



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 109 950.8**
 (22) Anmeldetag: **16.07.2014**
 (43) Offenlegungstag: **22.01.2015**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **27.07.2023**

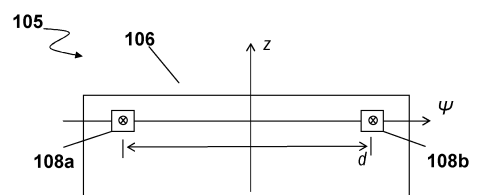
(51) Int Cl.: **G01B 7/30 (2006.01)**
G01R 33/07 (2006.01)
G01D 5/14 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

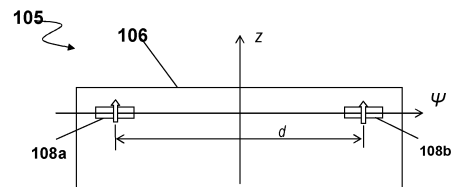
<p>(30) Unionspriorität: 13/944,391 17.07.2013 US</p> <p>(73) Patentinhaber: Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE</p> <p>(74) Vertreter: Kraus & Weisert Patentanwälte PartGmbB, 80539 München, DE</p> <p>(72) Erfinder: Ausserlechner, Udo, Villach, AT</p>	<p>(56) Ermittelter Stand der Technik:</p> <table> <tr><td>DE</td><td>198 17 356</td><td>A1</td></tr> <tr><td>DE</td><td>10 2005 024 670</td><td>A1</td></tr> <tr><td>DE</td><td>10 2009 031 016</td><td>A1</td></tr> <tr><td>DE</td><td>10 2009 054 864</td><td>A1</td></tr> <tr><td>US</td><td>2009 / 0 267 594</td><td>A1</td></tr> <tr><td>US</td><td>2011 / 0 043 197</td><td>A1</td></tr> <tr><td>US</td><td>2012 / 0 007 589</td><td>A1</td></tr> <tr><td>WO</td><td>2012/ 035 077</td><td>A1</td></tr> </table>	DE	198 17 356	A1	DE	10 2005 024 670	A1	DE	10 2009 031 016	A1	DE	10 2009 054 864	A1	US	2009 / 0 267 594	A1	US	2011 / 0 043 197	A1	US	2012 / 0 007 589	A1	WO	2012/ 035 077	A1
DE	198 17 356	A1																							
DE	10 2005 024 670	A1																							
DE	10 2009 031 016	A1																							
DE	10 2009 054 864	A1																							
US	2009 / 0 267 594	A1																							
US	2011 / 0 043 197	A1																							
US	2012 / 0 007 589	A1																							
WO	2012/ 035 077	A1																							

(54) Bezeichnung: **Winkelsensoren, Systeme und Verfahren**

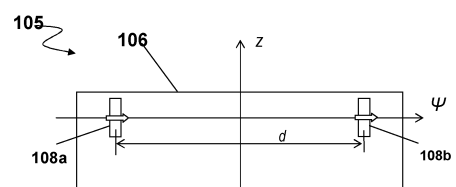
(57) Hauptanspruch: Magnetfeldbasierter Winkelsensor, wobei der Winkelsensor umfasst:
 einen um eine Rotationsachse rotierbaren Magneten, zumindest eine in der Nähe des Magneten angeordnete Sensoreinheit, wobei die zumindest eine Sensoreinheit zwei Magnetfeldsensorelemente umfasst, die auf einer ersten durchgehenden Oberfläche eines Substrats angeordnet und voneinander entlang einer Bewegungsrichtung des Magneten beabstandet sind, wobei die Magnetfeldsensorelemente auf dieselbe Magnetfeldkomponente ansprechen; und
 eine mit den zwei Magnetfeldsensorelementen gekoppelte Schaltung zum Bestimmen eines absoluten Rotationswinkels des Magneten aus einer Summe und einer Differenz von Ausgangssignalen der zwei Magnetfeldsensorelemente, aus einem Abstand der zwei Magnetfeldsensorelemente voneinander und einem Radialabstand der Magnetfeldsensorelemente von der Rotationsachse.



2A



2B



2C

Beschreibung

Fachgebiet

[0001] Die Erfindung betrifft im Allgemeinen Magnetfeldsensoren und insbesondere magnetfeldbasierte Winkelsensoren zum Abfühlen eines Rotationswinkels einer Welle oder eines anderen Objekts.

Hintergrund

[0002] Magnetfeldsensoren können zum Abtasten eines Rotationswinkels einer Welle eingesetzt werden. Beispielsweise kann ein Magnet an der Welle angebracht werden, sodass er mit der Welle rotiert, und ein Magnetfeldsensor kann in der Nähe des Magneten angebracht werden, um ein Magnetfeld, das von dem Magneten bei der Rotation mit der Welle induziert wird, abzufühlen. Ist der Magnetfeldsensor neben dem oder benachbart von der Welle, d.h. fern der Rotationsachse der Welle, angebracht, so wird der Sensor häufig als ein „außeraxialer“ magnetfeldbasierter Winkelsensor bezeichnet. Außeraxiale magnetfeldbasierte Winkelsensoren werden häufig eingesetzt, wenn das Ende der Welle für das Platzieren des Sensors nicht verfügbar ist oder es schlicht keinen Platz auf der Welle gibt.

[0003] Die WO 2012 / 035 077 A1 offenbart einen magnetfeldbasierten Winkelsensor, der einen rotierbaren Magneten und eine Sensoreinheit mit zwei Magnetfeldsensorelementen umfasst. Ein Rotationswinkel wird aus einer Summe und einer Differenz von Ausgangssignalen der Magnetfeldsensorelemente berechnet.

[0004] Ähnlichen Winkelsensoren sind auch in der US 2012 / 0 007 589 A1 und der DE 10 2005 024 670 A1 offenbart.

[0005] Weitere Winkelsensoren sind aus der DE 198 17 356 A1, der US 2011 / 0 043 197 A1, der DE 10 2009 031 016 A1, der US 2009 / 0 267 594 A1 oder der DE 10 2009 054 864 A1 bekannt.

[0006] Bei vielen Anwendungen sollen magnetfeldbasierte Winkelsensoren, einschließlich außeraxiale magnetfeldbasierte Winkelsensoren, vorzugsweise kostengünstig und nichtkomplex sein, wobei sie gleichzeitig in Hinblick auf externe Magnetfelder und andere Störungen widerstandsfähig sein sollen. Ein Nachteil mancher herkömmlicher Ansätze ist eine Voraussetzung von zumindest zwei Sensorsubstraten mit Sensorelementen, die dieselbe Magnetempfindlichkeit aufweisen. Die erforderliche zusammenpassende Magnetempfindlichkeit ist schwierig zu erhalten und in Kombination mit dem Bedarf nach mehreren Sensorsubstraten ist dies teurer in der Herstellung.

[0007] Es ist daher eine Aufgabe, Möglichkeiten bereitzustellen, dieses Problem zu lösen.

Zusammenfassung

[0008] Es werden magnetfeldbasierte Winkelsensoren nach Anspruch 1 oder 10 sowie ein Verfahren nach Anspruch 14 bereitgestellt. Die Unteransprüche definieren weitere Ausführungsbeispiele.

[0009] Ausführungsformen betreffen magnetfeldbasierte Winkelsensoren, Systeme und Verfahren. In einer Ausführungsform umfasst ein magnetfeldbasierter Winkelsensor einen Magneten, der um eine Rotationsachse rotieren kann; zumindest eine Sensoreinheit, die in der Nähe des Magneten angeordnet ist, wobei die zumindest eine Sensoreinheit zwei Magnetfeldsensorelemente umfasst, die auf einer ersten durchgehenden Oberfläche eines Substrats angeordnet und voneinander entlang einer Bewegungsrichtung des Magneten beabstandet sind, und die zwei Magnetfeldsensorelemente auf dieselbe Magnetfeldkomponente ansprechend sind; und eine Schaltung, die an die zwei Magnetfeldsensorelemente gekoppelt ist, um einen absoluten Rotationswinkel des Magneten aus einer Summe und einer Differenz von Ausgangssignalen der zwei Magnetfeldsensorelemente, aus einem Abstand der zwei Magnetfeldsensorelemente voneinander und einem Radialabstand der Magnetfeldsensorelemente von der Rotationsachse zu bestimmen.

[0010] In einer Ausführungsform umfasst ein magnetfeldbasierter Winkelsensor einen Magneten, der um eine Rotationsachse rotierbar ist; eine Vielzahl von Sensoreinheiten, die in der Nähe des Magneten und durch $(360 \text{ Grad}/n)$ voneinander beabstandet um die Rotationsachse angeordnet sind, wobei n für die Anzahl der Sensoreinheiten steht und n größer oder gleich 2 ist, worin jede der Vielzahl von Sensoreinheiten zumindest zwei Magnetfeldsensorelemente umfasst, die jeweils auf dieselbe von dem Magneten induzierte Magnetfeldkomponente ansprechend sind; und eine an die Vielzahl von Sensoreinheiten gekoppelte Schaltung,

um für jede der Vielzahl von Sensoreinheiten eine erste grobe Schätzung eines Rotationswinkels des Magneten aus einer Summe und einer Differenz von Ausgangssignalen der zumindest zwei Magnetfeldsensorelemente der jeweiligen Sensoreinheit, aus einem Abstand der zwei Magnetfeldsensorelemente der jeweiligen Sensoreinheit voneinander und einem Radialabstand der Magnetfeldsensorelemente der jeweiligen Sensoreinheit von der Rotationsachse zu bestimmen und um eine zweite präzisere Schätzung des Rotationswinkels des Magneten aus der Vielzahl von ersten groben Schätzungen zu bestimmen.

Figurenliste

[0011] Ein vollständigeres Verständnis der Ausführungsformen wird durch die Berücksichtigung der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung ermöglicht, in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen, wobei:

Fig. 1A eine perspektivische Darstellung eines außeraxialen Winkelsensors gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 1B eine perspektivische Darstellung eines außeraxialen Winkelsensors gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 2A eine Draufsicht eines Blockdiagramms einer Sensoreinheit gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 2B eine Draufsicht eines Blockdiagramms einer Sensoreinheit gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 2C eine Draufsicht eines Blockdiagramms einer Sensoreinheit gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 3A eine perspektivische und teilweise transparente Ansicht eines Winkelsensors gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 3B eine vergrößerte Ansicht eines Abschnittes aus **Fig. 3A** zeigt, wobei ein Magnet gemäß einer Ausführungsform weggelassen wurde.

Fig. 3C eine Vergrößerung eines Abschnittes aus **Fig. 3B** zeigt.

Fig. 3D ein Flussdiagramm gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 4 ein Winkeldiagramm mit Bezug auf ein axiales Magnetfeld gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 5 ein Blockdiagramm eines Sensors gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 6A eine perspektivische und teilweise transparente Ansicht eines Winkelsensors gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 6B eine Ansicht eines Abschnittes aus **Fig. 6A** zeigt, wobei gemäß einer Ausführungsform ein Magnet weggelassen wurde.

Fig. 6C eine vergrößerte Ansicht eines Abschnittes aus **Fig. 6B** zeigt.

Fig. 6D eine Seitenansicht des Sensors aus **Fig. 6A** zeigt.

Fig. 7A eine Teilperspektivansicht eines Winkelsensors gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 7B eine Seitenansicht des Winkelsensors aus **Fig. 7A** zeigt.

Fig. 8 ein Perspektivblockdiagramm eines axialen Winkelsensors gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 9 eine Draufsicht eines Blockdiagramms einer Sensoreinheit gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 10A eine Draufsicht eines Blockdiagramms einer vertikalen Hall-Sensoreinheit gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 10B eine Draufsicht eines Blockdiagramms einer weiteren vertikalen Hall-Sensoreinheit gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 10C eine Draufsicht eines Blockdiagramms einer weiteren vertikalen Hall-Sensoreinheit gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 10D einer weiteren vertikalen Hall-Sensoreinheit gemäß einer Ausführungsform zeigt.

[0012] Während die Erfindung durch verschiedene Modifikationen oder alternative Formen verändert werden kann, wurden in den Zeichnungen spezifische Ausführungsformen als Beispiele gezeigt und diese werden nachfolgend im Detail beschrieben. Es versteht sich jedoch, dass die Erfindung in nicht auf die beschriebenen

nen spezifischen Ausführungsformen beschränkt ist. Vielmehr sollen alle Modifikationen, Äquivalente oder Alternativen abgedeckt werden, die im durch nachfolgende Patentansprüche definierten Geist und Schutzzumfang der Erfindung umfasst sind.

Detaillierte Beschreibung

[0013] Ausführungsformen betreffen magnetfeldbasierte Winkelsensoren, einschließlich außeraxiale und axiale Sensoren. In einer Ausführungsform umfasst ein magnetfeldbasierter Winkelsensor zwei Sensoreinheiten und jede Sensoreinheit umfasst zwei Sensorelemente. Die Sensoreinheiten sind in der Nähe eines Magneten angeordnet und voneinander in einer Bewegungsrichtung des Magneten beabstandet, wobei die zwei Sensorelemente einer jeden Sensoreinheit auf dieselbe Magnetfeldkomponente ansprechen, die durch den an eine Welle gekoppelten Magneten bei Rotation der Welle induziert wird. In jeder Sensoreinheit kann eine Summe und eine Differenz des Ausgangssignals der zwei Sensorelemente berechnet werden, um eine grobe Schätzung eines Rotationswinkels zu bestimmen und eine präzisere Schätzung kann durch eine Kombination der groben Schätzung einer jeden Sensoreinheit erhalten werden. In einer Ausführungsform umfasst ein magnetfeldbasierter Winkelsensor eine Steuereinheit oder einen anderen Schaltkreis, um diese Kombination durchzuführen.

[0014] Bezugnehmend auf **Fig. 1A** und **Fig. 1B** ist ein außeraxialer magnetfeldbasierter Winkelsensor 100 abgebildet. Der Sensor 100 umfasst einen Magneten 102, der auf einer Welle 104 montiert oder anderweitig befestigt ist, sodass der Magnet 102 mit der Welle 104 rotiert. Der Magnet 102 weist eine diametrische Magnetisierung in der in **Fig. 1A** und **Fig. 1B** angegebenen Richtung, d.h. der y-Richtung, auf. Eine Sensoreinheit 105 umfasst ein Substrat 106 und ist in der Nähe von Magnet 102 und Welle 104 angeordnet. Wie in beiden **Fig. 1A** und **1B**, abgebildet, ist eine Hauptebene des Substrats 106, d.h. die Oberfläche, auf der die Magnetfeldsensorelemente 108 montiert sind, wie dargestellt, senkrecht zu der Rotationsachse der Welle 104 angeordnet. In manchen Ausführungsformen kann das Substrat 106 ein Substrat, einen Nacktchip, eine Leiterplatte oder eine andere geeignete Struktur umfassen, wobei aus Gründen der Bequemlichkeit hierin allgemein der Begriff „Substrat“ verwendet werden wird, wobei dieser Begriff nicht einschränkend zu verstehen ist. In einer Ausführungsform sind zwei Magnetfeldsensorelemente 108a und 108b auf dem Substrat 106 angeordnet.

[0015] Die relative Position von Substrat 106 und Magnet 102 kann zwischen den Ausführungsformen variieren, ebenso wie die Anordnung und Orientierung der Sensorelemente 108a und 108b. In **Fig. 1A** befindet sich das Substrat 106 zu der Welle 104 und dem Magneten 102 benachbart und kann mit dem Magneten 102 koplanar liegen. In **Fig. 1B** befindet sich das Substrat 106 erneut zu der Welle 104 und dem Magneten 102 benachbart und ist unterhalb des Magneten 102 angeordnet. Die **Fig. 1A** und **Fig. 1B** sind lediglich beispielhaft für manche Ausführungsformen und die relativen Positionen von Magnet 102, Welle 104, Substrat 106 und/oder Sensorelementen 108 kann in wiederum anderen Ausführungsformen variieren. Beispielsweise kann in anderen Ausführungsformen eine Vielzahl von Sensoreinheiten 105, die Sensorelemente 108a und 108b aufweisen, eingesetzt werden, die auf verschiedenen Seiten von Magnet 102 und Welle 104 angeordnet sind. Darüber hinaus ist **Fig. 1** nicht maßstabsgetreu und eine vereinfachte konzeptuelle Abbildung, um grundlegende Komponenten und Eigenschaften einer Ausführungsform des Sensors 100 zu veranschaulichen. Andere Ausführungsformen, einschließlich axiale Ausführungsformen, werden hierin andernorts besprochen.

[0016] **Fig. 2A** stellt eine Ausführungsform einer Sensoreinheit 105 dar. Die Sensoreinheit 105 umfasst ein Substrat 106, auf dem zwei Magnetfeldsensorelemente 108a und 108b, die Hall-Platten, magnetresistive Elemente, MAG-FETs oder andere geeignete Magnetfeldsensorelemente außerhalb der Ebene umfassen können, angeordnet sind, da die Sensorelemente 108a und 108b auf eine Magnetfeldkomponente ansprechen, die auf die Hauptebene des Substrats 106, wie in **Fig. 2** abgebildet, senkrecht steht. In anderen Ausführungsformen können Sensorelemente innerhalb der Ebene, wie etwa vertikale Hall-Elemente, magnetresistive Elemente, wie etwa AMR, GMR, TMR o.a., oder andere geeignete Sensorelemente eingesetzt werden. Beispielsweise bilden **Fig. 2B** und **Fig. 2C** Sensoreinheiten 105 ab, die vertikale Hall-Sensorelemente 108a und 108b umfassen, wobei die weißen Pfeile in jeder **Fig.** die Empfindlichkeitsrichtung des jeweiligen Sensorelements 108a und 108b darstellen. Im Allgemeinen sind in **Fig. 2B** und **Fig. 2C**, sowie in **Fig. 2A** die Sensorelemente 108a und 108b auf dem Substrat 106 in einer Richtung der relativen Bewegung von Magnet 102 bei der Rotation von einander beabstandet. In weiteren Ausführungsformen können die Sensorelemente 108a und 108b dazu konfiguriert sein, als dynamische Offset-Kompensationsschaltkreise betrieben zu werden (z.B. bei Spinningstrom, Spinningspannung oder anderen geeigneten Betriebsschemata).

[0017] Fin **Fig. 3** wird eine andere relative Konfiguration von Sensoreinheiten 105, Magnet 102 und Welle 104 dargestellt, wobei **Fig. 3A** eine Gesamtperspektivansicht, **Fig. 3B** eine detaillierte Perspektivansicht, in der der Magnet 102 nicht abgebildet ist, und **Fig. 3C** eine detaillierte Perspektive einer Sensoreinheit 105a ist. In **Fig. 3A** wird eine Vielzahl von Sensoreinheiten 105a, 105b, 105c und 105d verwendet. Die Anzahl der relativen Konfiguration der Sensoreinheiten 105 kann in anderen Ausführungsformen variieren, sodass mehr oder weniger Sensoreinheiten 105 verwendet werden können und ihre relative Beabstandung und Anordnung auf einem Substrat 110 variieren kann. Im Allgemeinen sind Sensoreinheiten 105 gleichmäßig bei $(360/n)$ beabstandet, wobei n die Anzahl der Sensoreinheit 105 ist und n größer oder gleich 2 ist. Beispielsweise werden in einer anderen Ausführungsform zwei Sensoreinheiten 105a und 105c eingesetzt, die voneinander entgegengesetzt auf dem Magneten 102 und der Welle 104 angeordnet und um $(360/2)$ oder 180 Grad beabstandet sind. Wie abgebildet sind die Sensoreinheiten 105a-d auf dem Substrat 110, das eine Öffnung 112 umfasst (siehe **Fig. 3B** und **Fig. 3C**) montiert ist, wobei die Welle 104 und der Magnet 102 so angeordnet sind, dass die Sensoreinheiten 105a-d in der Nähe des Magneten 102 angeordnet sind, während der Magnet 102 mit der Welle 104 rotiert. In Ausführungsformen kann während der Montage auf die Positionsgenauigkeit der Sensoreinheiten 105a-d in Hinblick auf den Magneten 102 und/oder der Öffnung 112 Rücksicht genommen werden.

[0018] Die Abbildung in **Fig. 3**, sowie die übrigen hier umfassten Zeichnungen, ist nicht notwendigerweise maßstabsgetreu, noch sind alle Komponenten, Eigenschaften und Details abgebildet. Beispielsweise wurden Leiterbahnen auf dem Substrat 110, einschließlich der die Sensoreinheiten 105a-105d koppelnden, nicht speziell abgebildet, wird aber von Fachleuten auf dem Gebiet der Erfindung dennoch verstanden.

[0019] **Fig. 3C** ist eine vergrößerte Ansicht einer Sensoreinheit 105a. Die Sensoreinheit 105a umfasst ein Substrat 106, auf dem zwei Magnetfeldsensorelemente 108a und 108b angeordnet sind. In anderen Ausführungsformen können mehr oder weniger Sensorelemente 108 verwendet werden und Sensorelemente 108 können Magnetfeldsensorelemente, wie etwa Hall-Effektsensorelemente, einschließlich horizontale Hall-Platten oder vertikale Hall-Platten, magnetresistive Sensorelemente oder andere geeignete Sensorelemente in verschiedenen Ausführungsformen umfassen. Wie es sich für Fachleute auf dem Gebiet der Erfindung versteht, kann die Anordnung und Positionierung der Sensorelemente 108 (und/oder der Sensoreinheit 105a und des Substrats 106) in Relation zu dem Magneten 102 und der Welle 104 gemäß der Art des verwendeten Sensorelements in jeder einzelnen Ausführungsform variieren. In den hierin besprochenen Beispielen wird im Allgemeinen eine gewöhnliche horizontale Hall-Plattenausführung eingesetzt, obwohl jegliche Beispiele und Diskussionen mit Hinblick auf andere Ausführungsformen nicht einschränkend zu verstehen sind. In **Fig. 3C** sind Sensorelemente 108a und 108b in der Mitte der Ebene von Magnet 102 angeordnet, d.h. bei $z = 0$ in einer Ausführungsform.

[0020] Die Sensorelemente 108a und 108b können in manchen Ausführungsformen ein Gradiometer zum Abfühlen des Gradienten eines Magnetfeldes, das durch den diametrisch magnetisierten Magnet 102 induziert wird, bilden. In der Ausführungsform von **Fig. 3C** kann ein kreiszylindrisches Koordinatensystem verwendet werden mit einer radialen Komponente B_R , einer azimuthalen Komponente B_ψ (d.h. B_ψ mit Bezug auf **Fig. 2**) und einer axialen Komponente B_z eines Magnetfeldes B . Die Magnetfeldkomponenten des diametrisch magnetisierten Magneten 102, einschließlich B_R , B_ψ und B_z , variieren sinusförmig mit Bezug auf die azimuthale Position. Daher variieren die Gradienten von B_R , B_ψ und B_z , welche $dB_R/d\psi$, $dB_\psi/d\psi$ und $dB_z/d\psi$ sind, auch sinusförmig und stehen in Quadratur mit den Originalkurven. Somit ist $\{B_R, dB_R/d\psi\}$ ein Signalar, bei dem ein Signal eine $\sin(\psi)$ -Abhängigkeit und das andere eine $\cos(\psi)$ -Abhängigkeit aufweist. Dasselbe gilt für $\{B_\psi, dB_\psi/d\psi\}$ und $\{B_z, dB_z/d\psi\}$.

[0021] In einigen Ausführungsformen kann eines oder mehrere dieser Signalarpaare verwendet werden, um Cosinus- und Sinus-Signale zu erhalten, von denen ein Rotationswinkel abgeleitet werden kann. Beispielsweise gilt $\Psi = \arctan[\sin\psi, k \cdot \cos\psi]$ nach dem CORDIC-Algorithmus (COordinate Rotation Digital Computer), wobei k ein Skalierungsfaktor ist, der verwendet wird, um die Amplituden der Sinus- und Cosinus-Signale auszugleichen. Die folgende Definition des Arkustangens wird in den Ausführungsformen verwendet:

$$\Psi = \arctan[\sin \psi, \cos \psi]$$

$$\arctan[\sin \psi, \cos \psi] = \arctan\left(\frac{\sin \psi}{\cos \psi}\right) \quad (\text{für } -90 \text{ Grad} < \psi < 90 \text{ Grad})$$

$$\arctan[\sin \Psi, \cos \Psi] = \arctan\left(\frac{\sin \Psi}{\cos \Psi}\right) + 180^\circ \quad (\text{für } 90 \text{ Grad} < \Psi < 270 \text{ Grad})$$

[0022] Erneut Bezug nehmend auf **Fig. 3C**, sind die Sensorelemente 108a, 108b der Sensoreinheit 105a (sowie der Sensoreinheiten 105b-d) in den Ausführungsformen dieselben, sodass beide auf dieselbe Magnetfeldkomponente ansprechen. Bezugnehmend auch auf **Fig. 2** ist das Sensorelement 108a von Sensorelement 108b in Richtung ψ beabstandet, wobei $d = R \times \Delta\Psi$ und R für den Radialabstand der Sensorelemente 108a und 108b von der Rotationsachse der Welle 104 steht. Der Sensor 100 kann somit einen Unterschied zwischen Ausgangssignalen von Sensorelement 108a und 108b bestimmen und diesen Unterschied als einen Schätz- oder Näherungswert für $dB_R/d\Psi$ verwenden. Der Sensor 100 und/oder der daran gekoppelte Schaltkreis, wie etwa eine Steuereinheit, die z.B. einen Mikroprozessor umfasst, kann den Durchschnitt der Ausgangssignale von den Sensorelementen 108a und 108b bilden, um einen Schätz- oder Näherungswert der Magnetfeldkomponente B_R zu ermitteln.

[0023] In anderen Worten und bezugnehmend auf **Fig. 3D** kann der Sensor 100 bei 10 eine grobe Winkelschätzung oder -messung von jeder Sensoreinheit 105, d.h. Sensorelemente 108a und 108b von Sensoreinheit 105a, erhalten indem die Ausgangssignale eines jeden Sensorelements 108a-108b wie nachfolgend im Detail beschrieben addiert oder subtrahiert werden. Anschließend kann, wie ebenfalls hierin detailliert beschrieben, der Sensor 100 bei 20 eine verfeinerte oder präzisierte Winkelschätzung oder -messung bestimmen, indem die groben Winkelschätzungen einer jeden Sensoreinheit 105a-105d kombiniert werden, etwa durch Bildung des Durchschnittswerts.

[0024] Die hierin erwähnten Berechnungen und Schätzungen, die von dem Sensor 100 bestimmt oder durchgeführt werden, können gänzlich innerhalb des Sensors 100 oder eines Komponente davon, durch einen daran gekoppelten Schaltkreis oder durch eine Kombination daraus durchgeführt werden, was gemäß einer bestimmten Ausführungsform, Umsetzung oder Anwendung variieren kann. Beispielsweise kann eine Steuereinheit, wie etwa ein Mikroprozessor oder ein anderer geeigneter Schaltkreis, innerhalb des Sensors 100 integriert oder daran gekoppelt sein, wie an anderer Stelle hierin mit Bezug auf die beispielhafte Ausführungsform aus **Fig. 5** besprochen wurde. Daher versteht sich ein bestimmtes Beispiel oder Erwähnung von Sensor 100 nicht als einschränkend.

[0025] Somit kann der Sensor 100 berechnen

$$\psi' = \arctan\left[B_R(\psi_0), k \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi}\right],$$

wobei für die Position der Sensoreinheit 105, d.h. der Schnittpunkt der z-Achse und der Ψ -Achse, die der Mittelpunkt zwischen den Sensorelementen 108a und 108b ist, wie in **Fig. 2** abgebildet, angenommen wird, dass sie an dem azimuthalen Winkel Ψ_0 ist. Daraus folgt, dass

$$\psi' = \arctan\left[\frac{OUT_1 + OUT_2}{2 \times S}, k \frac{OUT_1 - OUT_2}{S \times d_{12}/R}\right],$$

wobei OUT_1 und OUT_2 die Ausgangssignale der Sensorelemente 108a und 108b (die empfindlich auf die senkrecht zum Substrat 106 stehende Magnetfeldkomponente sind, z.B. in einer Ausführungsform Hall-Platten) ist, S die Magnetempfindlichkeit jedes Sensorelements 108a und 108b definiert durch $OUT = S \times B_R$ ist, die Indizes 1 und 2 die Sensorelemente 108a (z.B. 1) und Sensorelement 108b (z.B. 2) sind, d_{12} der Abstand zwischen den Sensorelementen 108a und 108b ist und R wie oben der Radialabstand der Sensorelemente 108a und 108b von der Rotationsachse der Welle 104 ist. Da in beiden obenstehenden Berechnungen dieselben Sensorausgangssignale OUT_1 und OUT_2 verwendet werden, hebt sich, obwohl eines addiert und das andere subtrahiert wird, die absolute Kalibrierung der Sensorelemente auf, was nahelegt, dass die beiden Sensorelemente 108a und 108b zusammenpassen. Somit ergibt sich, dass

$$\psi' = \arctan\left[\frac{OUT_1 + OUT_2}{2}, k \frac{OUT_1 - OUT_2}{d_{12}/R}\right]$$

[0026] Was von der Magnetempfindlichkeit der Sensorelemente 108a und 108b auf dem Substrat 106 unabhängig ist.

[0027] Aus den Signalen B_R und $dB_R/d\Psi$ kann ein geschätzter Rotationswinkel erhalten werden. Die obigen Berechnungen haben jedoch keine Auswirkungen von Hintergrund- oder externen Magnetfeldstörungen berücksichtigt. In manchen Ausführungsformen, wie etwa der in den **Fig. 3A-3C** abgebildeten, kann eine Vielzahl von Sensoreinheiten 105 in dem Sensor 100 verwendet werden, um die Immunität des Sensors mit Bezug auf externe Magnetfeldstörungen zu erhöhen.

[0028] Als Beispiel dienen die Sensoreinheiten 105a und 105c aus **Fig. 3B** und **Fig. 3C** und ein Sensorlayout wie das in **Fig. 2B** abgebildete, wo eine, z.B. Sensoreinheit 105a, bei Ψ_0 positioniert ist und die andere, z.B. Sensoreinheit 105b, bei $\Psi_0 + 180$ Grad positioniert ist. In anderen Worten befinden sich die Sensoreinheiten 105a und 105b in Hinblick auf die Rotationsachse der Welle 104 einander gegenüber und ihre radialen Positionen sind ident. Wird ein homogenes Hintergrundmagnetfeld angelegt, hat es keinen Einfluss auf die Sensoreinheiten 105a und 105b, wenn die Richtung des Feldes zu B_z orthogonal ist. Die Magnetfeldkomponente, die zu einer Linie, auf der sich beide Sensoreinheiten befinden, parallel ist, beeinflusst das B_z -Signal, aber nicht das $dB_z/d\Psi$ -Signal, weil letzteres eine Felddifferenz auf den Sensorelementen 108a und 108b in jeder der Sensoreinheiten 105a oder 105c ist, sodass eine homogene Hintergrundstörung aufgehoben wird. Ein Verhältnis zwischen angelegtem homogenem Magnetfeld und B_z -Amplitude kann als ε notiert werden und wenn $\varepsilon = 0,1$, dann beträgt die Störung des Magnetfeldes 10 % der Amplitude von B_z induziert von Magnet 102. Somit beträgt das radiale Magnetfeld auf der Sensoreinheit 105a (bei Ψ_0) $B_z^*(1 + \varepsilon)$, während das radiale Magnetfeld auf Sensoreinheit 105c bei $(\Psi_0 + 180$ Grad) $B_z^*(1 - \varepsilon)$ beträgt. Dies wird in **Fig. 4** dargestellt. In $k \cdot dB_z/d\Psi$ ist k der zuvor erwähnte Skalierungsfaktor, der die Amplituden von B_z und $dB_z/d\Psi$ ausgleichen soll.

[0029] Somit kann ein Fehler in die von den Sensoreinheiten 105a und 105c abgefühlten Winkel eingeführt werden, wobei Ψ'_1 ein von Sensoreinheit 105a gemessener Winkel ist und Ψ'_2 der von Sensoreinheit 105b gemessene Winkel ist:

$$\psi'_1 = \arctan[\sin\psi + \varepsilon, \cos\psi]$$

$$\psi'_2 = \arctan[\sin\psi - \varepsilon, \cos\psi]$$

Angenommen $\varepsilon = 0,1$ gilt nach wie vor, können sowohl Ψ'_1 als auch Ψ'_2 einen relativ signifikanten Winkelfehler von $\arctan(0,1) = 5,7$ Grad nahe der Grenzpositionen von $\psi = 0$ Grad und 180 Grad, wobei der Winkel bei Sensoreinheit 105a um 5,7 Grad zu groß und bei Sensoreinheit 105c das Gegenteil, 5,7 Grad zu klein, ist. Berechnet der Sensor 100 den Winkel von beiden Signalen stimmt das Ergebnis, obwohl dies in anderen Positionen der Rotation nicht notwendigerweise zutrifft. Für zufällige Positionen in der Rotation wird der Fehler ausgedrückt durch:

$$\Delta\psi = \frac{-1}{2} \arctan \frac{\varepsilon^2 \sin(2\psi)}{1 + \varepsilon^2 \cos(2\psi)}$$

wobei der Fehler bei ungeraden Vielfachen von $\Psi = 45$ Grad am größten ist. Für $\varepsilon = 0,1$ beträgt der maximale Winkelfehler 0,29 Grad, was um das 20-fache geringer ist als der maximale Winkelfehler von Sensoreinheit 105a alleine.

[0030] Somit befindet sich in einem System wie Sensor 100 aus **Fig. 3A-3C**, das vier in ganzzahligen Vielfachen von 90 Grad um die Welle 104 angeordneten Sensoreinheiten umfasst, Sensoreinheit 105a bei Ψ_0 , Sensoreinheit 105b bei $\Psi_0 + 90$ Grad, Sensoreinheit 105c bei $\Psi_0 + 180$ Grad und Sensoreinheit 105d bei $\Psi_0 + 270$ Grad und die letzteren beiden sind orthogonal, um dasselbe Hintergrundmagnetfeld anzunehmen und werden dadurch nicht durch diese Störung beeinflusst.

[0031] Berechnet der Sensor 100 den Gesamtwinkel erneut, aber nun als Durchschnitt über alle vier Winkel der Sensoreinheiten 105a-105d, wird der Winkelfehler von 0,29 Grad signifikant auf nur 0,15 Grad reduziert. In anderen Ausführungsformen können mehr als vier Sensoreinheiten 105a-105d verwendet werden, die den Winkelfehler weiter reduzieren können, allerdings nicht in demselben Ausmaß wie hier veranschaulicht beim Erhöhen von zwei Sensoreinheiten 105a und 105c auf vier Sensoreinheiten 105a-105d. Zusätzlich zu einer geraden Anzahl von Sensoreinheiten 105 kann in manchen Ausführungsformen eine ungerade Anzahl von Sensoreinheiten 105 (z.B. 3, 5, 7, etc.) Hintergrundmagnetstörung in dem geschätzten Rotationswinkel ebenfalls signifikant unterdrücken.

[0032] Zusätzlich oder alternativ dazu können in manchen Ausführungsformen verschiedene Kombinationen von Ψ_0 und Ψ_2 verwendet werden, um die Auswirkungen von externen Störungen durch Magnetfelder zu reduzieren. Beispielsweise kann der Sensor 100 bei Vorliegen einer gewissen externen Störung und bei $k = 1$ bestimmen

$$\psi'_1 = \arctan[\sin\psi + \varepsilon, \cos\psi]$$

durch

$$\tan\psi'_1 = \frac{\sin\psi + \varepsilon}{\cos\psi}$$

welches die Inverse der Arkustangensfunktion $[x,y]$ ist. Dasselbe kann auf Ψ'_2 angewandt werden durch

$$\tan\psi'_2 = \frac{\sin\psi - \varepsilon}{\cos\psi}$$

[0033] Der Durchschnitt beider Tangenten ist unabhängig von dem Hintergrundfeld ε :

$$\frac{\tan\psi'_1 + \tan\psi'_2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin\psi + \varepsilon}{\cos\psi} + \frac{\sin\psi - \varepsilon}{\cos\psi} \right) = \tan\psi$$

[0034] Somit kann in Ausführungsformen, in denen der Sensor 100 zumindest zwei Sensoreinheiten 105a und 105c umfasst, die bei Ψ_0 bzw. $\Psi_0 + 180$ Grad angeordnet sind (oder z.B. 105b und 105d, die bei $\Psi_0 + 90$ Grad bzw. $\Psi_0 + 270$ Grad oder jeden anderen entgegengesetzten psi-Positionen mit 180 Grad Unterschied angeordnet sind), der Sensor 100 nachfolgendes als bessere Schätzung des Rotationswinkels berechnen, bei der sich in manchen Ausführungsformen die homogenen Hintergrundmagnetfelder perfekt oder nahezu perfekt aufheben:

$$\arctan\left(\frac{\tan\psi'_1 + \tan\psi'_2}{2}\right)$$

[0035] Ein weiterer Faktor, der die Genauigkeit des Sensors 100 in manchen Ausführungsformen beeinflussen kann, ist eine fehlerhafte (z.B. nichthomogene) Magnetisierung des Magneten 102. Diese Nichthomogenität kann dazu führen, dass die dadurch induzierten Magnetfeldkomponenten aufgrund des Nachfolgenden höhere ungerade Harmonische aufweisen:

$$BR = \sin(\psi) + b_3 * \sin(3 * \psi + \kappa_3) + b_5 * \sin(5 * \psi + \kappa_5) + \dots$$

wobei b_3 , b_5 , etc. klein aber nicht vernachlässigbar sind. Wird der Magnet 102 in Bezug auf die Rotationsachse der Welle 104 exzentrisch montiert, können zusätzliche geradzahlige Harmonische daraus resultieren. Somit kann in manchen Ausführungsformen eine Vielzahl von Sensoreinheiten 105, wie oben besprochen, im Sensor 100 verwendet und gleichmäßig verteilt werden. Beispielsweise sind in z.B. **Fig. 3A-3C** vier Sensoreinheiten 105a-105d jeweils 90 Grad voneinander beabstandet. In einer fünf Sensoreinheiten 105 umfassenden Ausführungsform kann der Abstand alle 72 Grad, oder generell für N Einheiten bei ganzzahligen Vielfachen von 360 Grad/ N betragen, mit den Ausgangssignalen von ψ_1 , ψ_2 ... ψ_N , welche grobe Schätzungen des Rotationswinkels der Welle 104 sind.

[0036] Eine Steuereinheit von oder gekoppelt an den Sensor 100 kann die psi-Wertausgaben von jeder Sensoreinheit 105 empfangen und sie kombinieren, um eine präzisere Schätzung des Rotationswinkels der Welle 104 zu erhalten. In einer Ausführungsform kann der Mittelwert der psi-Werte gebildet werden, ähnlich wie oben mit Bezug auf eine zwei Sensoreinheiten 105a und 105c umfassenden Ausführungsform besprochen. In einer anderen Ausführungsform können die N Sensoreinheiten mit Bezug auf ihre Orientierung um die Welle 104 in entgegengesetzte Paare gruppiert werden, ähnlich zu den Sensoreinheiten 105a und 105c, und 105b und 105d. Anschließend kann der Arkustangens für jedes Paar gemäß Folgendem bestimmt werden:

$$\arctan\left(\frac{\tan\psi_1 + \tan\psi_2}{2}\right)$$

und der Mittelwert des Arkustangens von allen der Gruppen kann gebildet werden. In einer weiteren Ausführungsform kann der Durchschnitt von all den Tangenten für jede Sensoreinheit 105 bestimmt werden, wobei dann der Durchschnitt des Arkustangens berechnet wird.

[0037] Wie zuvor erwähnt kann ein Skalierungsfaktor k in Ausführungsformen verwendet werden, um die Amplituden von B_R und $dB_R/d\Psi$ auszugleichen. Diese Eigenschaft kann auch helfen, die Kosten der Sensoreinheiten 105 zu reduzieren. Beispielsweise ist k abhängig von dem Durchmesser von Magnet 102 und der Platzierung der Sensoreinheiten 105, um genauer zu sein der Sensorelemente 108, mit Bezug auf den Magneten 102. Somit ist es schwierig einen einzelnen Wert für k vorab zu programmieren, angesichts der Tatsache, dass diese Faktoren variieren können, aber die Alternative kann komplizierter und teurer sein (d.h. k für jeden einzelnen Sensor 100 oder sogar Sensoreinheit 105 zu bestimmen und Speicherschaltkreise, wie etwa EEPROM oder andere geeignete Speicher, in jeder Sensoreinheit 105 zu integrieren).

[0038] Daher kann in manchen Ausführungsformen k als zwei Faktoren, k_a und k_b , umfassend betrachtet werden, sodass $k = k_a \cdot k_b$. In einer Ausführungsform und bezugnehmend auf **Fig. 5** ist k_a ein Näherungswert eines geeigneten Amplitudenverhältnisses von B_R und $dB_R/d\Psi$ und k_b ist ein korrigierender Faktor (z.B. etwa 1 in manchen Ausführungsformen), der nicht in der Sensoreinheit 105, sondern im Speicherschaltkreis 122 einer Steuereinheit 120, die Teil des Sensors ist, gespeichert wird. In einer anderen Ausführungsform kann die Steuereinheit 120 und/oder der Speicherschaltkreis 122 extern, aber an den Sensor 100 gekoppelt, sein, und/oder der Speicherschaltkreis 122 kann extern zu der Steuereinheit 120 sein, und/oder extern oder intern zu einer oder mehreren Sensoreinheiten 105, wobei die Abbildung in **Fig. 5** nur für eine Ausführungsform beispielhaft ist. Darüber hinaus kann der Sensor 100 mehr oder weniger Komponenten umfassen, als in dem vereinfachten Blockdiagramm in **Fig. 5** abgebildet sind. Die Steuereinheit 120 kombiniert anschließend die Ausgangssignale aller Sensoreinheiten 105a-105n, um eine genauere Schätzung des Rotationswinkels von der Welle 104 zu erhalten. In der Praxis kann k_b für jede Sensoreinheit 105a-105n unterschiedlich sein, oder es kann für manche oder alle gleich sein.

[0039] Somit stellt in einer Ausführungsform die Sensoreinheit 105a ein Ausgangssignal bereit, das:

$$\psi_1 = \arctan\left[B_R(\psi_0), k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi}\right]$$

Die Sensoreinheit 105c, die der Sensoreinheit 105a mit Bezug auf die Rotationsachse der Welle 104 entgegengesetzt angeordnet ist (wie etwa in **Fig. 3A-3C**) stellt ein Ausgangssignal bereit, das:

$$\psi_2 = \arctan\left[B_R(\psi_0 + 180^\circ), k_a \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi}\right]$$

Die Steuereinheit 120 bestimmt anschließend Folgendes:

$$\left[B_R(\psi_0), k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi}\right] / \sqrt{(B_R(\psi_0))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi}\right)^2}$$

und

$$\left[B_R(\psi_0 + 180^\circ), k_a \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi}\right] / \sqrt{(B_R(\psi_0 + 180^\circ))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi}\right)^2}$$

wobei die Quadratwurzeln die Länge der Signale auf eins normalisieren. In einer anderen Ausführungsform kann jede Sensoreinheit 105 der Steuereinheit 120 die Sinus- und Cosinus-Werte direkt bereitstellen, was die Rechenkomplexität in den Sensoreinheiten 105 reduzieren kann, aber höhere Anforderungen an die Datenprotokolle zwischen den Sensoreinheiten 105 und der Steuereinheit 120 stellt.

[0040] Als nächstes stellt die Steuereinheit 120 den Skalierungsfaktor k ein, durch Bestimmen von:

$$\left[B_R(\psi_0), k_a k_b \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} \right] / \sqrt{(B_R(\psi_0))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} \right)^2}$$

und

$$\left[B_R(\psi_0 + 180^\circ), k_a k_b \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi} \right] / \sqrt{(B_R(\psi_0 + 180^\circ))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi} \right)^2}$$

[0041] In Ausführungsformen kann der Abschnitt k_b des Skalierungsfaktors aus einem Kalibrierungsvorgang, wie etwa im Zuge der Herstellung und/oder der abschließenden Überprüfung des Sensors 100, bestimmt werden, in dem die Steuereinheit die Amplituden der folgenden bestimmt und daraus k_b als Verhältnis der beiden berechnet:

$$B_R(\psi_0) / \sqrt{(B_R(\psi_0))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} \right)^2}$$

$$k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} / \sqrt{(B_R(\psi_0))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} \right)^2}$$

Anschließend bestimmt die Steuereinheit 120 in einer Ausführungsform neue Winkel für die Sensoreinheiten 105a und 105c unter Verwendung des angepassten Skalierungsfaktors $k = k_a \cdot k_b$ gemäß

$$\psi_1' = \arctan \left[\frac{B_R(\psi_0)}{\sqrt{(B_R(\psi_0))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} \right)^2}}, k_a k_b \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} / \sqrt{(B_R(\psi_0))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} \right)^2} \right]$$

und

$$\psi_2' = \arctan \left[\frac{B_R(\psi_0 + 180^\circ)}{\sqrt{(B_R(\psi_0 + 180^\circ))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi} \right)^2}}, k_a k_b \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi} / \sqrt{(B_R(\psi_0 + 180^\circ))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi} \right)^2} \right]$$

und bestimmt von da eine verbesserte Winkelschätzung durch

$$\psi' = \frac{\psi_1' + (\psi_2' - 180^\circ)}{2}$$

[0042] Dies kann die Auswirkungen der homogenen Hintergrundfelder vermindern, wobei sie sie möglicherweise nicht vollständig aufhebt. Beträgt beispielsweise ein Hintergrundfeld 10 % der Amplitude des BR-Felds, dann beträgt der resultierende Winkelfehler in Ψ' weniger als 0,3 Grad, was in manchen oder den meisten Situationen annehmbar sein kann.

[0043] Nichtsdestoweniger kann in einer anderen Ausführungsform ein zweiter Ansatz homogene Hintergrundfelder vollständiger ausgleichen, wobei die Steuereinheit 120 die Summe der phasengleichen Signale \tilde{B}_R und die Summe der Phasenverschiebungssignale \tilde{Q}_R berechnet durch:

$$\tilde{B}_R = B_R(\psi_0) / \sqrt{(B_R(\psi_0))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} \right)^2} + B_R(\psi_0 + 180^\circ) / \sqrt{(B_R(\psi_0 + 180^\circ))^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi} \right)^2}$$

$$\tilde{Q}_R = k_a k_b \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} \left/ \sqrt{\left(B_R(\psi_0)\right)^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi}\right)^2} \right. \\ \left. + k_a k_b \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi} \left/ \sqrt{\left(B_R(\psi_0 + 180^\circ)\right)^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi}\right)^2} \right.$$

[0044] Die homogenen Hintergrundmagnetfelder haben nur auf die phasengleichen Signale eine Auswirkung, da die Phasenverschiebungssignale gradiometrische Signale sind, bei denen homogene Hintergrundmagnetfelder sich aufheben. Somit kann die Steuereinheit 120 stattdessen auch eines der Folgenden verwenden:

$$\tilde{Q}_R = 2k_a k_b \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi} \left/ \sqrt{\left(B_R(\psi_0)\right)^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0)}{d\psi}\right)^2} \right.$$

oder

$$\tilde{Q}_R = 2k_a k_b \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi} \left/ \sqrt{\left(B_R(\psi_0 + 180^\circ)\right)^2 + \left(k_a \frac{dB_R(\psi_0 + 180^\circ)}{d\psi}\right)^2} \right.$$

[0045] Das homogene Hintergrundmagnetfeld hebt sich auch in der Summe \tilde{B}_R der phasengleichen Signale auf, sodass sowohl \tilde{B}_R als auch \tilde{Q}_R frei von Hintergrundinterferenzen sind. Somit kann die Steuereinheit 120 den Winkel berechnen gemäß

$$\psi' = \arctan[\tilde{B}_R, \tilde{Q}_R]$$

[0046] Bezugnehmend auf **Fig. 6** umfasst eine Alternative zu den Ausführungsformen aus **Fig. 3A-3C** oberflächenmontierte Vorrichtungen (SMDs) mit den Sensoreinheiten 105a-105c unterhalb (wie abgebildet) oder oberhalb des Magneten 102 angeordnet. Die Ansichten von **Fig. 6A**, **Fig. 6B** und **Fig. 6C** sind ähnlich den Ansichten der **Fig. 3A**, **Fig. 3B** bzw. **Fig. 3C**. die Konfiguration in **Fig. 6** kann in manchen Anwendungen vorteilhaft sein, beispielsweise wenn der Magnet 102 einen größeren Durchmesser aufweist, wie etwa größer als etwa 15 mm, oder wenn SMDs gewünscht oder aus anderen Gründen verfügbar sind. Zusätzlich dazu kann die in **Fig. 6** abgebildete spezifische SMD in anderen Ausführungsformen, wie auch die Gehäuseform oder andere Konfiguration in anderen Ausführungsformen, die keine SMDs sind, variieren. Beispielsweise können in manchen Ausführungsformen SMDs mit Polen auf beiden anstatt auf nur einer Seite verwendet werden. In anderen Ausführungsformen können Very Thin Quad Flat Non-Leaded (VQFN) Gehäuseformen eingesetzt werden oder andere geeignete Gehäuseformen und/oder Konfigurationen, die bekannt oder entwickelt es sich bei Fachleuten auf dem Gebiet der Erfindung versteht.

[0047] In der Ausführungsform von **Fig. 6** sind drei Sensoreinheiten 105a-105c abgebildet, die voneinander in ganzzahligen Vielfachen von 120 Grad um die Welle 104 angeordnet sind, die in manchen Ausführungsformen nichtmagnetisch oder eisenhaltig sein können. Die Anzahl der Sensoreinheiten 105 und ihre relativen Anordnungen können in anderen Ausführungsformen variieren. Beispielsweise und ähnlich zu **Fig. 3** können in einer anderen Ausführungsform vier Sensoreinheiten 105a-105d in der Konfiguration von **Fig. 6** eingesetzt werden.

[0048] In manchen Ausführungsformen liegt ein Abstand d zwischen dem Gehäuse der Sensoreinheiten 105a-105c und des Magneten in einem Bereich von etwa 0,5 mm bis etwa 3 mm, wie etwa 1 mm in einer Ausführungsform. Wie in anderen Ausführungsformen ist der Magnet 102 diametrisch magnetisiert und die Sensorelemente 108a und 108b einer jeden Sensoreinheit 105a-105c sind dazu konfiguriert, die B_z -Komponente oder axiale Komponente des durch den Magneten 102 induzierten Magnetfeldes zu detektieren. Das Betreiben des Sensors 100 kann ähnlich sein zu hierin mit Bezug auf andere Ausführungen Beschriebenem.

[0049] In einer in **Fig. 7A** und **Fig. 7B** abgebildeten weiteren Ausführungsform sind die Sensoreinheiten 105 innerhalb des Innendurchmessers des Magneten 102 angeordnet, der einen ringförmigen Zylinder mit einem

ersten, inneren Radius (d.h. des Innendurchmessers) und einem zweiten, äußeren Radius umfasst. Die Anschlusskontakte der Sensoreinheit 105 sind mit einer Leiterplatte (PCB) 111 gekoppelt, sodass die Sensoreinheiten 105 sich in den Innendurchmesser des Magneten 102 ausdehnen, der von der PCB 111 beabstandet ist. Der Magnet 102 ist an einen Scheibenabschnitt 102 der Welle 103 gekoppelt, sodass der Magnet 102 mit der Welle 104 beim Betreiben mitrotiert. Der Magnet kann in anderen Ausführungsformen auf andere Art an die Welle 104 gekoppelt sein und/oder die spezielle Konfiguration des Scheibenabschnittes 103 kann variieren, z.B. ein Durchmesser des Scheibenabschnittes 103 mit Bezug auf den Durchmesser des Magneten 102, wobei die Abbildung in **Fig. 7A** und **Fig. 7B** lediglich ein Beispiel darstellt. Beispielsweise kann ein Profil, Form, Abmessung oder andere Konfiguration des Innendurchmesserabschnittes des Magneten 102 und der in der Nähe gelegenen Sensoreinheiten in Ausführungsformen variieren. In einer Ausführungsform weist das Innendurchmesserprofil des Magneten 102 eine zu der Welle 104 entgegengesetzte, kegelartige Form auf. In einer anderen Ausführungsform ist das Innendurchmesserprofil des Magneten 102 erweitert oder steht in einem Winkel in einer axialen Richtung zu den Sensoreinheiten 105, sodass es sich in einer Ausführungsform um weniger als etwa 3 mm, z.B. etwa 1 mm, in einer solchen Richtung ausdehnt.

[0050] In wiederum anderen Ausführungsformen mit Bezug auf **Fig. 7** und anderen hierin besprochenen, kann das Material der Scheibe 103 und/oder der Welle 104 variieren. Beispielsweise kann eine oder beide ein eisenhaltiges oder aus anderen Gründen magnetisches Material, wie etwa in Ausführungsformen Eisen, umfassen. In anderen Ausführungsformen jedoch kann eine oder beide aus Scheibe 103 und Welle 104 ein nichtmagnetisches Material umfassen. Obwohl dies die Stärke des Magnetfeldes und die Auswirkungen externer Felder verändern kann, kann es wenig Auswirkung auf die Winkelgenauigkeit haben und kann tatsächlich die Produktionskosten reduzieren wenn weniger teure Materialien verwendet werden.

[0051] Die PCB 111 kann ein einzelnes Stück umfassen oder kann eine Vielzahl von Stücken, z.B. zwei Hälften, was leichter herzustellen sein kann, umfassen, obwohl beim Zusammenbau des Sensors 100 mit Bezug auf Positionstoleranzen, wie etwa für die Sensoreinheiten 105 in Relation zu dem Magneten 102, Sorgfalt erforderlich ist. In **Fig. 7A** ist nur die Hälfte der PCB 111 gezeigt und ein Teil des Magneten 102 ist weggeschnitten, sodass die Sensoreinheiten 105 innerhalb des Innendurchmessers sichtbar sind. Obwohl sie nicht abgebildet ist, kann in manchen Ausführungsformen eine zweite Scheibe unterhalb der PCB 111 eingefügt werden, was die Abschirmung gegenüber externen Magnetfeldern verbessern kann. In einer Ausführungsform kann die PCB 111 eine Einzelstruktur mit einer Öffnung, die einen ersten Abschnitt, wie etwa nahe des Zentrums der PCB 111, umfasst, in der die Welle 104 angeordnet ist und einen zweiten Abschnitt, der sich von der Kante oder dem Umkreis der PCB 111 zu dem ersten Abschnitt hin erstreckt, umfasst, wodurch die Welle in dem ersten Abschnitt der Öffnung angeordnet werden kann, ohne dass die PCB 111 über ein Ende der Welle 104 gezogen werden muss, was die Herstellung und den Zusammenbau vereinfachen kann. Eine Breite oder andere Abmessung des zweiten Abschnitts kann geringfügig größer als ein Durchmesser von Welle 104 sein, z.B. zumindest 1 mm größer in Ausführungsformen. Die Größe und Platzierung des zweiten Abschnittes der Öffnung sollte ebenfalls in Hinblick auf die Anordnung der Sensoreinheiten 105 auf der PCB 111 überlegt werden.

[0052] Wie abgebildet sind Substrate 106 der Sensoreinheiten 105 so angeordnet, dass die Oberfläche des Substrats 106, auf dem die Sensorelemente 108 montiert sind, parallel zu der $[\Psi, z]$ -Ebene ist. Die Sensorelemente 108a und 108b können wie in anderen Ausführungsformen Hall-Platten oder andere geeignete Magnetfeldsensorelemente, z.B. wie abgebildet gewöhnliche Hall-Platten, umfassen. Die aktive Oberfläche eines jeden der Substrate 106 der Sensoreinheiten 105 ist in einer Ausführungsform, wie abgebildet, entgegengesetzt (z.B. frontal) zu dem Magneten 102, anstatt der Welle 104, angeordnet. In anderen Ausführungsformen sind die Sensoreinheiten 105 so angeordnet, dass die Mittellinie der Sensorelemente 108a und 108b im Allgemeinen auf einer Linie mit der Mittelebene des Magneten 102 liegt.

[0053] Die bisher besprochenen Ausführungsformen bezogen sich im Allgemeinen auf außersaxiale Winkelsensoren, obwohl entdeckt wurde, dass diese Prinzipien auch auf Ausführungsformen mit axialen Winkelsensoren zutreffen können. Ein Beispiel eines axialen Sensors 200 ist in **Fig. 8** abgebildet, wobei dieselben oder ähnliche Referenznummern verwendet wurden, um dieselben oder ähnliche Komponenten, Teile und/oder Eigenschaften zu bezeichnen. Bei Sensor 200 ist die Sensoreinheit 105 koaxial mit der Welle 104 angeordnet und das Substrat 206 ist darauf senkrecht ausgerichtet.

[0054] Analog zu **Fig. 2** veranschaulicht **Fig. 9** ein beispielhaftes Layout für eine Sensoreinheit 205, die zumindest zwei Sensorelemente umfasst, hier sind es vier: 208a, 208b, 208c und 208d. Von den vier Sensorelementen 208-208d kann angenommen werden, dass sie zwei Sensoreinheiten umfassen (d.h. ähnlich zu den oben besprochenen Sensoreinheiten 105a und 105b), wobei die Sensorelemente 208a und 208b eine

erste Sensoreinheit und die Sensorelemente 208c und 208d eine zweite Sensoreinheit umfassen. In einer Ausführungsform können Sensorelemente 208-208d ausgewählt werden, sodass sie auf die z-Komponente des durch den Magneten 102 induzierten Magnetfelds empfindlich sind, oder die Sensorelemente 208a-208d können so ausgewählt werden, dass sie auf die R-Komponente oder die Ψ -Komponente empfindlich sind. Wie in außßeraxialen Winkelsensorausführungsformen können die Sensorelemente 208a-208d Hall-Platten, vertikale Hall-Platten, magnetresistive Elemente oder andere geeignete Magnetfeldsensorelemente umfassen.

[0055] Von den Sensorelementen 208a-208d kann angenommen werden, dass sie auf einem Kreis mit dem Rotationswinkel Ψ wie gezeigt, angeordnet sind, sodass Sensorelement 208a mit Hinblick auf jedes der Sensorelemente 208b-d in Ψ -Richtung verschoben wird, Sensorelement 208b mit Hinblick auf jedes der Sensorelemente 208a, 208c und 208d in Ψ -Richtung verschoben wird etc. Die Sensorelemente 208a-208d sind um die Rotationsachse der Welle 104 angeordnet, die an dem Schnittpunkt der x-Achse und der y-Achse in **Fig. 9** ausgerichtet ist und auch der zentrale Punkt für alle Sensorelemente 208a-208d ist. Die Mittelpunkte zwischen den Sensorelementen einer jeden Sensoreinheit, d.h. der Mittelpunkt zwischen den Sensorelementen 208a und 208b und der Mittelpunkt zwischen den Sensorelementen 208c und 208d sind aneinander ausgerichtet, aber liegen an gegenüberliegenden positiven bzw. negativen Positionen auf der y-Achse. Mit anderen Worten unterscheiden sich die azimuthale Position des Mittelpunkts von Sensorelementen 208a und 208b und die azimuthale Position des Mittelpunktes von Sensoreinheit 208c und 208d um 180 Grad. Obwohl die radialen Positionen in manchen Ausführungsformen oder Implementierungen variieren können, sind in anderen Ausführungsformen die Sensorelemente so angeordnet, dass sie mit Bezug auf die Rotationsachse der Welle 104 wie folgt spiegelsymmetrisch sind: Sensorelemente 208a und 208c sind miteinander spiegelsymmetrisch und Sensorelemente 208b und 208d sind miteinander spiegelsymmetrisch.

[0056] Beim Betreiben ist der Sensor 200 ähnlich dem oben besprochenen Sensor 100. Sensor 100, wie etwa eine Steuereinheit, die die Steuereinheit 120 ähnlich ist, oder ein anderer Schaltkreis von Sensor 100 oder an diesen gekoppelt ist, bestimmt eine Differenz zwischen einer Summe der Ausgangssignale einer jeden Sensoreinheit, hier für die Sensorelemente 208a und 208b (z.B., $B_a + B_b$ und $B_a - B_b$, wobei B_a das Ausgangssignal von Sensorelement 208a ist und B_b das Ausgangssignal von Sensorelement 208b ist, etc.) und erneut für die Sensorelemente 208c und 208d (z.B. $B_c + B_d$ und $B_c - B_d$). Anschließend werden ein Winkel Ψ_{ab} und ein Winkel Ψ_{cd} für jede Sensoreinheit bestimmt, gemäß

$$\arctan[(B_a + B_b), k * (B_a - B_b)]$$

[0057] Dies wird für die Sensorelemente 208c und 208d wiederholt:

$$\arctan[(B_c + B_d), k * (B_c - B_d)]$$

[0058] Beide Winkel können anschließend wie oben besprochen kombiniert werden, gemäß:

$$\Psi' = (\Psi_{ab} + \Psi_{cd} - 180 \text{ Grad})/2$$

oder

$$\Psi' = \arctan\left(\frac{\tan(\Psi_{ab}) + \tan(\Psi_{cd})}{2}\right)$$

[0059] In einer anderen Ausführungsform kann der Sensor 100 einfach Folgendes bestimmen:

$$\Psi' = \arctan\left[\frac{(B_a + B_b) - (B_c + B_d)}{k * ((B_a - B_b) - (B_c - B_d))}\right]$$

[0060] In anderen axialen Ausführungsformen können vertikale Hall-Sensorelemente eingesetzt werden. Im Allgemeinen sprechen Hall-Sensorelemente auf Magnetfeldkomponenten an, die Parallel zu der Ebene des Sensorelements sind, im Gegensatz zu senkrecht für gewöhnliche Hall-Plattenvorrichtungen, die an anderer Stelle herein besprochen wurden. Bezugnehmend auf **Fig. 10A** ist eine beispielhafte Konfiguration eines Sensorelements 305, das vertikale Hall-Vorrichtungen verwendet, abgebildet. Hier werden, wie in einer anderen Ausführungsform, dieselben oder ähnliche Referenznummern verwendet, um dieselben oder ähnliche Elemente oder Eigenschaften zu bezeichnen. Das Sensorelement 305 umfasst ein Substrat 306, auf dem vier vertikale Hall-Sensorelemente 308a (hierin auch bezeichnet als H_1), 308b (H_2), 308c (H_3) und 308d

(H_4) angeordnet sind. In der Ausführungsform in **Fig. 10A** umfassen die Sensorelemente 308a-308d BR-Sensorelemente mit den wie abgebildet angegebenen Ausrichtungen.

[0061] Ähnlich zu **Fig. 9** können die Sensorelemente 308a-308d in **Fig. 10A**, wie gezeigt, in einem Kreis mit dem Rotationswinkel Ψ angeordnet sein, sodass das Sensorelement 308a mit Bezug auf die Sensorelemente 308b-d in Ψ -Richtung verschoben ist, das Sensorelement 308b mit Bezug auf die Sensorelemente 308a, 308c und 308d in Ψ -Richtung verschoben sein etc. Die Sensorelemente 308a-308d sind um die Rotationsachse der Welle 104 angeordnet, welche in **Fig. 10A** an dem Schnittpunkt der x-Achse und der y-Achse ausgerichtet ist und welche auch der Mittelpunkt von allen Sensorelementen 308a-308d ist. Obwohl die radialen Positionen in manchen Ausführungsformen oder Implementierungen variieren können, sind die Sensorelemente in anderen Ausführungsformen so angeordnet, dass sie mit Bezug auf die Rotationsachse der Welle 104 spiegelsymmetrisch sind.

[0062] Eine andere Ausführungsform der Sensoreinheit 305, die vertikale Hall-Sensorvorrichtungen umfasst, ist in **Fig. 10B** abgebildet, in der die Ausrichtungen der Sensorelemente 308a-308d um 90 Grad entgegen dem Uhrzeigersinn rotiert sind, sodass die Sensorelemente B Ψ - anstatt BR-Sensorelemente sind. Andere Eigenschaften, einschließlich der relativen Anordnung von Sensoreinheit 305 mit Bezug auf den Magneten 102 und die Welle 104 sind ähnlich zu oder dieselben wie in **Fig. 10A**, sofern hierin nicht anders spezifiziert.

[0063] Das rotationssymmetrische Magnetfeld des Magneten 102 mit homogener Magnetisierung in y-Richtung wird gegeben durch

$$B_R(R, \psi, z) = B_{rem} \sin \psi (b_0 + b_1)$$

$$B_\psi(R, \psi, z) = B_{rem} \cos \psi (b_0 - b_1)$$

$$B_z(R, \varphi, z) = B_{rem} \sin \psi b_2$$

wobei b_0 , b_1 und b_2 ausschließlich Funktionen von R und Ψ sind. Bezugnehmend auf **Fig. 10A** ergibt sich Folgendes, wenn das Feld auf dem Sensorelement 308a (H_1) angegeben ist als B_{R1} , 308b (H_2) als B_{R2} , 308c (H_3) als B_{R3} und 308d (H_4) als B_{R4} :

$$\frac{B_{R1} + B_{R2} - (B_{R3} + B_{R4})}{B_{R1} - B_{R2} - (B_{R3} - B_{R4})} = \frac{\sin \psi + \sin(\psi + 90^\circ) - (\sin(\psi + 180^\circ) + \sin(\psi - 90^\circ))}{\sin \psi - \sin(\psi + 90^\circ) - (\sin(\psi + 180^\circ) - \sin(\psi - 90^\circ))} = \frac{\sin \psi + \cos \psi}{\sin \psi - \cos \psi} = -\tan(\psi + 45^\circ)$$

wobei das Sensorelement 308a (H_1) an Position Ψ angeordnet ist und $\Psi = 0$ die x-Achse bezeichnet. Das bedeutet, dass der die Sensoreinheit 305 umfassende Sensor die Winkelposition des Magneten 102 schätzen kann durch:

$$\psi' = \arctan \left[\frac{B_{R3} + B_{R4} - (B_{R1} + B_{R2})}{B_{R1} - B_{R2} - (B_{R3} - B_{R4})} \right] - 45^\circ.$$

[0064] Im Gegenzug und Bezug nehmend auf **Fig. 10B** ergibt sich Folgendes, wenn das Feld auf dem Sensorelement angegeben ist als $B_{\psi1}$, Sensorelement 308b (H_2) als $B_{\psi2}$, Sensorelement 308c (H_3) als $B_{\psi3}$ und 308d (H_4) als $B_{\psi4}$:

$$\frac{B_{\psi1} + B_{\psi2} - (B_{\psi3} + B_{\psi4})}{B_{\psi1} - B_{\psi2} - (B_{\psi3} - B_{\psi4})} = \frac{\cos \psi + \cos(\psi + 90^\circ) - (\cos(\psi + 180^\circ) + \cos(\psi - 90^\circ))}{\cos \psi - \cos(\psi + 90^\circ) - (\cos(\psi + 180^\circ) - \cos(\psi - 90^\circ))} = \frac{\cos \psi - \sin \psi}{\cos \psi + \sin \psi} = \tan(-\psi + 45^\circ)$$

wobei das Sensorelement 308a (H_1) sich an Position Ψ befindet und $\Psi = 0$ die x-Achse bezeichnet. Somit kann der die Sensoreinheit 305 umfassende Sensor 100 die Winkelposition des Magneten 102 schätzen durch:

$$\psi' = \arctan \left[\frac{B_{\psi3} + B_{\psi4} - (B_{\psi1} + B_{\psi2})}{B_{\psi1} - B_{\psi2} - (B_{\psi3} - B_{\psi4})} \right] + 45^\circ$$

Schließlich ergibt sich Folgendes, wenn die Sensorelemente 308a-308d so angeordnet sind, dass sie stattdessen auf die z-Komponente des Magnetfelds ansprechen, so ähnlich wie es in **Fig. 9** abgebildet ist, und das Feld auf Sensorelement 308a (H_1) angegeben ist als B_{z1} , Sensorelement 308b (H_2) als B_{z2} , 308c (H_3) als B_{z3} u 308d (H_4) als B_{z4} :

$$\frac{B_{z1} + B_{z2} - (B_{z3} + B_{z4})}{B_{z1} - B_{z2} - (B_{z3} - B_{z4})} = \frac{\sin \psi + \sin(\psi + 90^\circ) - (\sin(\psi + 180^\circ) + \sin(\psi - 90^\circ))}{\sin \psi - \sin(\psi + 90^\circ) - (\sin(\psi + 180^\circ) - \sin(\psi - 90^\circ))} = \frac{\sin \psi + \cos \psi}{\sin \psi - \cos \psi}$$

$$= -\tan(\psi + 45^\circ)$$

wobei das Sensorelement 308a (H_1) sich an Position Ψ befindet und $\Psi = 0$ die x-Achse bezeichnet. Somit kann der die Sensoreinheit 305 umfassende Sensor 100 die Winkelposition des Magneten 102 schätzen durch:

$$\psi' = \arctan\left[\frac{B_{z3} + B_{z4} - (B_{z1} + B_{z2})}{B_{z1} - B_{z2} - (B_{z3} - B_{z4})}\right] - 45^\circ$$

[0065] In einer Ausführungsform können diese drei Systeme (BR für radial, B Ψ für azimuthal und Bz für axial) kombiniert werden. Beispielsweise anstelle eines einzelnen Sensorelements 308a (H_1) umfasst die Sensoreinheit 305 drei Sensorelemente, die jeweils auf eine radiale, azimuthale und axiale Magnetfeldkomponente empfindlich sind. Dasselbe gilt für die Sensorelemente 308b (H_2), 308c (H_3) und 308d (H_4). Anschließend kann der Sensor 100 den Rotationswinkel gemäß der jeweiligen oben angeführten Formel schätzen. Schließlich kann der Sensor 100 die drei Winkelwerte vergleichen und sie in einer Weise kombinieren, die trotz Montagetoleranzen, Hintergrundfelder (insbesondere inhomogene Hintergrundfelder) und sensorelementbezogener Fehler (z.B. Offset, Rauschen, thermische Verlagerung, etc.) präziser ist. In einer Ausführungsform kann diese Kombination das Bilden eines Durchschnitts umfassen, obwohl in anderen Ausführungsformen andere Verfahren eingesetzt werden können.

[0066] Die Konfigurationen aus **Fig. 10A** und **Fig. 10B** können in anderen Ausführungsformen variieren. Beispielsweise bilden die **Fig. 10C** und **Fig. 10D** zwei zusätzliche vertikale Hall-Anordnungen ab, obwohl in anderen Ausführungsformen noch andere Anordnungen und Konfigurationen verwendet werden können. Die hierin gegebenen bestimmten Beispiele sind lediglich als beispielhaft zu verstehen und sollen nicht einschränkend verstanden werden. In **Fig. 10C** sind die Sensorelemente 308a-308d in der Nähe der Ecken des Substrats 306 angeordnet. In **Fig. 10D** sind die Sensorelemente stattdessen in der Nähe eines Zentrums oder eines Mittelpunktes des Substrats 306 angeordnet, welcher axialen Ausführungsformen an einer Rotationsachse der Welle 104 ausgerichtet ist, wie hierin andernorts beschrieben.

[0067] Im Allgemeinen umfasst ein Sensorsystem gemäß manchen Ausführungsformen n Sensoreinheiten, die an azimuthalen Positionen von 0 Grad, 360 Grad/n, 2*360°/n, ... (n-1)*360°/n mit Bezug auf eine konzentrische Rotationsachse eines Magneten positioniert sind. Jede Sensoreinheit kann zumindest ein Ausgangssignal bereitstellen, das einen gemessenen Winkel in einem Bereich von 0 Grad bis 360 Grad kodiert. In Abwesenheit von Winkel Fehlern und für kleine Rotationswinkel von $\Psi_0 < 360 \text{ Grad}/n$, misst eine erste Sensoreinheit Ψ_0 , eine zweite Sensoreinheit misst $\Psi_0 + 360 \text{ Grad}/n$, eine dritte Sensoreinheit misst $\Psi_0 + 2*360 \text{ Grad}/n$ und Sensoreinheit n misst $\Psi_0 + (n-1)*360 \text{ Grad}/n$, was immer noch geringer als 360 Grad ist.

[0068] Nimmt der Rotationswinkel zu, sind die von allen Sensoreinheiten gemessenen Winkel nicht monoton: Angenommen $n = 3$ und $\Psi_0 = 150 \text{ Grad}$. Die erste Sensoreinheit misst 150 Grad, die zweite Sensoreinheit misst $150 + 120 = 270 \text{ Grad}$, die dritte Sensoreinheit misst $\text{mod}(150 + 240, 360) = 30 \text{ Grad}$. Somit betragen die gemessenen Winkel 150 Grad, 270 Grad und 30 Grad. Diese sind nicht monoton, denn 30 Grad ist weniger als 270 Grad. In einem solchen Fall muss das Sensorsystem die gemessenen Winkel vorbehandeln: Es addiert ganzzahlige Vielfache von 360 Grad zu jedem gemessenen Winkel, bis alle Winkel monoton sind, d.h. Winkel(#1) < Winkel(#2) < Winkel(#3) < ... < Winkel(#n). Nach dieser Manipulation subtrahiert das Sensorsystem die azimuthale Position von jedem Winkel. Somit bleibt Winkel (#1) unverändert; von Winkel(#2) subtrahiert das System 360 Grad/n, von Winkel(#3) subtrahiert das System 2*360 Grad/n und von Winkel(#n) subtrahiert das System (n-1)*360 Grad/n. Schließlich kann der Durchschnitt all dieser Werte gebildet werden und der Rest aus der Division durch 360 wird als Ergebnis angenommen. Somit kann diese Operationssequenz in manchen Ausführungsformen im Wesentlichen eine Durchschnittswertbildung sein, aber es kann auch manche vor- und Nachbehandlungen erwägen, um das endgültige Intervall [0 Grad, 360 Grad] der annehmbaren Winkelbereiche zu berücksichtigen. Somit kann dies als bedingtes Bilden eines Durchschnittswerts bezeichnet werden. In manchen Ausführungsformen kann die Subtraktion der azimuthalen Positionen ausgelassen werden, da sie nur den Nullpunkt des gemessenen Winkels verschiebt.

[0069] Verschiedene Ausführungsformen von Systemen, Vorrichtungen und Verfahren wurden hierin beschrieben. Diese Ausführungsformen werden lediglich als Beispiele bereitgestellt und sollen nicht den Schutzzumfang der Erfindung einschränken. Es versteht sich darüber hinaus, dass die verschiedenen Eigenschaften der beschriebenen Ausführungsformen auf verschiedene Arten kombiniert werden können, um zahlreiche zusätzliche Ausführungsformen herzustellen. Darüber hinaus können, während verschiedene Materialien, Abmessungen, Formen, Konfigurationen und Positionen etc. für die Verwendung mit den offenbarten Ausführungsformen beschrieben wurden, abgesehen von den offenbarten andere eingesetzt werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu überschreiten.

[0070] Fachleute auf dem Gebiet der Erfindung werden erkennen, dass die Erfindung weniger als in einer einzelnen oben beschriebenen Ausführungsform veranschaulichten Eigenschaften umfassen kann. Die hierin beschriebenen Ausführungsformen verstehen sich nicht als erschöpfende Darstellung der Wege, auf die verschiedenen Eigenschaften der Erfindung kombiniert werden können. Demgemäß sind die Ausführungsformen keine einander ausschließenden Kombinationen von Eigenschaften; vielmehr kann die Erfindung eine Kombination verschiedener einzelner Eigenschaften umfassen, die aus verschiedenen einzelnen Ausführungsformen ausgewählt sind, wie es sich für Fachleute auf dem Gebiet der Erfindung versteht. Darüber hinaus können Elemente, die in Hinblick auf eine Ausführungsform beschrieben wurden, in anderen Ausführungsformen umgesetzt werden, sofern nicht anders vermerkt.

Patentansprüche

1. Magnetfeldbasierter Winkelsensor, wobei der Winkelsensor umfasst:
einen um eine Rotationsachse rotierbaren Magneten, zumindest eine in der Nähe des Magneten angeordnete Sensoreinheit, wobei die zumindest eine Sensoreinheit zwei Magnetfeldsensorelemente umfasst, die auf einer ersten durchgehenden Oberfläche eines Substrats angeordnet und voneinander entlang einer Bewegungsrichtung des Magneten beabstandet sind, wobei die Magnetfeldsensorelemente auf dieselbe Magnetfeldkomponente ansprechen; und
eine mit den zwei Magnetfeldsensorelementen gekoppelte Schaltung zum Bestimmen eines absoluten Rotationswinkels des Magneten aus einer Summe und einer Differenz von Ausgangssignalen der zwei Magnetfeldsensorelemente, aus einem Abstand der zwei Magnetfeldsensorelemente voneinander und einem Radialabstand der Magnetfeldsensorelemente von der Rotationsachse.
2. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach Anspruch 1, wobei die Magnetfeldkomponente auf der ersten durchgehenden Oberfläche des Substrats senkrecht steht.
3. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach Anspruch 1, wobei die Magnetfeldkomponente zu der ersten durchgehenden Oberfläche des Substrats parallel ist.
4. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach einem der Ansprüche 1-3, wobei die zwei Magnetfeldsensorelemente Hall-Effekt-Sensorelemente umfassen.
5. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach einem der Ansprüche 1-4, wobei die erste durchgehende Oberfläche des Substrats im Wesentlichen zu der Rotationsachse und der Bewegungsrichtung des Magneten parallel ist.
6. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach einem der Ansprüche 1-4, wobei die erste durchgehende Oberfläche des Substrats im Wesentlichen zu der Rotationsachse des Magneten senkrecht steht.
7. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach einem der Ansprüche 1-6, wobei die zumindest eine Sensoreinheit in einem ersten radialen Abstand von der Rotationsachse des Magneten angeordnet ist, wobei der erste radiale Abstand größer als ein Radius des Magneten ist.
8. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach einem der Ansprüche 1-7, wobei die zumindest eine Sensoreinheit in einem ersten radialen Abstand von der Rotationsachse des Magneten angeordnet ist, wobei der Magnet einen Ringzylinder mit einem ersten Innenradius, der größer als der erste radiale Abstand ist, umfasst.
9. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach einem der Ansprüche 1-8, wobei der Magnet in einer diametralen Richtung magnetisiert ist.

10. Magnetfeldbasierter Winkelsensor, wobei der Sensor umfasst:
einen um eine Rotationsachse rotierenden Magneten;
eine Vielzahl von Sensoreinheiten, die in der Nähe des Magneten und durch (360 Grad/n) voneinander beabstandet um die Rotationsachse angeordnet sind, wobei n die Anzahl der Sensoreinheiten ist und größer oder gleich 2 ist, wobei jede der Vielzahl von Sensoreinheiten zumindest zwei Magnetfeldsensorelemente umfasst, die jeweils auf dieselbe von dem Magneten erzeugte Magnetfeldkomponente ansprechen; und
eine an die Vielzahl von Sensoreinheiten gekoppelte Schaltung zum Bestimmen einer ersten groben Schätzung eines Rotationswinkels des Magneten für jede der Vielzahl von Sensoreinheiten aus einer Summe und einer Differenz von Ausgangssignalen der zumindest zwei Magnetfeldsensorelemente der jeweiligen Sensoreinheit, aus einem Abstand der zwei Magnetfeldsensorelemente der jeweiligen Sensoreinheit voneinander und einem Radialabstand der Magnetfeldsensorelemente der jeweiligen Sensoreinheit von der Rotationsachse und zum Bestimmen einer zweiten, präziseren Schätzung des Rotationswinkels des Magneten aus der Vielzahl von ersten groben Schätzungen.
11. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach Anspruch 10, wobei die Vielzahl von Sensoreinheiten in derselben Ebene angeordnet ist.
12. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach Anspruch 11, wobei die Ebene auf der Rotationsachse senkrecht steht.
13. Magnetfeldbasierter Winkelsensor nach einem der Ansprüche 10-12, wobei die Schaltung eine Speicherschaltung umfasst, die eingerichtet ist, Informationen, die sich auf ein Verhältnis zwischen einer Amplitude einer erfassten Magnetfeldkomponente und auf die Summe und/oder die Differenz für zumindest eine aus der Vielzahl von Sensoreinheiten beziehen, zu speichern.
14. Verfahren zum Bestimmen einer Winkelposition eines Magneten, wobei das Verfahren umfasst:
Bereitstellen einer Vielzahl von Sensoreinheiten, die in einer mit Bezug auf eine Rotationsachse des Magneten außeraxialen Konfiguration und entlang einer zu der Rotationsachse konzentrischen Kurve in einem Winkelabstand von 360 Grad/n, wobei n die Anzahl der Vielzahl von Sensoreinheiten ist, und in einer zu der Rotationsachse senkrecht stehenden Ebene angeordnet sind, wobei jede der Vielzahl von Sensoreinheiten zumindest zwei Magnetfeldsensorelemente umfasst, die jeweils auf dieselbe von dem Magneten erzeugte Magnetfeldkomponente ansprechen; Bestimmen einer ersten groben Schätzung eines Rotationswinkels des Magneten für jede der Vielzahl von Sensoreinheiten aus einer Summe und einer Differenz von Ausgangssignalen der zumindest zwei Magnetfeldsensorelemente der jeweiligen Sensoreinheit, aus einem Abstand der zwei Magnetfeldsensorelemente der jeweiligen Sensoreinheit voneinander und einem Radialabstand der Magnetfeldsensorelemente der jeweiligen Sensoreinheit von der Rotationsachse und Bestimmen einer zweiten, präziseren Schätzung des Rotationswinkels des Magneten aus der Vielzahl von ersten groben Schätzungen.
15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das Bereitstellen zudem ein Anordnen der Vielzahl von Sensoreinheiten auf einem einzelnen Substrat umfasst.
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Verfahren zudem ein Ausbilden einer Öffnung in dem Substrat umfasst, wobei eine die Rotationsachse definierende Welle durch die Öffnung im Wesentlichen senkrecht zu dem Substrat hindurchtritt.
17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei das Ausbilden der Öffnung zudem ein Ausbilden eines ersten Öffnungsabschnittes und eines zweiten Öffnungsabschnittes umfasst, wobei sich der zweite Öffnungsabschnitt von einem Umfang des Substrats zu dem ersten Öffnungsabschnitt erstreckt; und die Welle in dem ersten Öffnungsabschnitt durch das Hindurchtreten der Welle durch den zweiten Öffnungsabschnitt positioniert wird.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

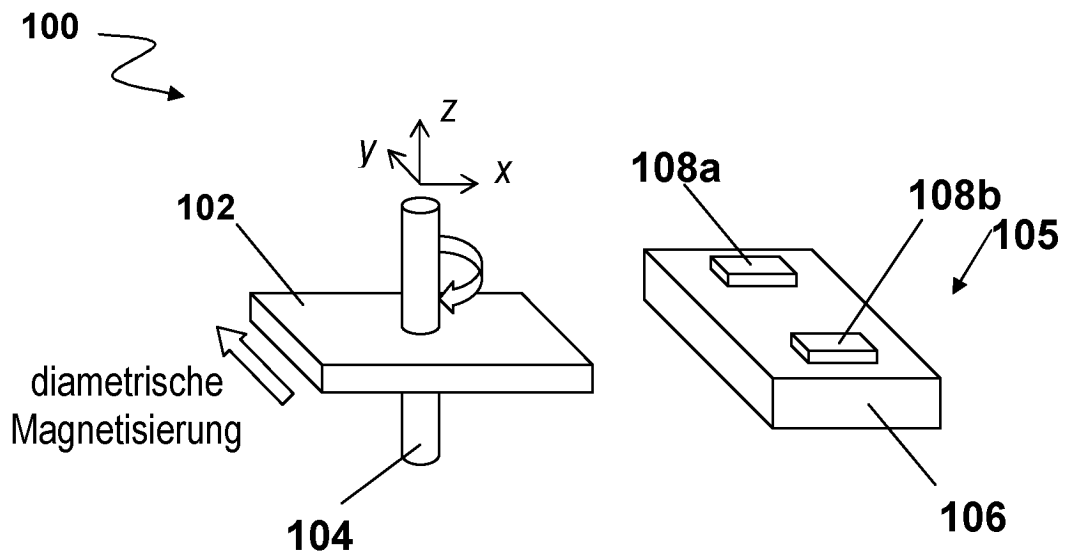


FIG. 1A

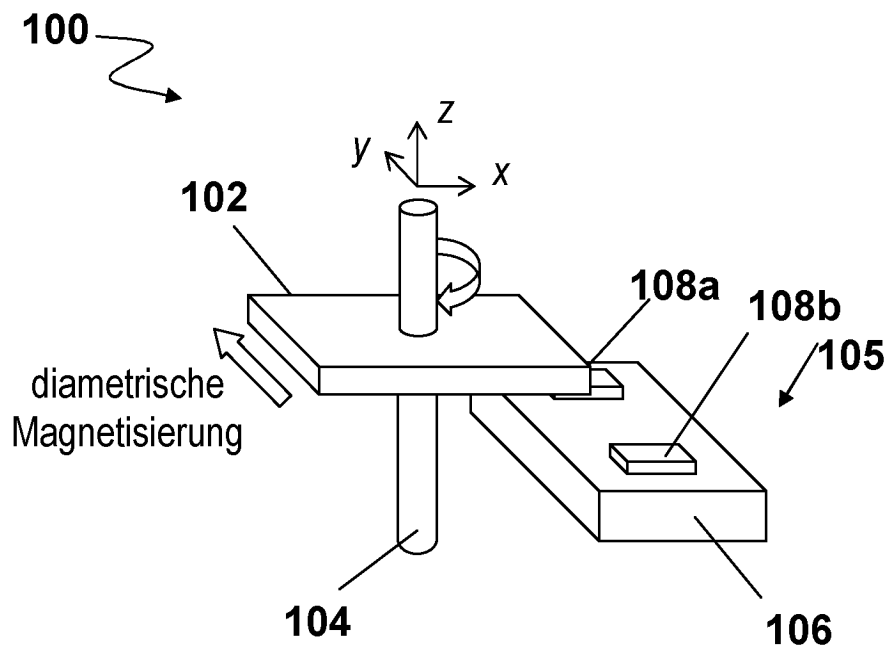


FIG. 1B

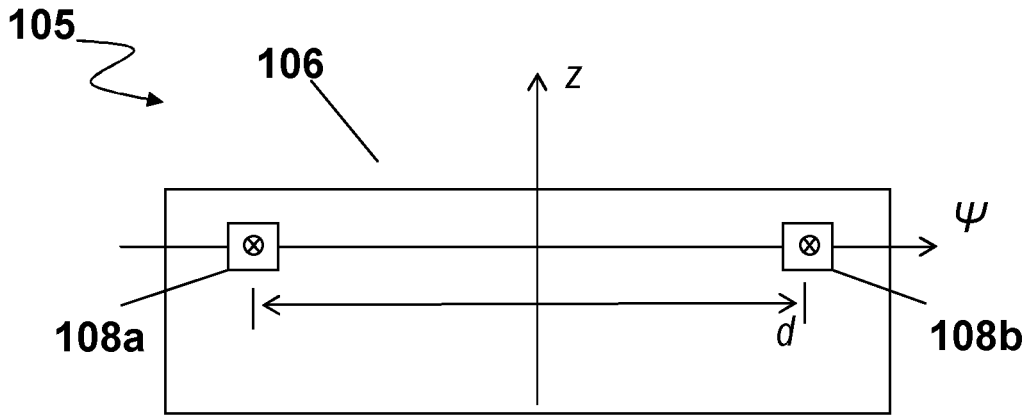


FIG. 2A

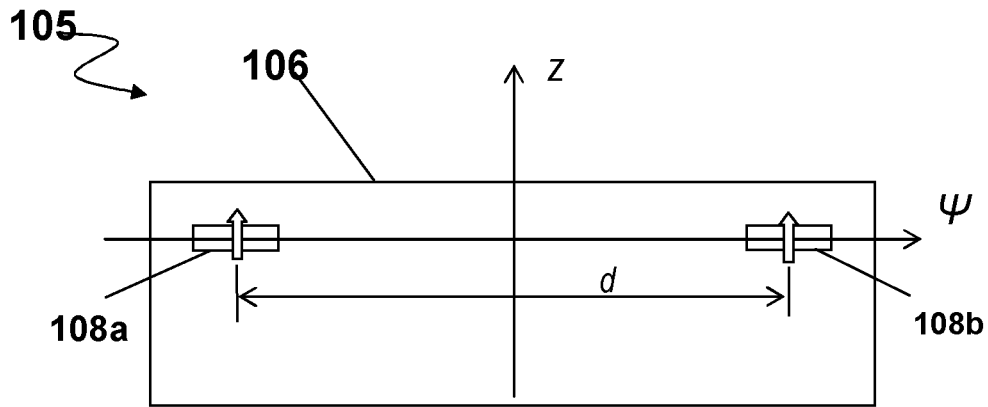


FIG. 2B

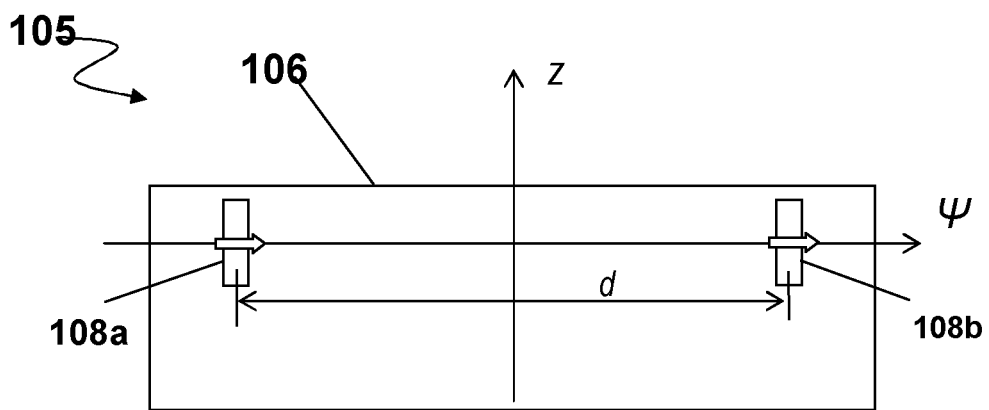


FIG. 2C

FIG 3A

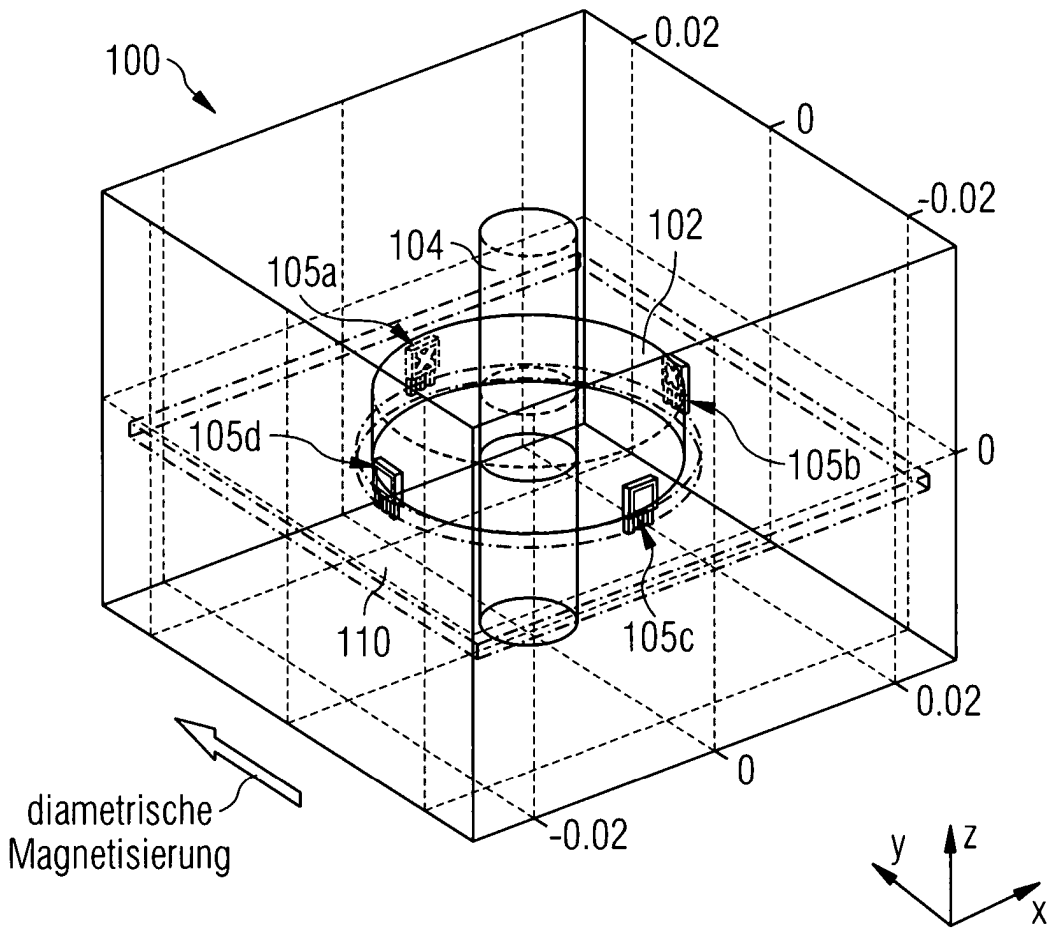


FIG 3B

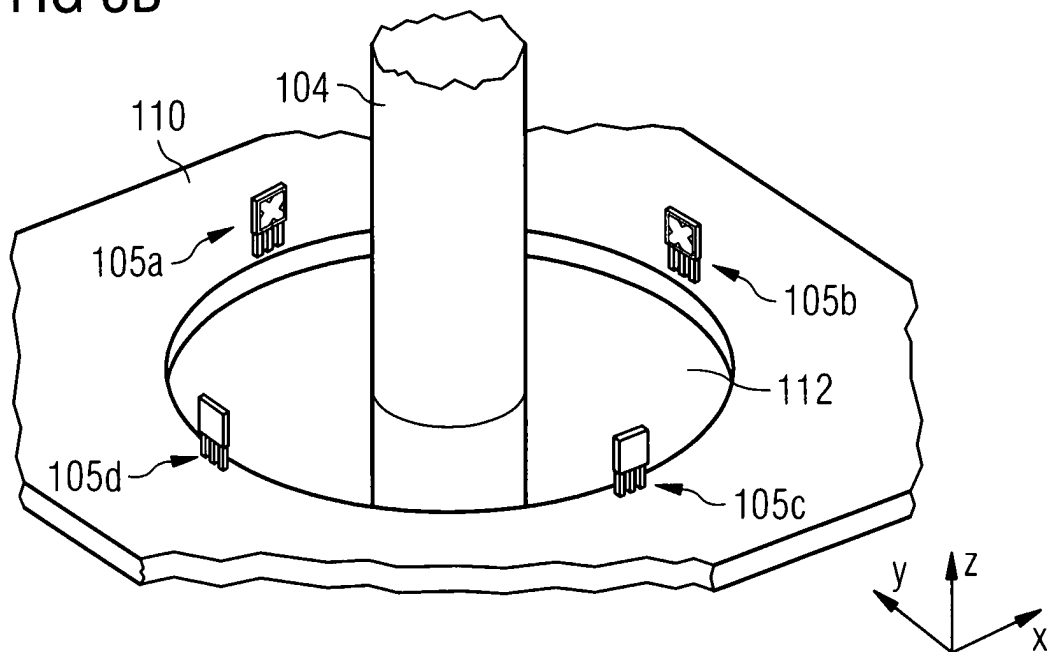


FIG 3C

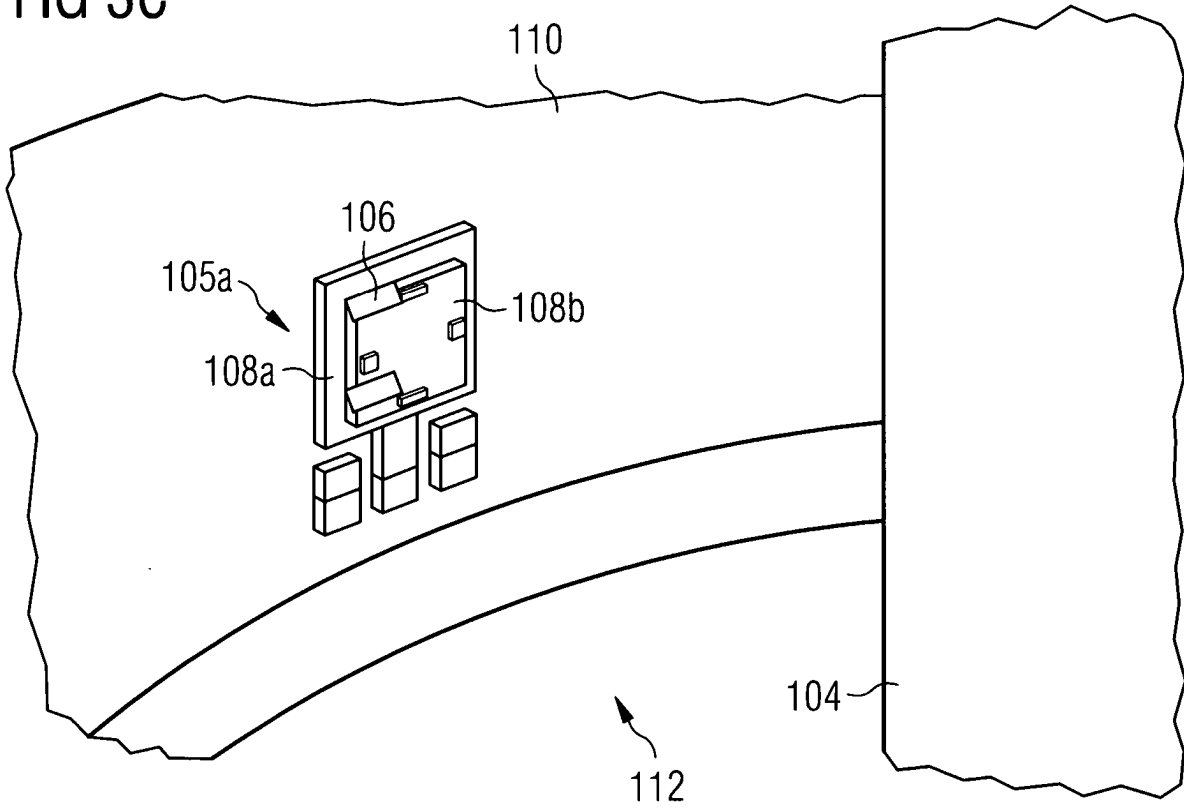
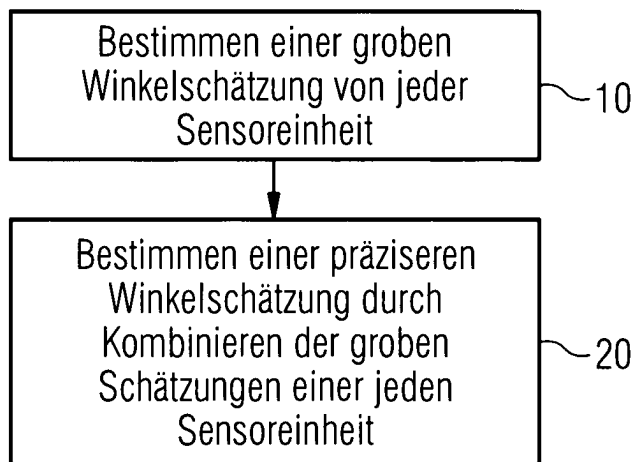


FIG 3D



5/11

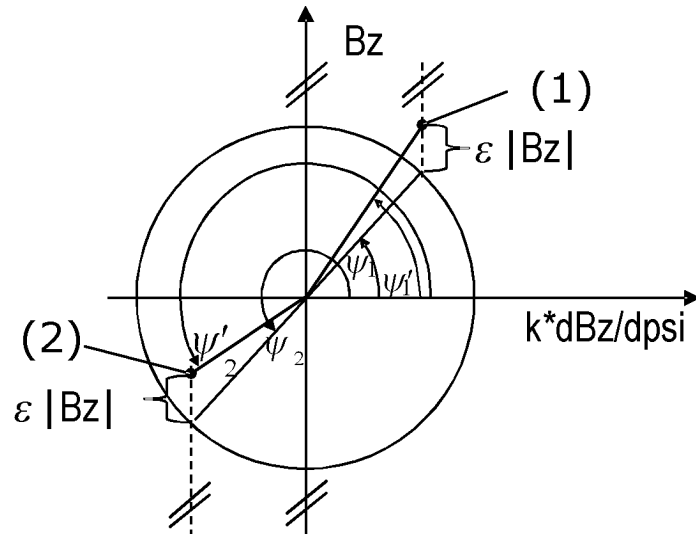


FIG. 4

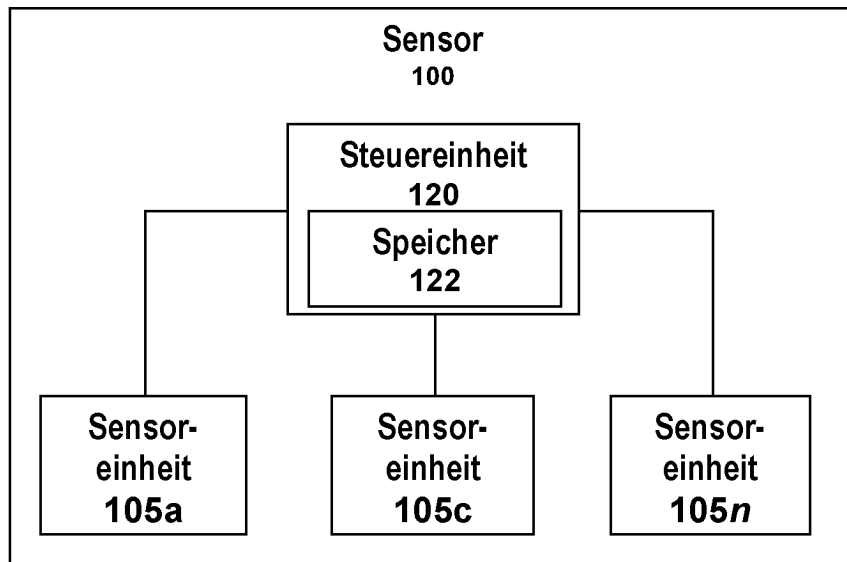


FIG. 5

FIG 6A

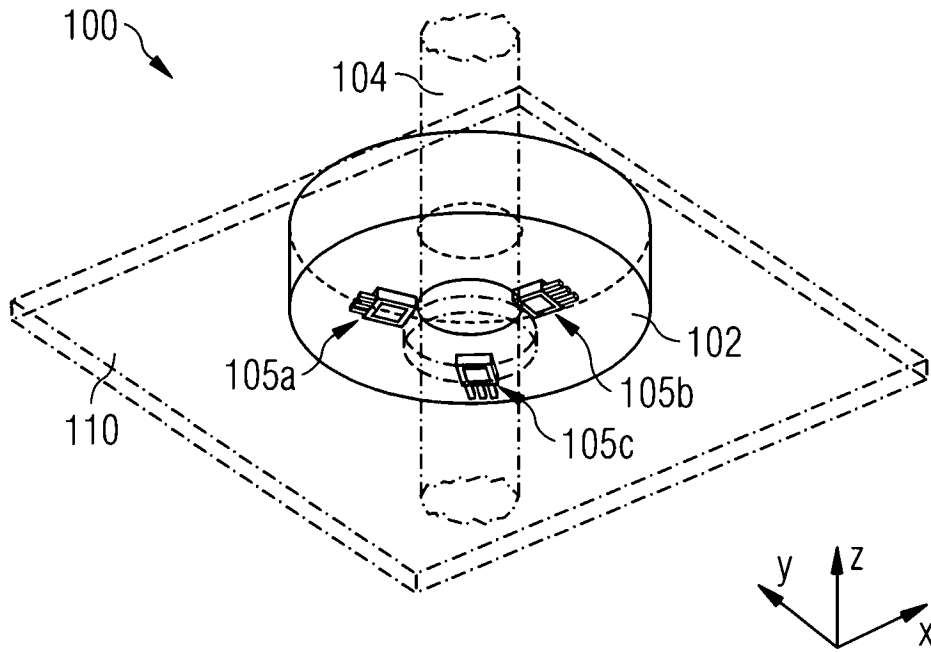


FIG 6B

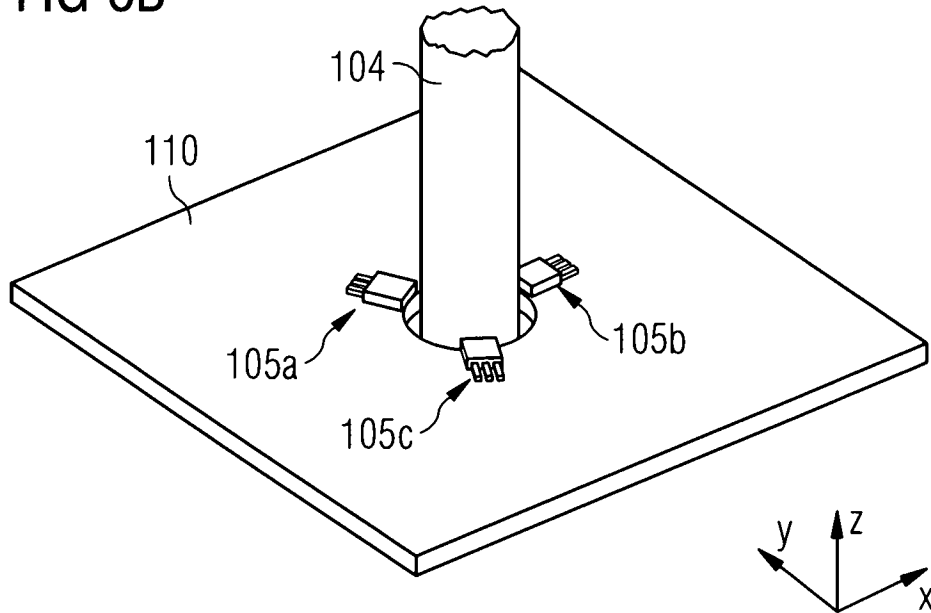


FIG 6C

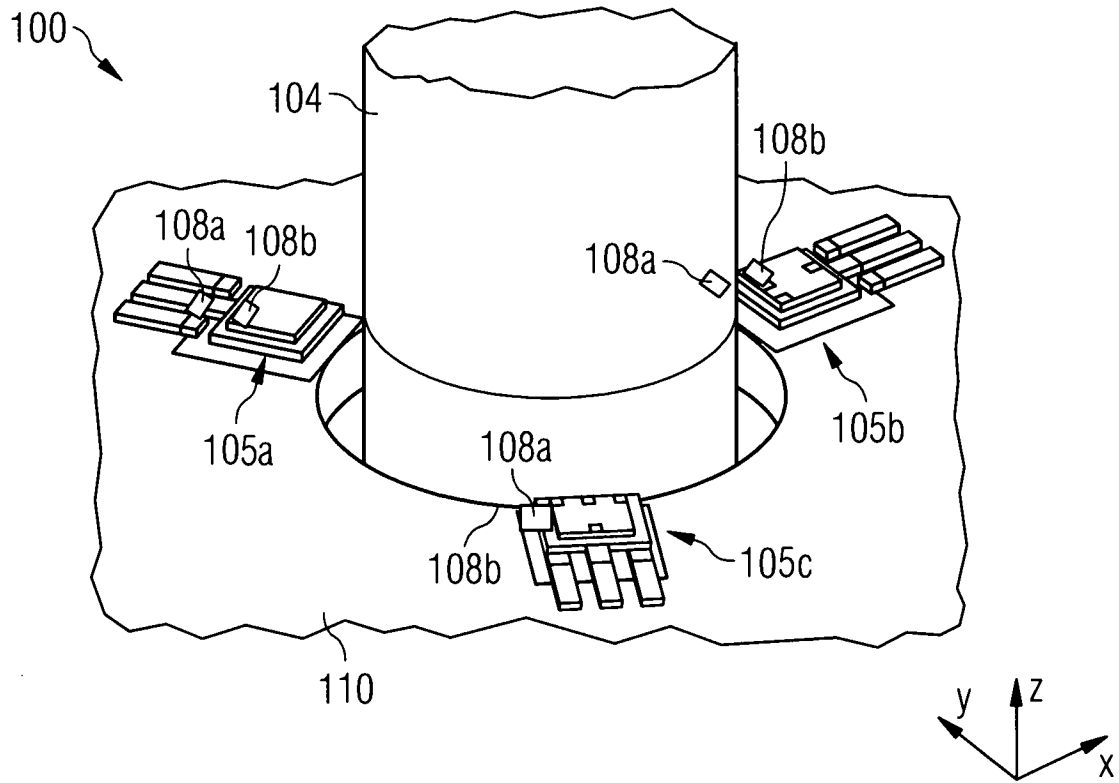


FIG 6D

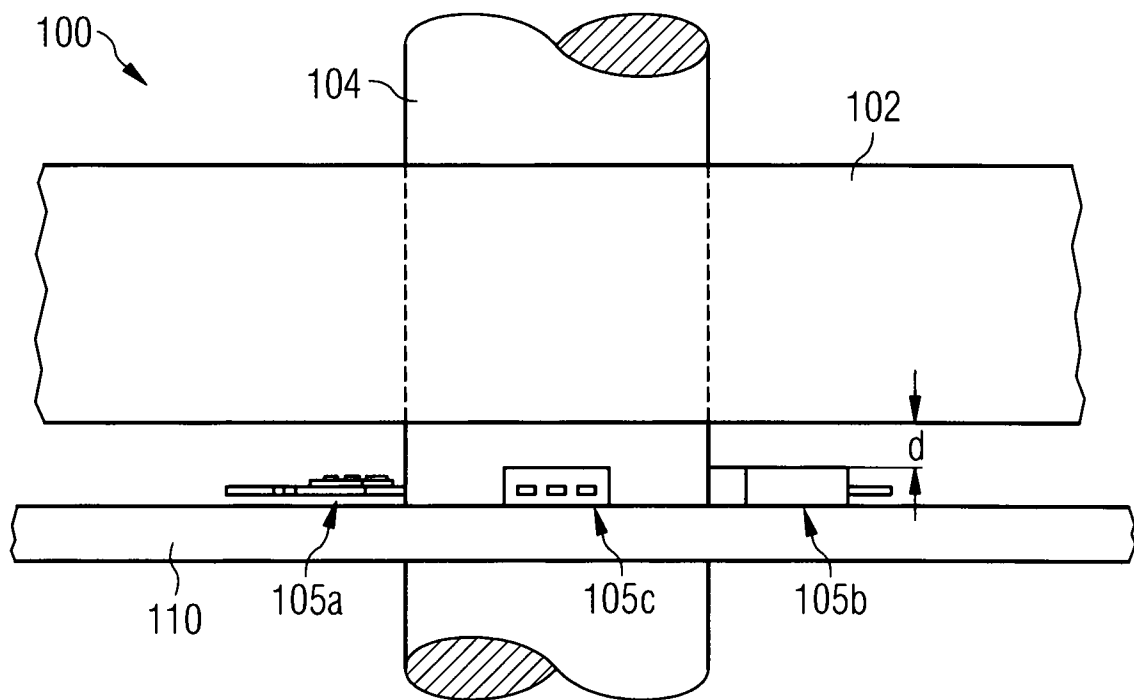


FIG 7A

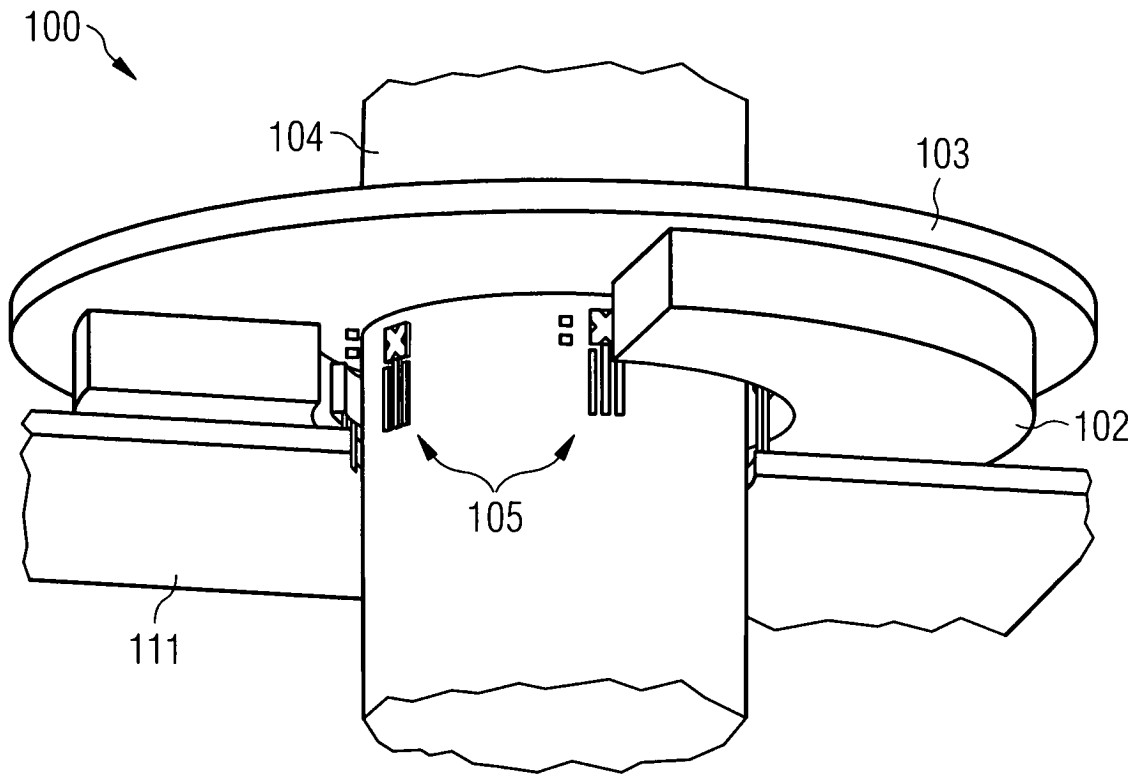
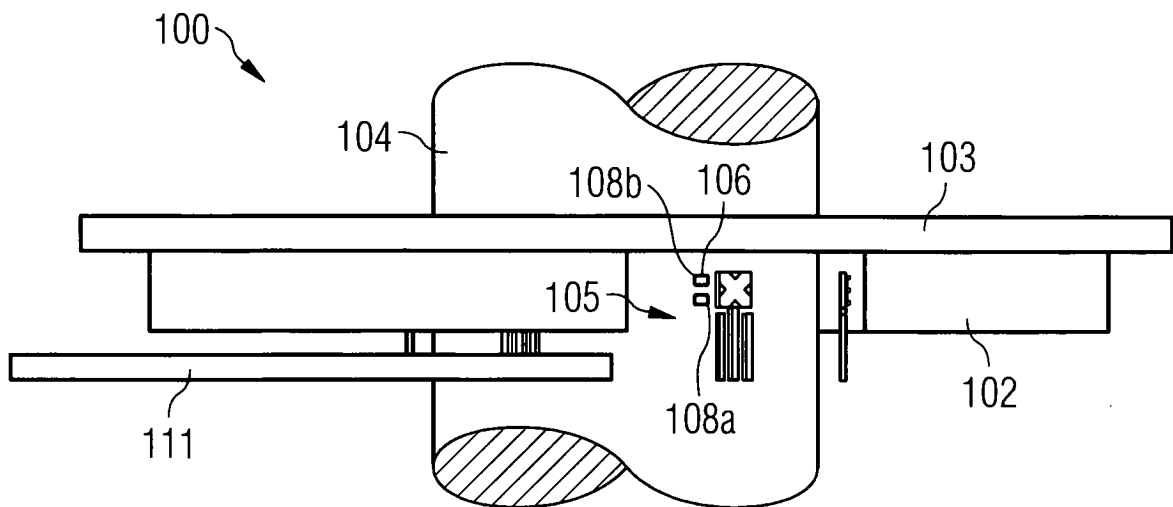


FIG 7B



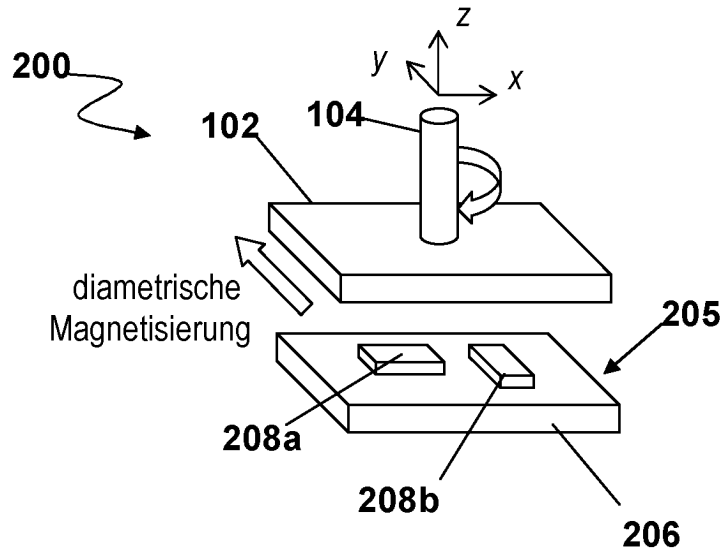


FIG. 8

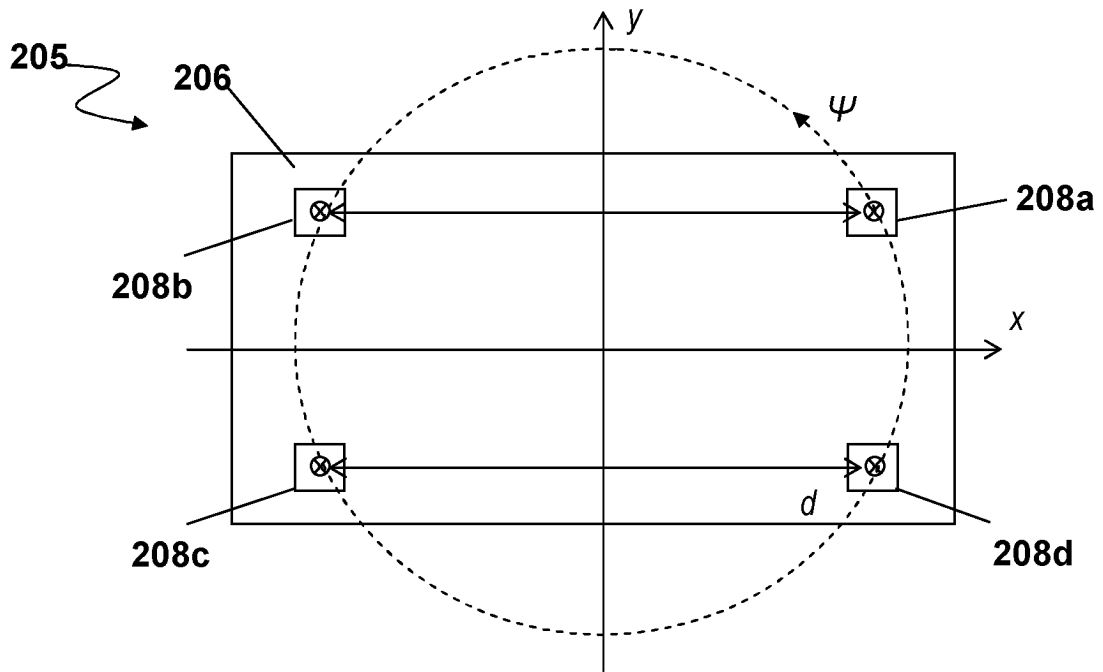


FIG. 9

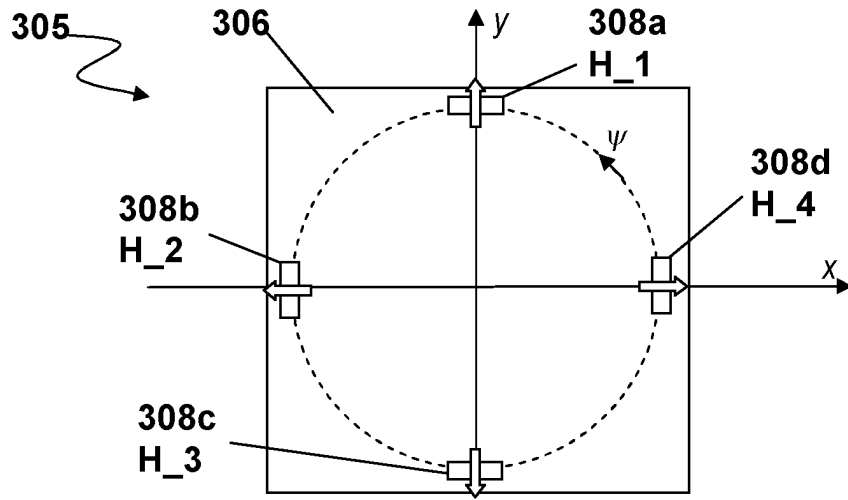


FIG. 10A

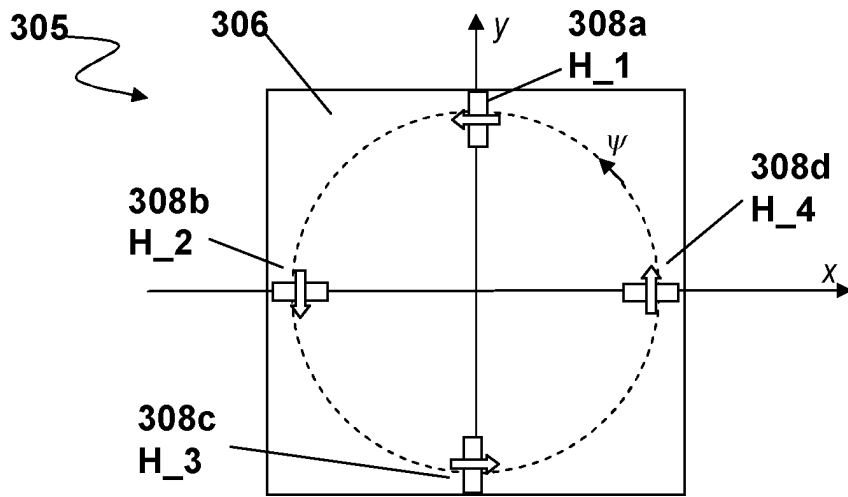


FIG. 10B

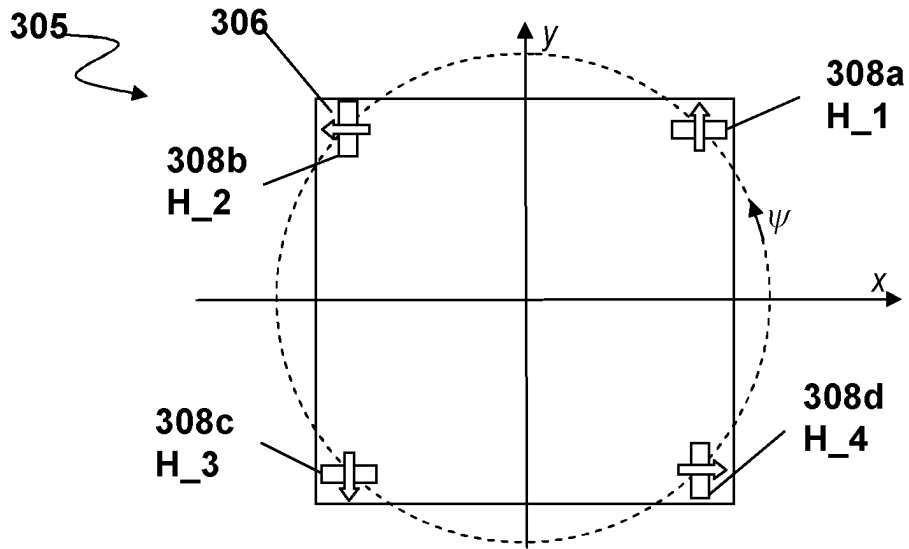


FIG. 10C

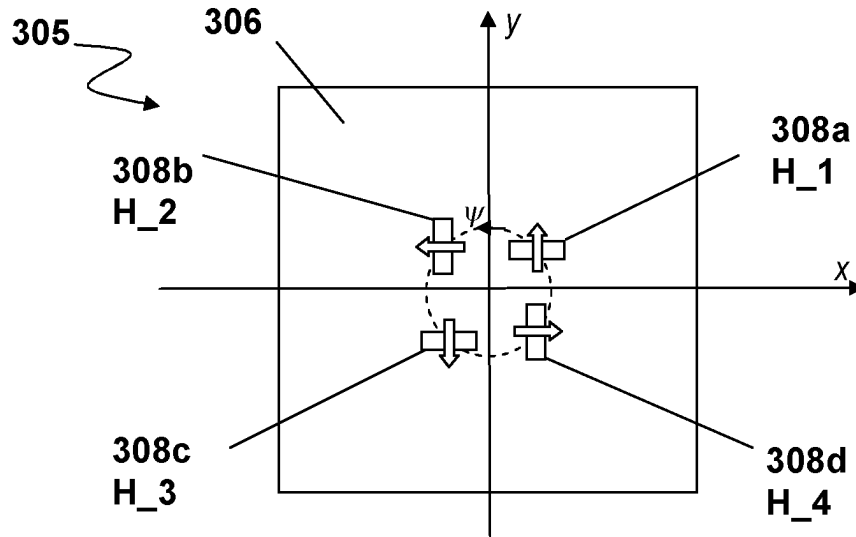


FIG. 10D