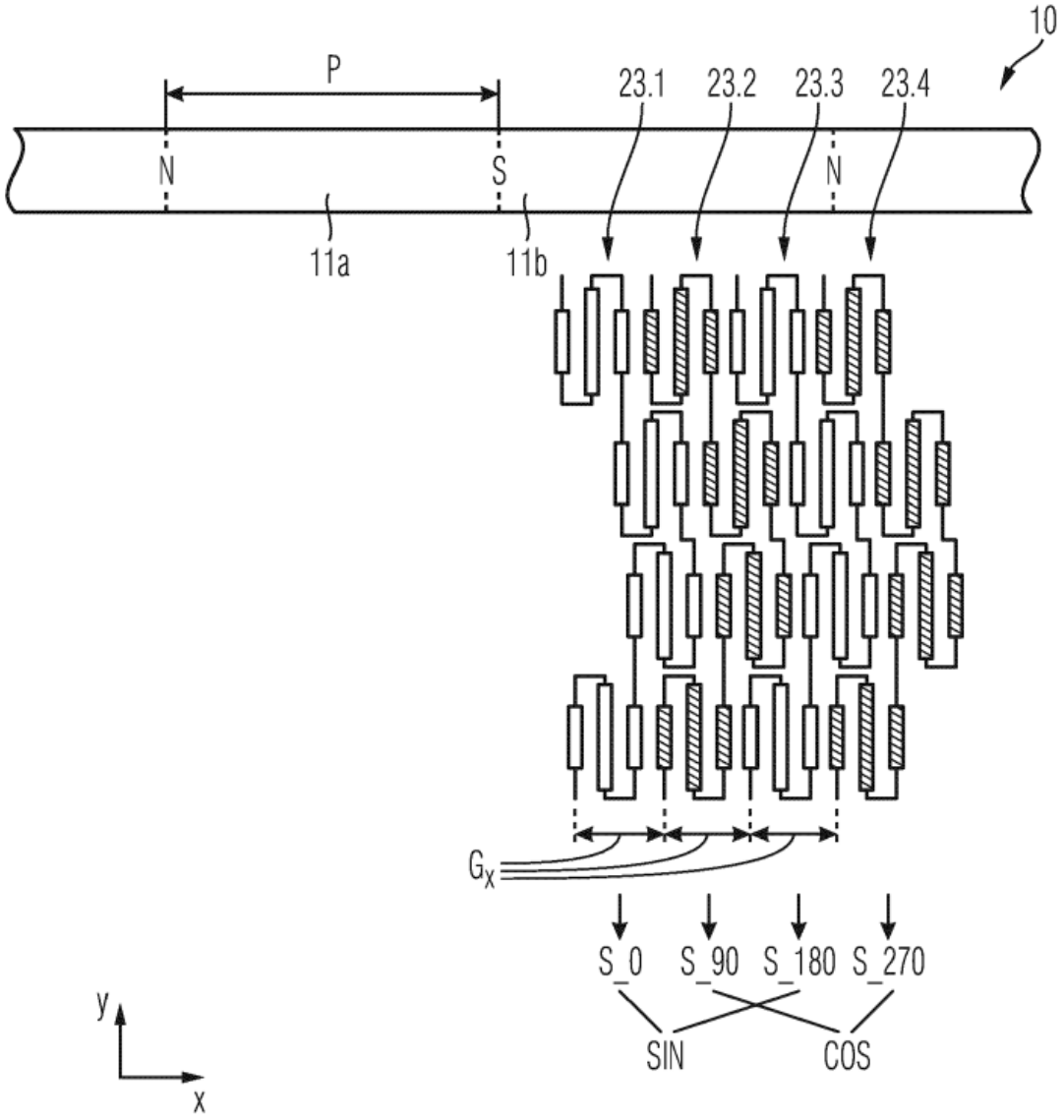


FIG. 7

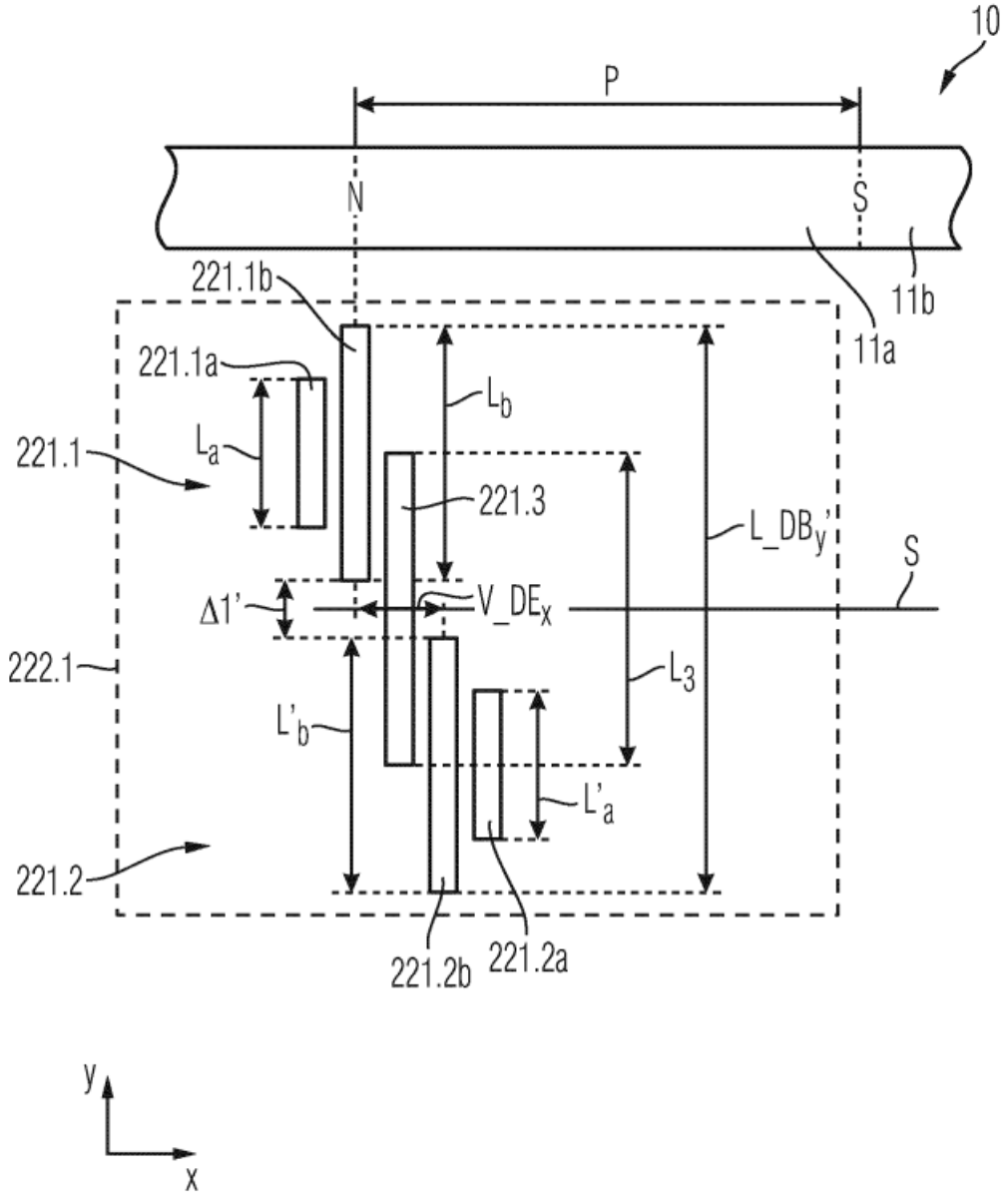

10
P
N
S
11b
11a
221.1b
221.1a
221.1
L_a
L_b
221.3
L_DB_y'
S
$\Delta 1'$
V_DE_x
222.1
L_3
L'_b
L'_a
221.2
221.2b
221.2a
y
x

FIG. 8

