

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 522 520**

51 Int. Cl.:

G01D 5/241 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.06.2010 E 10006223 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.08.2014 EP 2270433**

54 Título: **Sensor de ángulo de rotación capacitivo**

30 Prioridad:

04.07.2009 DE 102009031664

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

14.11.2014

73 Titular/es:

**CAMILLE BAUER METRAWATT AG (100.0%)
Aargauerstrasse 7
5610 Wohlen , CH**

72 Inventor/es:

**ZIMMERMANN-SCHWITTER, MARTIN y
MERKI, GALLUS**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 522 520 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).

DESCRIPCION

Sensor de ángulo de rotación capacitivo

5 Ámbito técnico

10 La presente invención se refiere a un dispositivo para la exploración capacitiva de divisiones de círculo, muchas veces denominado como sensor de ángulo de rotación, pero también como codificador de ángulo de rotación o captador rotativo. Muchas aplicaciones para medir la posición, la velocidad o la aceleración precisan estos sensores de ángulo de rotación con una exactitud y resolución extraordinariamente elevadas del valor de ángulo indicado o emitido, muchas veces con una exactitud de pocos minutos angulares. Estos sensores de ángulo de rotación altamente precisos se utilizan frecuentemente en ambientes desfavorables, es decir, ambientes con altas oscilaciones de temperatura y/o vibraciones importantes y/o suciedades y/o agua etc., por ejemplo en turbinas de vapor o de agua, en puertas de presas, en locomotivas o en estructuras de vehículo. También en estas aplicaciones se espera que cumplan con su tarea durante muchos años de modo fiable, exentos de desgaste y de mantenimiento, y sin disminuir la exactitud.

Antecedentes y estado de la técnica

20 Actualmente, los captadores rotativos se emplean en muchos campos para el mando y control de máquinas y vehículos. Para ello, una importancia especial corresponde a los aparatos libres de contacto ya que funcionan de modo fiable también bajo condiciones difíciles y tienen una larga vida gracias a sus sensores libres de desgaste. Pueden trabajar con una base óptica, inductiva, magnética o capacitiva. Los sensores de ángulo de rotación capacitivos convierten un movimiento giratorio en una señal de salida a través de la interacción capacitiva entre al menos un rotor y al menos un estator. Su estructura sencilla convierte los sensores de ángulo de rotación capacitivos en sensores seguros, robustos y ventajosos. Existen varias maneras de construcción de estos sensores de ángulo de rotación capacitivos. Según la forma y posición de los electrodos y del rotor es posible medir un sector de 360° o una fracción del mismo.

30 En un primer tipo de construcción, un rotor electroconductor se encuentra a una distancia fija con respecto a un estator o entre dos estatores que contiene o contienen una cierta cantidad de electrodos. La capacidad dependiente de la posición es formada entre estos electrodos de emisión en el estator y el electrodo receptor común en el rotor. Esta construcción es problemática ya que el circuito de medición precisa una conexión eléctrica con el rotor. Esta conexión es formada bien a través de una conexión fija por alambre, bien a través de contactos deslizantes. La primera solución de conexión no permite un giro sin límite del rotor, y la segunda solución no está exenta de fricción y desgaste.

40 En un segundo tipo de construcción, los electrodos emisores y receptores se encuentran en uno o varios estatores entre los cuales uno (o varios) rotores dieléctricos modulan el campo eléctrico. El rotor dieléctrico está estructurado en su forma de contorno y/o su espesor de manera correspondiente para obtener una señal de salida dependiente del ángulo.

45 Un tercer tipo de construcción difiere del segundo tipo de construcción por el hecho que el rotor se compone de un material estructurado electroconductor o que una capa electroconductora está vertebrada encima de un soporte no conductor. Para esta estructura se coloca una toma de tierra y ella actúa como pantalla eléctrica, de modo que la capacidad entre los electrodos emisores y receptores es modificada de manera selectiva. Para la toma de tierra existen varias técnicas, de las cuales, para un sensor de ángulo de completa rotación, únicamente es útil la toma de tierra sin conexión fija eléctrica o sin anillo deslizante. A través de un circuito de realimentación, con un par adicional de electrodos, el rotor puede ser regulado hasta una masa virtual, es decir, un potencial constante. De esta manera, los anillos deslizantes se vuelven superfluos.

55 En un cuarto tipo de construcción, adicional, el rotor se compone de un soporte aislante, en el que sobre ambos lados están aplicadas unas capas electroconductoras que están conectadas eléctricamente las unas con las otras. Mediante la vertebración de al menos una de estas capas se obtiene un acoplamiento dependiente del ángulo entre los electrodos emisores y receptores en los estatores.

60 Un quinto tipo de construcción consiste únicamente de un estator y un rotor. Encima del mismo sustrato del estator se encuentran los electrodos emisores y receptores. El rotor consiste de capas estructuradas electroconductoras que provocan un acoplamiento dependiente del ángulo entre el electrodo emisor y el electrodo receptor en el estator.

Se conocen unos tipos de construcción adicionales pero que están basados en los tipos de construcción antes descritos.

De esta manera se describe por ejemplo en el documento DE 42 34 016 A1 un dispositivo de medición de posición con función capacitiva que presenta varias capacidades parciales. El valor del mismo varía con la posición de giro de un rotor, en donde la variación sigue en principio una función seno en dependencia del ángulo de rotación del rotor. El rotor o las capacidades parciales presentan unos límites definidos. Los valores medidos de capacidad son convertidos en constantes de tiempo o frecuencias que sirven como valores básicos de una función periódica cuya análisis espectral determina la posición de giro a través del cálculo por microprocesador.

Para mejorar la explicación de la presente invención, el estado de la técnica actual es representado y descrito en relación con las figuras 1 a 6.

Un sensor de ángulo de rotación completa del tercer tipo de construcción que está disponible en el mercado es producido bajo el nombre de "Kinax 2W2" por la empresa Camille Bauer AG, Wohlen, Suiza. En la figura 1, se muestra de modo esquemático en un corte longitudinal y a continuación es descrito en más detalles. El proceso de medición aplicado en el mismo se describe con todo detalle en la patente EP 1 251 338.

En un principio, el condensador dependiente del ángulo de rotación – y por lo tanto el propio generador de valor medido de este sensor de ángulo de rotación – se compone de dos placas de condensador colocadas fijamente en la carcasa; una placa segmentada de condensador diferencial 1 y una placa común de electrodos receptores 2 que se encuentran opuestas a una distancia reducida y entre las cuales se genera un campo eléctrico. Este campo eléctrico es influenciado por la aleta 4 que está dispuesta de modo giratorio alrededor del eje central y conectada fijamente con el eje 5. Entre la placa del electrodo emisor y receptor 1 o 2 se encuentra un anillo distanciador 3 que proporciona una distancia fija, definida, de las placas de electrodo y la aleta 4. La aleta 4 consiste de un aluminio con un espesor de 0.3 mm. La electrónica de valoración 6 está situada en los lados exteriores de las placas de condensador y es alimentada de energía a través de dos filtros de transmisión 7 y es leída. Estos filtros de transmisión 7 forman conjuntamente con los cuencos de carcasa de aluminio 8 y 9 una protección eficaz contra interferencias eléctricas exteriores que actúan sobre el sensor.

Los segmentos de la placa de condensador diferencial 1 forman cuatro electrodos 21 dispuestos de modo concéntrico y respectivamente en forma de media corona circular: E1, E2, E3 y E4. Los pares de electrodos E1, E2 así como E3, E4 forman conjuntamente con el electrodo común receptor 25 en cada caso un condensador diferencial. En este caso están solapadas las zonas de electrodos en forma de media corona circular de los electrodos adyacentes en 90°; ello está representado en la Fig. 2a. Entre estos electrodos de condensador 21 y el electrodo receptor 25 en la Fig. 2b se encuentra un rotor 4 giratorio, electroconductor e igualmente segmentado que está fijado sobre un eje 5 que lleva al exterior y está puesto a tierra virtualmente a través de un circuito de regulación y dos electrodos separados de regulación 22 en los estatores. En caso de una torsión de este eje con respecto a la carcasa se modifican las capacidades de los condensadores diferenciales de acuerdo con la posición angular del eje. Estas modificaciones son determinadas por el circuito de medición 6, que está dispuesto asimismo en la carcasa y realizado de modo digital en el sensor de ángulo de rotación aquí descrito, y son indicadas de manera correspondiente.

Una aleta que corresponde a la placa de condensador diferencial 20 se muestra en la Fig. 3. Se compone de aluminio de un espesor de 0.3mm y apantalla el electrodo receptor 2 en un área angular de 180°. En el interior, la aleta presenta una congruencia con los electrodos de regulación 22 en las dos placas de estator.

La Fig. 4 muestra el desarrollo capacitivo de las dos capacidades diferenciales en dependencia de la torsión de la aleta 4 con respecto a la placa de condensador diferencial 1. A través de la disposición, dislocada en 90°, de los electrodos separados 21 sobre la placa de condensador diferencial se generan unos cursos de capacidad también dislocados en 90°. En caso de utilizar la placa de condensador diferencial 1 de acuerdo con la Fig. 2a y de la aleta protectora 4 de acuerdo con

Fig. 3 resultan los cursos de capacidad 40 y 41 según la Fig. 4 con una periodicidad local de 360°.

Para aumentar la precisión angular, los segmentos de los electrodos 21 de condensador diferencial pueden ser divididos más a menudo. La formación de un promedio para los segmentos individuales reduce influencias tales como fallos de excentricidad del rotor o de los electrodos, fallos del ángulo del eje de giro, cambios de la topología de las superficies de los electrodos o del rotor, gradientes de características del material así como fallos de simetría. Debido a la periodicidad local continua resultante de las señales de capacidad, sin embargo, el área de medición absoluta es limitada a la magnitud de tal periodo local. En este caso, este periodo local corresponde a una división en números enteros de 360°. En la literatura, se refiere a ello con el nombre de pista de precisión.

Fig. 5 representa los electrodos de condensador diferencial 51 de una realización adicional del Kinax 2W2 de la empresa Camille Bauer AG, con un área de medición de maximalmente 60°. La torsión de los pares de electrodos diferenciales los unos con respecto a los otros es de 15° en esta forma de realización. Los desarrollos de capacidad

correspondientes 42 y 43 están ilustrados igualmente en la Fig. 4. En este caso, el periodo local es 60° . Fig. 6 muestra la aleta protectora asociada de aluminio con la segmentación correspondiente.

5 Para lograr una medición absoluta e inequívoca en el sector entero de medición de 360° , la pista de precisión debe ser combinada con lo que se llama pista gruesa. En este caso, la pista gruesa presenta una periodicidad local de al menos uno para el área entera de giro. Para permitir una valoración inequívoca, la pista gruesa y la pista de precisión no deben presentar un divisor común en su periodicidad (salvo $n = 1$). Las señales de salida de la pista gruesa esencialmente sólo deben ser tan precisas que su valoración permita una determinación inequívoca del segmento correspondiente de la pista de precisión.

10 Los sensores capacitivos de ángulo de completa rotación se describen por ejemplo también en la patente EP 1 173 730. En una de las formas de realización mostradas en la misma, un electrodo de condensador estacionario dispone de dos pistas concéntricas, una pista gruesa y una pista de precisión. La pista gruesa está realizada de modo "unipolar o multipolar", a saber, el rotor transcurre al menos un ciclo con cada rotación. La pista de precisión es "multipolar" y dividida de modo más fino, en una disposición representada comprende por ejemplo 64 segmentos. El rotor presenta también una estructura multipolar, por ejemplo 16 polos que son identificados como "sinusoidales", es decir, en forma de seno.

15 La solicitud de patente europea 1 538 422, que es una solicitud divisional de la patente mencionada EP 1 173 730, describe un sensor de ángulo de rotación completa similar en el que el rotor está situado igualmente entre dos estatores sobre los cuales están dispuestos los electrodos de condensador, y que presenta dos pistas estructuradas, una pista gruesa y una pista de precisión. Estas pistas se describen también como estructuras multipolares. La forma de la pista de precisión se denomina como "sinusoidal", es decir, en forma de seno.

20 En la patente US 4 429 307 se representa un indicador capacitivo que representa, en una forma de realización, también un indicador de ángulo de rotación completa del quinto tipo de construcción, arriba descrito. El rotor descrito dispone de dos áreas concéntricas conductoras, separadas por una hendidura en forma de onda. En caso de giro del rotor, las mismas generan sobre los electrodos estacionarios de condensador una solapa o superposición, denominada como "sinusoidal", entre los segmentos de electrodos emisores y receptores estacionarios y los segmentos de rotor. En un detector lineal esta hendidura está definida como una función de seno. Para una aplicación en un captador rotativo, la hendidura aislante sobre el rotor no sigue una función exacta de seno o de coseno, sino ella es torcida.

25 Todos estos captadores conocidos de ángulo de rotación completa presentan unas desventajas. Por una parte tienen una estructura bastante compleja, o los voltajes de salida de los electrodos individuales no tienen una forma pura de seno, sino contienen ciertas superposiciones armónicas lo que equivale a una distorsión y requiere las correcciones correspondientes en la valoración. En caso de que están contruidos de acuerdo con el tipo de construcción 5, se añaden aun fallos causados por el juego axial del rotor o por un error de ángulo entre el eje de giro y el plano del estator.

30 La presente invención evita estas desventajas, mostrando una disposición sencilla y robusta de un sensor de ángulo de rotación completa según el tipo de construcción 2. En el mismo, el valor medido generado mecánicamente ya es tan exacto que no hacen falta correcciones electrónicas, o solamente unas mínimas, de modo que el circuito de valoración electrónico necesario del sensor de ángulo de rotación es simplificado y una calibración se vuelve superflua. Además, el rotor puede ser configurado como componente dieléctrico, un hecho por el cual se suprime cualquier transmisión eléctrica desde o hacia el elemento móvil del sensor de ángulo de rotación, así como una toma de tierra del rotor. Una ventaja adicional consiste en el hecho que, de este modo, se reducen tanto el consumo como el requisito de espacio, y la construcción puede llevarse a cabo de manera más robusta. Así, sobre las mismas placas de estator que contienen los electrodos, es posible posicionar el completo circuito de valoración. Con la ayuda de esta invención es posible por ejemplo construir un codificador absoluto, preciso, análogo y "loop-powered" (accionado en bucle) de dos hilos con una señal de salida de 4...20mA. Los fallos de ángulo arriba mencionados entre el eje de giro y los planos de estator ("tilt") así como un posible juego axial del rotor se compensan en el tipo de construcción 2 mediante la disposición del rotor y de los estatores en orden primario.

35 Resúmen de la invención

40 El objetivo primario de la presente invención es la creación de un sensor de ángulo de rotación capacitivo de una construcción sencilla que proporcione señales exactas, es decir, puras, de seno y coseno como salida, sin procesamiento digital o electrónico posterior. Asimismo, la posición angular debe ser determinada de manera más exacta que anteriormente. Además, debe ser capaz de ser determinada de una manera más sencilla que hasta el momento.

Adicionalmente, un sensor de ángulo de rotación de acuerdo con la presente invención debe ser absolutamente insensible frente a campos de dispersión magnética, hecho por el cual se abren muchas aplicaciones en las cuales un sensor de ángulo de rotación magnético fallaría.

5 Por causa del principio de sensor, un sensor de ángulo de rotación magnético no puede tener un eje hueco continuo. La presente invención, sin embargo, permite la construcción de un sensor de ángulo de rotación capacitivo absoluto con un eje hueco continuo.

10 Mediante el posicionamiento múltiple y periódico de los mismos grupos de segmentos de electrodo sobre el estator y la estructuración periódica del rotor, el sensor de ángulo de rotación aquí descrito se vuelve aproximadamente insensible a tolerancias mecánicas en la orientación vertical (tilt) y horizontal (desplazada) de los estatores y del rotor los unos con respecto al otro.

15 De acuerdo con la invención, a este efecto por lo menos dos estatores en reposo están dispuestos a una distancia determinada. En uno de los lados interiores del estator se encuentra un electrodo receptor común, y en el otro, por cada periodo de la pista de precisión, una cierta cantidad de electrodos emisores como segmentos anulares o segmentos circulares sectoriales. Entre dichos estatores está dispuesto a una distancia determinada un rotor de un material dieléctrico que está alojado de modo completamente rotativo y está conectado fijamente con el objeto a ser medido. La línea o costura de contorno de este rotor dieléctrico está conformada como "función de seno distorsionada" de manera que el rotor influye sobre el campo eléctrico entre los estatores de tal modo que el curso de la capacidad entre cada electrodo emisor individual y el electrodo receptor común es una función de seno exacta y libre de distorsión. Una ventaja importante de la presente invención reside en el hecho que, para obtener una señal de seno armónica, no es obligatoriamente necesario formar la diferencia de las señales de dos electrodos, tal como es obligatorio en la realización de la EP 1 538 422. No obstante, la formación de la diferencia puede ser útil en caso de que como resultado deben dar unas señales de salida positivas y negativas. Los segmentos de anillo circular así como el electrodo receptor común cubren los "dientes" de la pista de precisión por completo. Un circuito de valoración mide el campo eléctrico modulado entre los electrodos emisores y receptores y, a partir de ello, calcula la posición absoluta del objeto en rotación. A efectos de calcular la posición de modo inequívoco, se mide el campo eléctrico entre los receptores emisores y receptores de la pista gruesa y la pista de precisión. A partir de estas dos mediciones es posible determinar el ángulo absoluto de rotación mediante un algoritmo establecido. En el caso más sencillo, si la pista gruesa tiene una periodicidad de "uno", este algoritmo puede ser reducido al cálculo del arcotangente por el cociente de la señal de seno y coseno. En caso de una pista gruesa de múltiples polos hace falta un algoritmo especial, similar al principio del nonio, para obtener la posición angular absoluta a partir de los valores de la pista gruesa y la pista de precisión de múltiples polos. En este caso, la periodicidad local de la pista de precisión no debe ser un múltiplo entero de la periodicidad de pista gruesa.

40 En dependencia de la configuración del circuito electrónico de valoración, la función de los electrodos emisores y receptores puede ser intercambiada, es decir, los electrodos emisores se convierten en electrodos receptores y el electrodo receptor se convierte en un electrodo emisor.

Ejemplos de realización

45 A continuación, la invención se describe en detalle a través de varios ejemplos de realización que están representados también en las figuras asociadas.

En las mismas

50 Figs. 1 - 6 muestran el estado de la técnica tal como se ha descrito más arriba;
 Fig. 7 muestra los parámetros geométricos de la forma de rotor según la invención;
 Figs. 8a, 8b muestran una ilustración esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la invención, con y sin carcasa;
 Fig. 9 muestra una vista de la pista de precisión de la forma de rotor de acuerdo con la invención;
 Fig. 10a muestra una placa de electrodos emisores de acuerdo con la invención;
 Fig. 10b muestra una placa de electrodos receptores de acuerdo con la invención;
 55 Fig. 11 muestra las tensiones de control desfasadas de los electrodos emisores;
 Fig. 12 muestra una electrónica de valoración para medir la capacidad entre el electrodo emisor y el electrodo receptor;
 Fig. 13 muestra un rotor con unas capas electroconductoras pronunciadas sobre un soporte aislante;
 Figs. 14a, 14b muestran una placa de electrodos emisores o electrodos receptores de acuerdo con la invención con un electrodo adicional;
 60 Figs. 15a, 15b muestran las pistas gruesas y de precisión de dos formas de rotor de acuerdo con la invención.

Fig. 7 muestra la forma de rotor de acuerdo con la invención con los parámetros geométricos. El desarrollo de la forma que influye sobre el campo eléctrico se caracteriza por una fórmula que describe la forma de rotor en coordenadas polares, encontrándose el origen de las coordenadas en el centro de giro del rotor. Esta fórmula para el radio del contorno exterior en función del ángulo dice:

$$r(\varphi) = \sqrt{n \cdot a \cdot \cos(n \cdot \varphi) + r_0^2}$$

En la fórmula, el ángulo φ corresponde al azimut del sistema de coordenadas polares. En lo sucesivo, esta forma se llamará "forma eléctricamente eficaz".

La cantidad de "dientes" en la forma de rotor es definida por la frecuencia n . La "altura de diente" Δr puede ser definida como diferencia entre el radio exterior máximo y el radio interior mínimo del contorno de rotor. Depende de varios parámetros y puede ser ajustada con el parámetro a . En este caso son válidas las relaciones siguientes:

$$r_a = \sqrt{n \cdot a + r_0^2}, \quad r_i = \sqrt{r_0^2 - n \cdot a}$$

$$a = \frac{r_a^2 - r_0^2}{n}, \quad a = \frac{r_0^2 - r_i^2}{n}$$

r_0 define la línea circular que es de tal índole que las superficies que encierran esta línea circular y el contorno exterior del rotor son iguales por encima y por debajo de la línea circular (véanse superficies grises en la Fig. 7). r_0 corresponde al promedio de segundo grado formado por el radio máximo r_a y el radio mínimo r_i . Si el electrodo del sensor se compone de un segmento anular, la forma del rotor de acuerdo con la invención garantiza que la superficie de electrodos cubierta por el rotor varía según una pura función de seno. Esta cubrición corresponde a una convolución de dos funciones.

En las Figs. 8a y 8b se muestra una primera forma de realización del dispositivo de medición 70 de acuerdo con la invención para medir un ángulo de rotación. Con un eje 71 alojado de modo giratorio, el rotor 72 de acuerdo con la invención está conectado fijamente. Este rotor se encuentra a una distancia determinada entre dos estatores, la placa de electrodos emisores 73 y la placa de electrodos receptores 74. Los dos estatores están conectados de modo fijo con la carcasa 75 y separados el uno del otro a través de un anillo distanciador 76. Los estatores 73 y 74 pueden ser fabricados a partir de una placa conductora, en donde los electrodos receptores y emisores 78a y 78b se componen de las capas de cobre más exteriores, orientadas hacia el rotor. Las mismas placas conductoras pueden contener al mismo tiempo los componentes electrónicos del circuito de valoración 77, de modo que se obtiene una estructura muy compacta del dispositivo de medición 70. Para recibir el alojamiento del árbol así como para la protección frente a influencias mecánicas y eléctricas, el mismo dispositivo de medición está rodeado por una carcasa 75. De modo ventajoso, esta carcasa está fabricada de un material electroconductor y es "puesta a tierra". A efectos de blindar eficazmente contra interferencias eléctricas se pueden emplear unas capas de cobre adicionales de las placas conductoras del estator para el apantallamiento. Las capas interiores de cobre 79 forman a este efecto, conjuntamente con el anillo distanciador conductor 76, una envoltura cerrada, electroconductor, alrededor del propio dispositivo de medición. De este modo ya no es obligatoriamente necesario fabricar la carcasa 75 de un material conductor, de modo que se ofrecen nuevas posibilidades en lo que se refiere a los costes de fabricación y el diseño, por ejemplo mediante la utilización de una carcasa de plástico.

Fig. 9 muestra una vista en planta de un rotor 80 de acuerdo con la invención. En el ejemplo presente de realización, este rotor está hecho de un material no electroconductor y, por lo tanto, tiene características dieléctricas. Si el rotor gira entre la placa de electrodos emisores y receptores, el campo eléctrico es modulado de acuerdo con la forma del rotor y, de manera correspondiente, resulta en un cambio de capacidad entre los electrodos. Para aumentar la exactitud, el rotor de acuerdo con la invención se compone de una pista gruesa y una pista de precisión. La pista de precisión 81 corresponde a la costura circunferencial o el canto circunferencial del rotor y, en este ejemplo de realización, tiene un número de polos de ocho. Debido a la forma especial del borde periférico 81, el cambio de capacidad medido en función del ángulo de rotación tiene exactamente una forma de seno. La pista gruesa 82 en este ejemplo de realización solamente está esbozada y puede ser conformada de maneras diferentes. La pista gruesa 82 puede diferir en el espesor (modulación de espesor) o en las constantes de dielectricidad (modulación de las constantes de dielectricidad) de la pista de precisión. Alternativamente, también puede ser el límite o la línea de separación entre las áreas 81 y 82 que define la forma eléctricamente eficaz de la pista gruesa (no representado de esta manera en la Fig. 9). Las exigencias de precisión con respecto a la pista gruesa son mucho más reducidas que en lo que se refiere a la pista de precisión. Por este motivo, la modulación de espesor o la modulación de las

constantes de dielectricidad o la forma de la línea de separación puede diferir de la forma de acuerdo con la invención. Los ejemplos adicionales de realización muestran varias formas de la pista gruesa.

5 Las figuras 10a y 10b muestran la placa de electrodos emisores 90 y la placa de electrodos receptores 95 apropiadas para el rotor 80 en la Fig. 9. La pista de precisión 91 de la placa de electrodos emisores se compone de respectivamente cuatro electrodos individuales por cada periodo de la estructura del rotor. En este ejemplo de realización resulta un total de 32 electrodos individuales, estando en cada caso cada cuarto de los electrodos conectado electricamente con el otro. Por lo tanto, la pista de precisión es formada por un total de cuatro electrodos emisores E1f, E2f, E3f, E4f, distribuidos sobre 360°. El número de periodos de la pista de precisión no debe ser un múltiplo de números enteros de la cantidad de periodos de la pista gruesa (con la excepción de una cantidad de periodos de la pista gruesa de "1"). En este ejemplo de realización, la cantidad de polos de la pista gruesa es tres, lo que lleva a 12 electrodos individuales 92. También en este caso la conexión de cada cuarto electrodo individual lleva a un total de cuatro electrodos emisores E1g, E2g, E3g, E4g. El electrodo receptor (Ec) sobre la placa de electrodos receptores 95 es común para la pista de precisión y la pista gruesa. También pueden estar provistos electrodos receptores separados.

De acuerdo con la invención, los respectivamente cuatro electrodos emisores de la pista gruesa y la pista de precisión se accionan con cuatro señales rectangulares, dislocadas en cada caso en 90°. Estas señales en la Fig. 11 son designadas como V1, V2, V3, V4. Mediante la combinación de la forma de rotor de acuerdo con la invención y el accionamiento temporalmente dislocado de los cuatro electrodos emisores, el voltaje de salida del amplificador de carga 113 en la Fig. 12 corresponde directamente y exactamente al seno o respectivamente al coseno del ángulo de rotación.

Un circuito de valoración posible 110 para la medición de los valores de capacidad se muestra en la figura 12. Este circuito se basa en el circuito de valoración del documento EP 1 251 338, de la patente arriba mencionada de Camille Bauer AG. Las ocho capacidades de medición de la pista gruesa y la pista de precisión se representan en este caso como capacidades variables y se designan como E1f, E2f, E3f, E4f und E1g, E2g, E3g, E4g. Cada electrodo emisor forma una capacidad dependiente del ángulo con el electrodo receptor común. Un microcontrolador 111 genera las tensiones de excitación V1 a V4, que son conducidas a través de un conmutador 112 bien hacia los electrodos emisores correspondientes de la pista gruesa, E1g a E4g, bien hacia los electrodos emisores de la pista de precisión, E1f a E4f, tal como están representados en la Fig. 10a. El rotor dieléctrico estructurado 80 influye sobre el campo eléctrico entre los electrodos emisores y los electrodos receptores y con ello sobre la carga que fluye a través de estas capacidades. Un amplificador de carga 113 convierte la carga almacenada en un voltaje que es convertido de análogo a digital en el convertidor 114. El microcontrolador 111 lee los valores convertidos de voltaje y calcula el ángulo de rotación entre el rotor y los estatores. Además, el microcontrolador 111 genera la señal de control Sel para el conmutador 112, que conmuta entre los electrodos de la pista de precisión 91 y de la pista gruesa 92. En una memoria externa 115 pueden ser almacenados de modo adicional datos de calibración, de cálculo y del aparato. La medición de voltaje cero, tal como está descrita en el documento EP 1 251 338, por razones de simplicidad no está indicada en este diagrama de bloques de la Fig. 12, pero de modo ventajoso es aplicada.

Las señales de salida del circuito de valoración 110 corresponden a un voltaje de seno y de coseno de alta calidad. A partir de sus cocientes se puede calcular el ángulo de rotación en el microcontrolador a través de una función de arcotangente. Mediante la formación de cocientes, el sistema se vuelve insensible frente a cambios de amplitud de las señales de seno y coseno, que son causados por ejemplo por influencias de temperatura y humedad, variaciones de amplificación en el circuito de valoración, deriva de los valores de componentes y/o cambios de amplitud provocados por un juego axial del rotor.

En una realización diferente, el rotor 80 en la Fig. 9 puede ser compuesto de un material electroconductor. En caso de que el rotor es puesto a tierra o mantenido sobre un potencial eléctrico constante, el rotor funciona como pantalla e influye según su estructura sobre las capacidades medidas entre los electrodos emisores y los electrodos receptores. Tal como se muestra en las figuras 13, 14a y 14b, el rotor puede ser puesto a tierra virtualmente, exento de fricción y de desgaste, a través de un electrodo céntrico adicional 131 sobre los estatores 130 o bien 135, y una tercera pista 124 sobre el rotor mediante un circuito de regulación.

De manera alternativa, el rotor puede estar estructurado también de acuerdo con la Fig. 13, donde se compone de un soporte aislante 120 y por lo menos una capa delgada electroconductora 121. Todas las superficies estructuradas, representadas de modo oscuro en la figura, pueden componerse por ejemplo de cobre, están conectadas electricamente las unas con las otras y a través de un circuito de regulación y electrodos adicionales son puestas virtualmente a tierra. Como soportes cabe la posibilidad de utilizar por ejemplo vidrio, cerámica, materia plástica y epoxi de vidrio. La capa conductora 121 puede ser aplicada mediante vapor, presión o pegamento. En el caso más sencillo se puede emplear una placa conductora de varias capas. En el ejemplo de realización presente, la pista de precisión 122 tiene una periodicidad de ocho y la pista gruesa 123 una de tres. Ambas pistas están realizadas aquí como "formas de seno distorsionadas" de acuerdo con los parámetros en la Fig. 7.

De manera similar, una forma de realización diferente del rotor compuesto de un material dieléctrico puede disponer de un área más delgada y un área más gruesa, mostrándose blanca el área más delgada en la Fig. 13 y negra el área más gruesa. El área más delgada puede presentar un espesor de por ejemplo unos 1 mm y el área más gruesa un espesor de unos 2 mm. Los respectivos bordes – o costuras – periféricos corresponden a la forma eléctricamente eficaz – al menos aproximadamente, en lo que se refiere a la pista gruesa.

En caso de que el rotor consiste de un material electroconductor, la pista gruesa no puede estar realizada tal como se ha descrito más arriba, ya que no puede ser aislada por el soporte. En este caso hace falta un suplemento diferente.

Fig. 15a representa un rotor 140 de acuerdo con la invención, hecho de un material conductor, por ejemplo de aluminio o de una materia plástica conductora. La costura o el borde exterior 141, por su parte, presenta la forma de “forma de seno distorsionada” de acuerdo con la invención. La pista gruesa es configurada en forma de orificios cuyo contorno 142 también puede presentar esta “forma de seno distorsionada”. Puesto que, en este caso, no es la costura continua de la pista gruesa que se define como fresadura, sino únicamente la superficie que está situada al exterior del anillo circular con el radio r_0 (véase Fig. 7), para la valoración se debe formar obligatoriamente la diferencia de dos electrodos, para obtener un curso de seno puro del cambio de la capacidad.

Una forma de realización adicional se muestra en la figura 15b. El rotor 140 representado en la figura 15a únicamente puede ser fabricado con un gran esfuerzo y una precisión limitada, debido a los ángulos agudos en el contorno de la pista gruesa 142. Este problema es evitado por el rotor 145 representado en la Fig. 15b por el hecho que, en lugar de la estructura de ángulo agudo, son orificios elípticos que son procesados, por ejemplo fresados, como contorno de pista gruesa 146 dentro del material. Es cierto que puede resentirse la precisión de la medición de ángulo de pista gruesa porque las señales de seno resultantes están distorsionadas, pero puesto que la precisión de la pista gruesa sólo tiene que ser tan buena que sea posible determinar con seguridad el sector correspondiente de pista de precisión, la fabricación del rotor puede ser simplificada de esta manera. Unas simulaciones con el método de los elementos finitos muestran que una precisión de la pista gruesa de $\pm 1^\circ$ puede lograrse sin mayor optimización.

REIVINDICACIONES

1. Sensor de ángulo de rotación capacitivo que comprende al menos un estator (90, 135) y un rotor rotativo (80, 120, 140, 145) que está conectado con un objeto cuyo ángulo de rotación debe ser medido, presentando el estator unos electrodos de condensador (91, 92) en forma de segmento anular y teniendo el rotor una forma eléctricamente eficaz de tal modo que, en caso de la rotación del rotor, el campo eléctrico que gobierna entre los electrodos de condensador y el rotor experimenta una variación periódica que depende del ángulo de rotación, caracterizado por que
- el rotor presenta una forma o magnitud eléctricamente eficaz cuyo límite es dado en coordenadas polares de acuerdo con la fórmula $r(\varphi) = \sqrt{n \cdot a \cdot \cos(n \cdot \varphi) + r_0^2}$ en la cual
 - $r(\varphi)$ es la magnitud eléctricamente eficaz, en particular el radio del contorno de la forma eléctricamente eficaz,
 - φ el azimut del sistema de coordenadas polares,
 - n el número de periodos locales encima de 360° en la forma eléctricamente eficaz,
 - r_0 el promedio de segundo grado del radio máximo r_a y del radio mínimo r_i del límite de la forma eléctricamente eficaz,
 - a es una constante que es responsable de la variación del radio $r(\varphi)$, con

$$a = \frac{r_a^2 - r_0^2}{n} = \frac{r_0^2 - r_i^2}{n}$$

2. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el rotor (80, 120, 140, 145) presenta por lo menos dos zonas de rotor concéntricas diferentes que forman unas pistas, una pista gruesa (82, 123, 142, 146) y una pista de precisión (81, 121, 141), presentando estas pistas una forma exterior y/o un espesor y/o una constante dieléctrica y/o una conductividad que varían de modo diferente sobre la periferia, y estando cada pista en interacción eléctrica con una zona opuesta de un electrodo de condensador segmentado (91, 92), y presentando por lo menos la pista de precisión la forma eléctricamente eficaz.
3. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que la pista gruesa (82, 123, 142, 146) está dispuesta concéntricamente en el interior y la pista de precisión (81, 121, 141) concéntricamente en el exterior.
4. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado por que la pista gruesa (82, 123, 142, 146) corresponde al menos aproximadamente a la forma eléctricamente eficaz.
5. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que está prevista una tercera zona de rotor (124) dispuesta concéntricamente, de modo preferente en el interior, que constituye una tercera pista, y por que los electrodos de condensador presentan una zona (131) con la cual esta tercera pista está en interacción eléctrica.
6. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que un segundo estator está previsto, que presenta un electrodo de condensador no segmentado (95, 130) y por que el rotor está dispuesto entre el electrodo de condensador segmentado (90, 135) y el no segmentado (95, 130).
7. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el límite sobre el rotor entre las pistas (81, 82 y 122, 123, 142) define una forma eléctricamente eficaz, de modo preferente la forma eléctricamente eficaz de la pista gruesa (123, 142).
8. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la forma eléctricamente eficaz de la pista de precisión está formada por el borde periférico exterior (81, 121, 141) del rotor.
9. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que al menos una de las pistas (81, 142) del rotor se compone de un material dieléctrico.
10. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el rotor se compone de un material dieléctrico, la pista gruesa está formada por modulación de espesor del material y/o la pista de precisión está formada por un borde periférico según la forma eléctricamente eficaz.

11. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el rotor se compone de un material dieléctrico, estando definidos el borde periférico de la pista gruesa al menos de modo aproximativo y el borde periférico de la pista de precisión de manera exacta por la forma eléctricamente eficaz.
- 5 12. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que al menos una de las pistas (122, 123) del rotor está compuesta de un material electroconductor, estando todas las pistas conductoras mantenidas en un potencial eléctrico constante a través de un circuito de regulación.
- 10 13. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la pista de precisión y/o la pista gruesa (142) se componen de orificios pasantes (146), de modo preferente elípticos, cuya delimitación radialmente exterior y/o radialmente interior define la forma eléctricamente eficaz de la pista respectiva.
- 15 14. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que los electrodos de condensador segmentados se componen de al menos dos zonas (91, 92) en forma de corona circular dispuestas concéntricamente que están segmentadas de manera diferente.
- 20 15. Sensor de ángulo de rotación de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el estator presenta en su lado opuesto a los electrodos de condensador al menos una parte de un circuito de alimentación y/o de valoración (110) del sensor de ángulo de rotación, comprendiendo el mismo de modo preferente un microprocesador y/o un convertidor integrado de capacidad a digital.

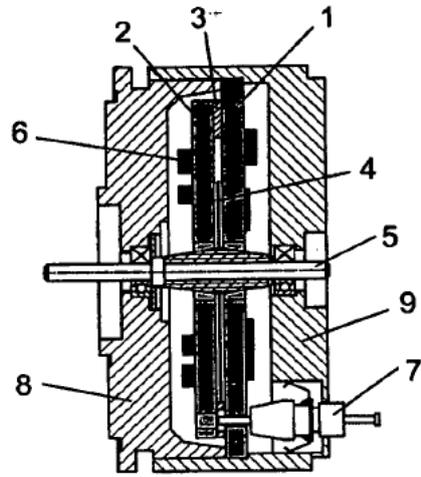


Fig. 1

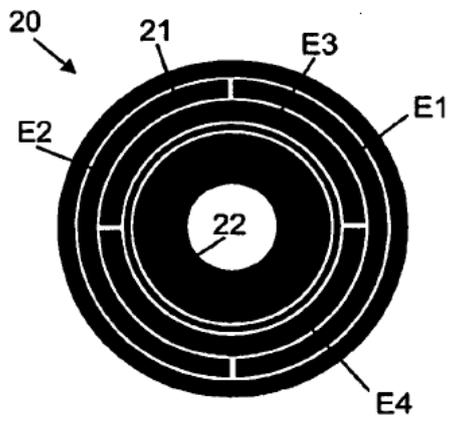


Fig. 2a

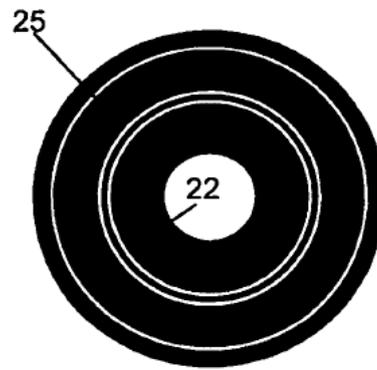


Fig. 2b

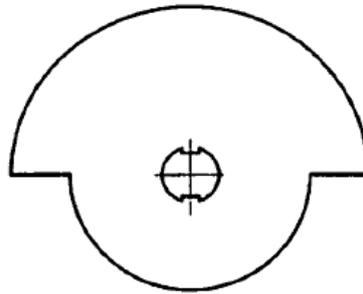


Fig. 3

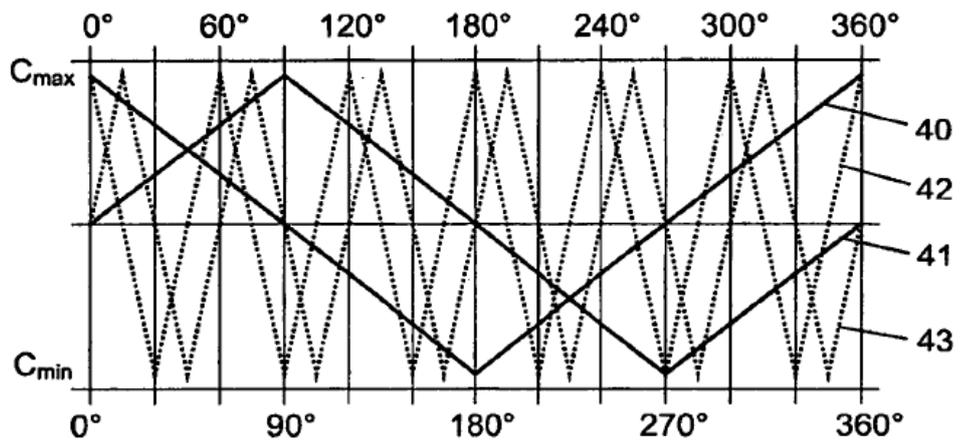


Fig. 4

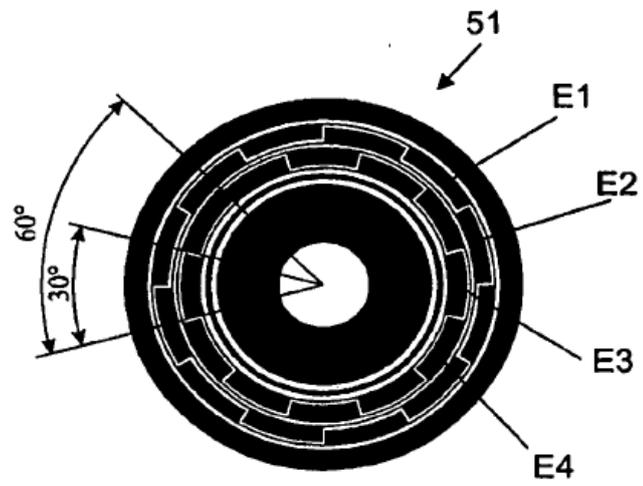


Fig. 5

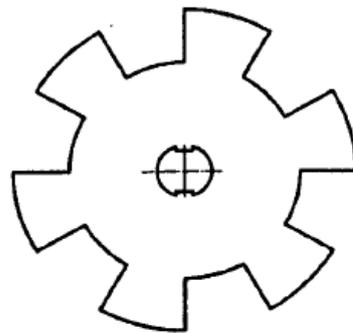


Fig. 6

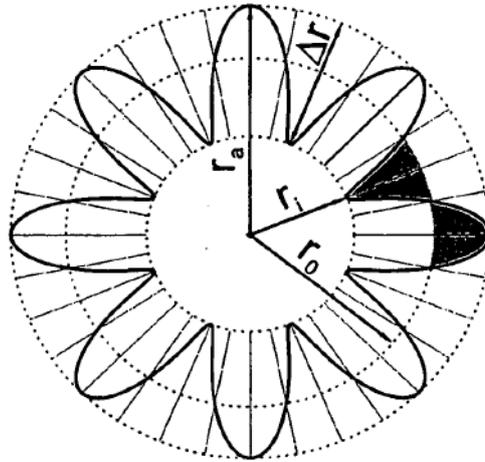


Fig. 7

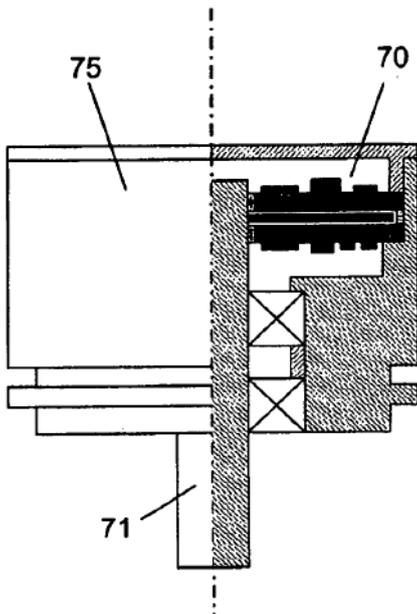


Fig. 8a

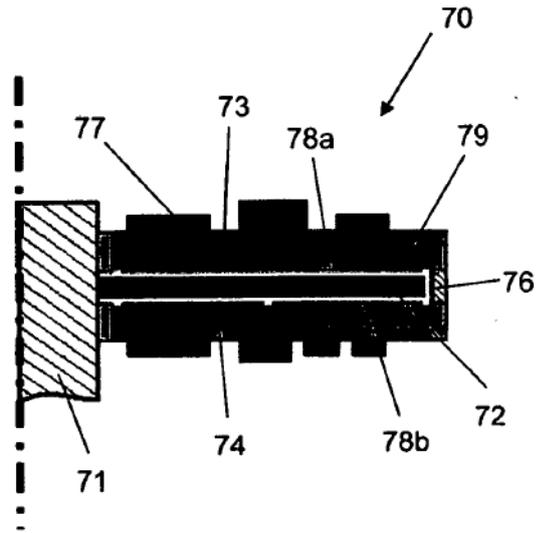


Fig. 8b

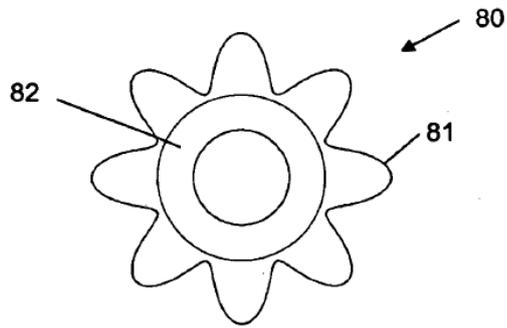


Fig. 9

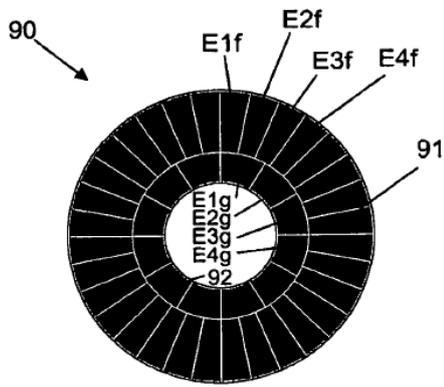


Fig. 10a

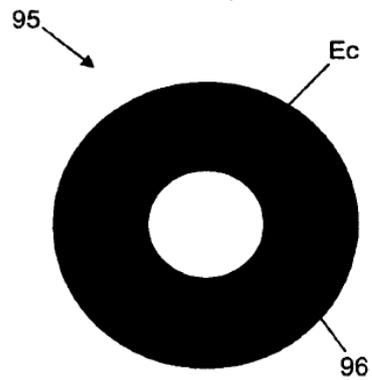


Fig. 10b

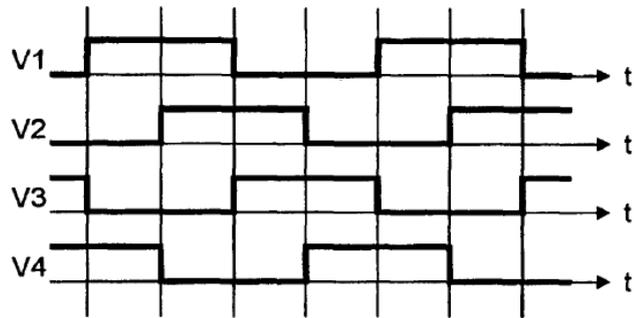


Fig. 11

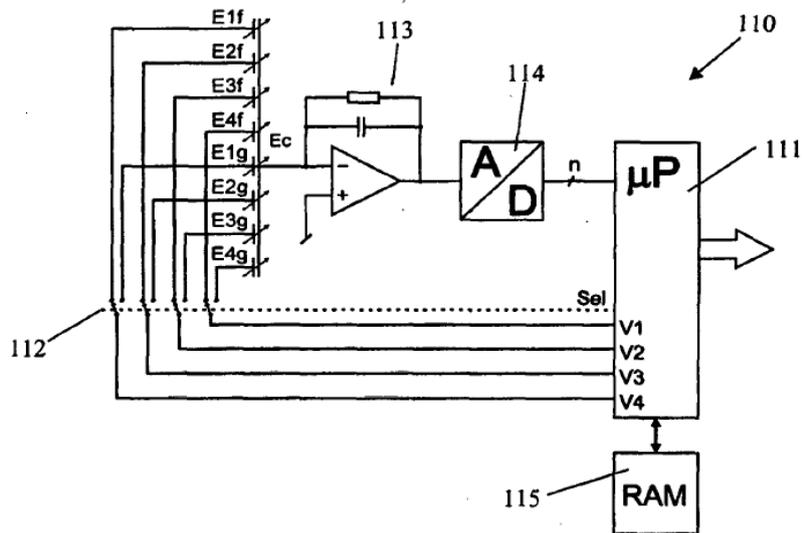


Fig. 12

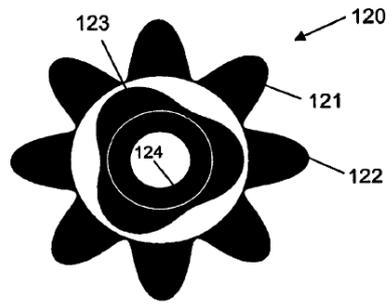


Fig. 13

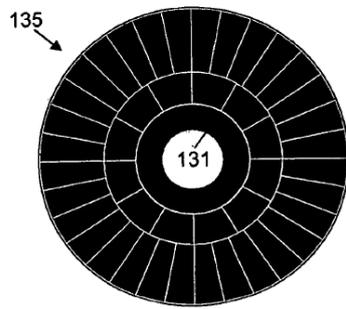


Fig. 14a

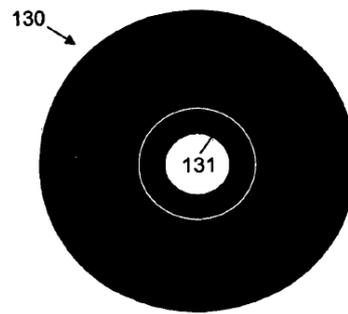


Fig. 14b

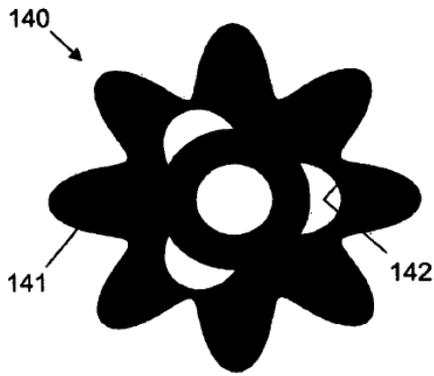


Fig. 15a

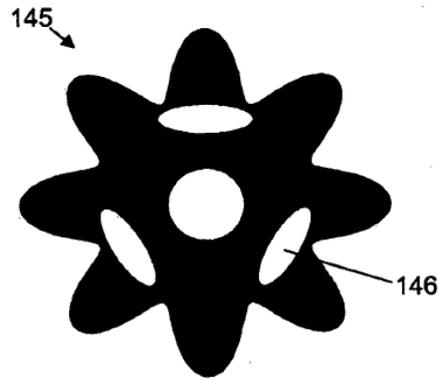


Fig. 15b