



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 014 509 B4** 2007.09.13

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 014 509.4**

(22) Anmeldetag: **30.03.2005**

(43) Offenlegungstag: **05.10.2006**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **13.09.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 7/30 (2006.01)**

G01B 7/02 (2006.01)

G01D 5/14 (2006.01)

Innerhalb von drei 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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
austriamicrosystems AG, Unterpremstätten, AT

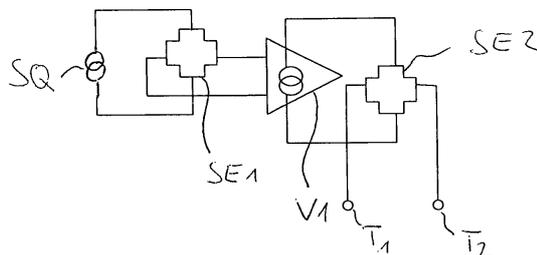
(74) Vertreter:
**Epping Hermann Fischer,
Patentanwaltsgesellschaft mbH, 80339 München**

(72) Erfinder:
Forsyth, Richard, Graz, AT

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
**DE 195 38 490 C1
US2004/00 61 494 A1
WO 03/0 60 537 A1**

(54) Bezeichnung: **Sensoranordnung und Verfahren zur Bestimmung eines Drehwinkels**

(57) Hauptanspruch: Sensoranordnung zur Bestimmung eines Ortsparameters eines sich entlang eines vorgegebenen Pfades bewegenden Körpers (K) am Ort X,
– bei der ein erster Sensor (SE1) an einer ersten Sensorposition relativ zum Wert X vorgesehen ist, der ein erstes Sensorsignal erzeugt, das proportional zum Wert $\sin(X)$ ist,
– bei der ein erster Verstärker (V1) vorgesehen ist, der aus dem ersten zu $\sin(X)$ proportionalen Sensorsignal einen ersten Steuerstrom generiert,
– bei der ein gleich aufgebauter zweiter Sensor (SE2) an einer zweiten Sensorposition relativ zum Wert X vorgesehen ist,
– bei der der zweite Sensor (SE2) mit dem Steuerstrom beaufschlagt ist, der von dem ersten Verstärker generiert wird.



Beschreibung

[0001] Es ist bekannt, den aktuellen Drehwinkel eines rotierenden Körpers mithilfe von magnetischen Hallelementen zu detektieren, die entlang einem Kreisumfang angeordnet sind, auf dessen Mittelpunkt die Rotationsachse senkrecht steht. Dem Körper wird dazu ein magnetisches Feld zugeordnet, z.B. durch Verbinden mit einem Magneten, dessen Feldstärke am Sensorort mit einer Sinusabhängigkeit vom Drehwinkel variiert. Die Hallelemente erzeugen dabei eine elektrische Spannung, die sogenannte Hallspannung, die sowohl proportional zum Magnetfeld als auch zum BIAS-Strom der Hallelemente ist, entsprechend der Formel für den Halleffekt:

$$V_h = B \times I \times R_h$$

wobei V_h die Hallspannung, B das Magnetfeld, I der BIAS-Strom und R_h eine Konstante für den Hallsensor ist. Üblicherweise werden Hallsensoren mit identischen beziehungsweise angepassten konstanten BIAS-Strömen betrieben. Zur Detektion des Magnetfeldes eines einfachen Zweipolmagneten können zwei Hallsensoren verwendet werden, die zwei differenzielle Signale liefern und beispielsweise eine Abhängigkeit vom Sinus beziehungsweise vom Cosinus des zu bestimmenden Drehwinkel aufweisen.

[0002] Eine Sensoranordnung mit Hallelementen ist beispielsweise aus der WO 03/060537 A1 bekannt. Die einzelnen Sensoren der Sensoranordnung sind mit Signalmodulatoren verbunden, über die eine Verknüpfung der einzelnen Sensorsignale möglich ist, wobei der zu detektierende Parameter aus der Gesamtheit mehrerer Einzelsignale bestimmt wird.

[0003] Aus US 2004/0061494 A1 ist eine Sensoranordnung zur Bestimmung eines Ortsparameters eines sich entlang eines vorgegebenen Pfades bewegenden Körpers mittels Hallsensoren bekannt, bei der zur Kompensation von Störgrößen ein oder mehrere gegeneinander versetzt angeordnete Paare von Hallsensoren kaskadiert sind, wobei das verstärkte Ausgangssignal eines ersten Hallsensors als Steuergröße für den zweiten Hallsensor eingesetzt wird.

[0004] Aus DE 195 38 490 C1 ist eine Sensoranordnung zur Bestimmung eines Ortsparameters eines sich entlang eines vorgegebenen Pfades bewegenden Körpers mittels Magnetsensoren bekannt, bei der zwei Paare von Sensoren derart kaskadiert sind, dass jeweils aus dem Ausgangssignal des ersten Sensors mittels eines Verstärkers ein Steuerstrom für den zweiten Sensor generiert wird, wobei die kaskadierten Sensoren im selben Feld angeordnet sind und die Sensoren der ersten Stufe um 90° phasenverschobene sinusförmige Signale liefern.

[0005] In typischen Anwendungen werden die erhaltenen Sensorsignale (Hallspannungen) verstärkt. Um eine genaue Bestimmung des Winkels bzw. höhere Auflösung bei der Winkelbestimmung zu erhalten, wird üblicherweise eine Interpolation durchgeführt. Diese kann in einem IC erfolgen, dessen Funktion ähnlich einem Analog/Digital-Konverter ausgebildet ist, indem die analogen Sinus- und Cosinussignale in analoge oder digitale Signale konvertiert werden, die eine höhere Kreisfrequenz als die des zu bestimmenden rotierenden Körpers aufweisen. Ein bekannter Sensor hat beispielsweise einen Zehn-Bit-Ausgang, der eine 256-fache Interpolation erfordert.

[0006] Zur Interpolation können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden. Eine erste Möglichkeit besteht darin, die Sensorsignale mithilfe konventioneller Analog/Digital-Wandler in digitale Werte umzuwandeln, die proportional zum entsprechenden Sensorsignal, also proportional zum Sinus- oder Cosinuswert des Drehwinkels sind. Die digitalen Werte können dann in digitalen Arbeitstabellen wie zum Beispiel CORDIC verarbeitet werden und liefern zum zu bestimmenden Drehwinkel proportionale, digitale Signale.

[0007] Ein zweites Verfahren nutzt die Sensorsignale, wandelt diese direkt in digitale Werte um, wobei ein speziell ausgebildeter Analog/Digital-Wandler eingesetzt wird, der die richtige trigonometrische Charakteristik aufweist. Als Ergebnis werden digitale Werte erhalten, die direkt proportional zu dem zu bestimmenden Winkel sind.

[0008] Gemäß einem dritten bekannten Verfahren werden die Sensorsignale im analogen Bereich verarbeitet, um wiederum ein analoges Signal mit einer vervielfachten Kreisfrequenz zu erhalten. Dies kann beispielsweise mit einem symmetrischen Mischerschaltkreis erfolgen, wie er in Endgeräten der drahtlosen Kommunikation üblich ist. Das Prinzip eines solchen symmetrischen Mischers wird von den beiden folgenden Gleichungen bestimmt:

$$\sin 2\theta = 2 \sin\theta \cos\theta$$

$$\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta$$

wobei $\sin\theta$ und $\cos\theta$ die Sensorsignale und $\sin 2\theta$ und $\cos 2\theta$ die am Mischerauszgang erhaltenen Nutzsignale sind, die gegenüber der Rotation des Körpers die doppelte Kreisfrequenz aufweisen. Es ist klar, dass die Funktion und die Qualität eines symmetrischen Mischers von der Fähigkeit des Mischers abhängig sind, eine Multiplikation, Addition und Subtraktion im analogen Bereich zu implementieren. Ein Mischer für drahtlose Kommunikationsanwendungen arbeitet üblicherweise mit konstanten Frequenzen und benötigt entsprechend schmalbandig ausgelegte Schaltungen. Im Gegensatz dazu kann bei einem Drehwinkelsensor die Frequenz von null (keine Rotation) bis zu einer gegebenen maximalen Drehgeschwindigkeit variieren. Dies macht es zusätzlich notwendig, die entsprechenden Schaltkreise breitbandig auszulegen. Mithilfe einer einzelnen Mischerstufe wird im Ergebnis die am Ausgang des Mischers erhaltene Kreisfrequenz gegenüber dem Eingangssignal verdoppelt. Nach einer oder mehreren Mischerstufen kann das Signal dann mit den weiter oben bereits beschriebenen digitalen Methoden verarbeitet werden. Alternativ ist es auch möglich, die am Mischerauszgang erhaltenen Analogsignale direkt zur Drehwinkelbestimmung zu nutzen.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Sensoranordnung zur Bestimmung eines Ortsparameters entlang eines vorgegebenen Pfades und insbesondere zur Bestimmung eines Drehwinkels anzugeben, die einfach aufgebaut ist und eine verbesserte Interpolation erlaubt.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Sensoranordnung mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sowie ein Verfahren zur Bestimmung des Drehwinkels sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

[0011] Grundlegende Idee der Erfindung ist es, den gesuchten Ortsparameter über den Wert einer physikalischen Größe zu bestimmen, die entlang des vorgegebenen Pfades eine sinusförmige Funktion ergibt. Es soll nun eine Möglichkeit geschaffen werden, die Kreisfrequenz (bezogen auf eine der sinusförmigen Funktion entsprechende Rotation) auf analoger Stufe in der Sensoranordnung integriert zu vervielfachen und dazu die Proportionalität des Sensorverhaltens zu einem BIAS-Strom zu nutzen. Dazu wird in der Sensoranordnung das Sensorsignal eines ersten Sensors zur Generierung eines BIAS-Stroms für einen zweiten Sensor eingesetzt und dadurch eine Multiplikation der beiden Sensorsignale implementiert. Jeder Sensor detektiert dabei die physikalische Größe, z.B. ein Magnetfeld, das über den vorgegebenen Pfad sinusförmig variiert. Aus dem Wert der physikalischen Größe kann dann der zu bestimmende Ortsparameter abgeleitet werden.

[0012] Eine geeignete Sensoranordnung umfasst daher zumindest

- einen ersten und
- einen zweiten Sensor, die jeweils ein vom Sinus des Ortsparameters abhängiges Sensorsignal liefern, und
- einen ersten Verstärker, der aus dem ersten Sensorsignal einen ersten Steuerstrom generiert, der an den BIAS-Eingang des zweiten Sensors angelegt wird.

[0013] Am zweiten Sensor kann dann ein von $\sin 2X$ abhängiges zweites Sensorsignal erhalten werden. Dies erlaubt die Bestimmung des dazugehörigen zu bestimmenden Ortsparameters am Ort X mit der doppelten Genauigkeit, da $\sin 2X$ mit der doppelten Genauigkeit bezüglich X verarbeitet werden kann wie die einfache Sinusfunktion $\sin X$. Der Ortsparameter ist z.B. eine Teilstrecke entlang des vorgegebenen Pfades oder der Drehwinkel eines rotierenden Körpers. Mit der Sensoranordnung gelingt es daher auch, die zeitliche Veränderung des Orts oder Winkels, also die Geschwindigkeit des Körpers bei seiner Bewegung entlang des Pfades oder seine Frequenz mit verbesserter Genauigkeit zu bestimmen.

[0014] Für die Sensoranordnung können Sensoren eingesetzt werden, die ein Sensorsignal mit sinusförmiger Abhängigkeit von einer zu bestimmenden Größe, insbesondere einem Drehwinkel oder Ort aufweisen. Prinzipiell geeignet sind dazu elektrische oder magnetische Sensoren, insbesondere jedoch Hallsensoren, die eine perfekt lineare Abhängigkeit vom Magnetfeld und dem BIAS-Strom liefern können.

[0015] Die Anwendung der Sensoranordnung zur Bestimmung eines Orts auf einem vorgegebenen Pfad relativ zu einem gegebenen Ausgangspunkt ist dabei analog zur Bestimmung eines Drehwinkels, da eine Strecke als radiale Projektion eines Kreisbogens auf eine Gerade angesehen werden kann. Somit lässt sich aus der Strecke der dazugehörige Kreisbogen bzw. der dazugehörige Drehwinkel ableiten und umgekehrt. Es ist sogar möglich, mit der Sensoranordnung den Ort auf einer nicht linearen und beliebig und variierend gekrümm-

ten Strecke zu bestimmen, wenn der Verlauf der Strecke bekannt ist und sich jeder Ort entlang der Strecke auf einem Kreisbogen eindeutig abbilden lässt.

[0016] Vorteilhaft ist es, ein entlang des Pfades sinusförmig variierendes Magnetfeld vorzusehen. Dies gelingt durch alternierende Anordnung zweipoliger Magnetelemente entlang des Pfades. Durch eine Relativbewegung von Sensoranordnung und der Anordnung der Magnetelemente ändert sich der Wert des auf die Sensoranordnung einwirkenden Magnetfelds (entspricht hier der physikalischen Größe) mit sinusförmiger Abhängigkeit vom Ortsparameter X .

[0017] Zur Bestimmung eines Drehwinkels genügt ein einziges zweipoliges Magnetelement, das relativ zur Sensoranordnung rotiert.

[0018] Es bestehen grundsätzlich die Möglichkeiten die Sensoranordnung ortsfest zu belassen und die Anordnung des oder der Magnetelemente dagegen zu bewegen oder umgekehrt die Sensoranordnung relativ zur ortsfesten Anordnung von Magnetelementen zu bewegen.

[0019] Der erste und der zweite Sensor sind so miteinander verknüpft, dass das Sensorsignal des ersten Sensors als Multiplikator für das Sensorsignal des zweiten Sensors dienen kann. Bei einem Hallsensor kann dies in einfacher Weise durch Beaufschlagung des zweiten Hallsensors mit einem zum Sensorsignal des ersten Sensors proportionalen Steuerstrom (BIAS-Strom) erfolgen. Bei anderen Sensoren kann der BIAS-Strom auch in einen Verstärker eingespeist werden, der das Sensorsignal proportional zum BIAS-Strom verstärkt. In allen Fällen liefert die Sensoranordnung am zweiten Sensor als Sensorsignal eine Funktion $\sin 2X$, die eine doppelte Genauigkeit bei der Zuordnung des Drehwinkels bzw. Ortsparameters aus dem Sensorsignal des zweiten Sensors ermöglicht.

[0020] Möglich ist es auch, weitere Sensoren vorzusehen und entsprechend zu kaskadieren. Solche Anordnungen können dann n Kaskadenstufen umfassen, in denen zumindest je ein Sensor angeordnet ist. Die Sensoren sind an unterschiedlichen Sensorpositionen bezüglich des Drehwinkels X oder dem dazu korrespondierenden Ortsparameter entlang eines Pfades vorgesehen, z.B. entlang einer Geraden. In der Kaskade sind die Sensoren so miteinander verschaltet, dass jeder Sensor einer Kaskadenstufe m (mit $1 < m \leq n$) mit einem BIAS-Strom beaufschlagt ist, der aus dem Sensorsignal eines Sensors einer darunter liegenden Kaskadenstufe z.B. aus dem Sensorsignal der Stufe $m-1$ generiert ist. Die Anzahl n ist beispielsweise 2 oder 3. Möglich sind aber auch bis zu 5 oder noch mehr Kaskadenstufen. Mit jeder Kaskadenstufe erhöht sich der Faktor, mit dem die Kreisfrequenz multipliziert wird und mit dem also die Genauigkeit bei der Bestimmung des Drehwinkels verbessert wird, jeweils um eins. Bei n Kaskadenstufen wird daher an der n -ten Kaskadenstufe ein Sensorsignal erhalten, welches proportional zum Wert $\sin(nX)$ ist.

[0021] Vorteilhaft ist es, auf der ersten Kaskadenstufe zumindest zwei Sensoren vorzusehen. Dies ermöglicht es, auf der ersten Kaskadenstufe mit den ersten Sensoren zwei unterschiedliche Sensorsignale zu erzeugen, von denen eines eine Abhängigkeit von $\sin X$ und das andere vorteilhaft eine Abhängigkeit von $\cos X$ aufweist, so dass die Sensoren zwei zueinander orthogonale Funktionen liefern können. Denn nur mit mindestens zwei Sensorsignalen ist eine exakte Bestimmung des Ortsparameters X möglich. Zwei unterschiedliche Sensorsignale stehen in einem Verhältnis zueinander, aus dem sich ohne zusätzlichen Referenzwert exakt der Ortsparameter des Ortes X bestimmen lässt.

[0022] In der Kaskade können dann in der zweiten Kaskadenstufe zumindest vier Sensoren vorgesehen sind. Diese können dann wahlweise mit einem BIAS-Strom beaufschlagt werden, der aus den jeweiligen in der ersten Stufe generierten und zu $\sin X$ oder zu $\cos X$ proportionalen Steuersignalen erhalten werden kann. Als BIAS Strom kann z.B. jeweils ein Steuerstrom der vorigen Kaskadenstufe eingesetzt werden. Möglich ist es aber auch, den BIAS Strom durch Addition oder Subtraktion unterschiedlicher Steuerströme zu erzeugen, was durch entsprechende Verschaltung der Stromleitungen besonders einfach realisiert werden kann.

[0023] Werden zusammen mit einer solchen Verschaltung auch noch geeignete Anordnungen der einzelnen Sensoren bezüglich ihrer Sensorposition relativ zum Drehwinkel X gewählt, so kann mit dieser Anordnung eine perfekt symmetrische Mischerfunktion implementiert werden.

[0024] Eine mit Hallsensoren arbeitende Sensoranordnung hat gegenüber bekannten Anordnungen zum Bestimmen des Drehwinkels den Vorteil, dass die Hallelemente sehr gute lineare Eigenschaften aufweisen und sich daher gut als Multiplikationselemente verwenden lassen. Darüber hinaus können als Verstärker Transimpedanzverstärker verwendet werden, deren Verhalten wohl bekannt und verstanden ist, und die gut in her-

kömmlicher CMOS-Technologie realisiert werden können.

[0025] In einer bevorzugten Ausführung ist die gesamte Sensoranordnung und die zugehörigen elektronischen Schaltkreise in einem einzigen integrierten Schaltkreis (IC) integriert, der eine mechanisch und räumlich stabile Beziehung zwischen den Sensorpositionen der einzelnen Hallsensoren mit den technischen Vorteilen integrierter Schaltkreise kombiniert.

[0026] Der integrierte Schaltkreis kann außerdem mit komplexeren Funktionen ausgestattet sein, beispielsweise mit einer Hallelement Offset Unterdrückung (Offset Cancellation), beispielsweise durch Stromrichtungs-drehen (Current Spinning).

[0027] Sind die Sensoren in einer Kaskade mit jeweils mehreren Sensoren pro Kaskadenstufe angeordnet, so sind zur Bestimmung eines Drehwinkels die Sensoren einer Stufe vorzugsweise alle auf dem Umfang eines Kreises angeordnet, der die Rotationsachse des Körpers zum Mittelpunkt hat. Sensoren anderer Kaskadenstufen können demgegenüber eine andere Entfernung zur Rotationsachse aufweisen, besitzen innerhalb einer Kaskadenstufe jedoch jeweils die gleiche Entfernung zur Achse.

[0028] Sensoren zur Bestimmung des Ortsparameters entlang eines nicht kreisförmigen und insbesondere linearen Pfads sind vorzugsweise ebenfalls linear angeordnet.

[0029] Die Sensoranordnung beziehungsweise der integrierte Schaltkreis kann auch bezüglich des BIAS-Stroms im Zeitmultiplex auf einer einzigen Kaskadenstufe betrieben werden. Dazu wird aus dem ersten Sensorsignal ein Steuerstrom generiert und zeitlich versetzt (also im Zeitmultiplex) als BIAS Strom an den ersten Sensor angelegt werden. Dazu ist allerdings Voraussetzung, dass das Umschalten im Zeitmultiplexbetrieb wesentlich schneller erfolgt als die mechanische Rotationsgeschwindigkeit, um keine zusätzliche Fehlerquelle zu schaffen.

[0030] Die Sensoranordnung kann so aufgebaut sein, dass die Summe aller BIAS-Ströme unabhängig vom Eingangs- oder Ausgangssignal der Anordnung ist, sodass eine gute analoge Performance im Schaltkreis und in der Sensoranordnung erreichbar ist und dass der Stromverbrauch nahezu konstant ist.

[0031] Die Sensoranordnung kann in Drei-Phasen-Anwendungen, beispielsweise als Kommutator in Elektromotoren eingesetzt werden. Die Erfindung stellt eine außergewöhnlich elegante weil integrierte und exakte Methode dar, eine mehrfache Interpolation der Sensoren durchzuführen, die mit äußeren Schaltkreisen bei Weitem nicht so effizient durchgeführt werden kann.

[0032] Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung ist die Auswahl der Sensorpositionen für die Sensoren innerhalb einer Kaskadenstufe. Sind auf einer Kaskadenstufe k Sensoren vorgesehen, wobei $k \geq 2$, so ist eine Verteilung dieser Sensoren entlang eines Kreisumfangs vorteilhaft, bei der die Sensoren in ihrer Drehwinkelbeziehung gegeneinander versetzt sind. Vorteilhaft sind die Sensorpositionen so gewählt, dass pro Kaskadenstufe je ein Sensor ein von $\sin X$ und je ein Sensor ein von $\cos X$ abhängiges Sensorsignal liefern kann, bzw. dass die Sensoren zwei zueinander orthogonale Funktionen liefern. Es ist aber auch möglich, die Sensoren linear anzuordnen, wenn damit eine Bestimmung eines Ortes auf einem linearen Pfad bestimmt werden soll. Der Abstand der Sensoren ist dann vorteilhaft dem Abstand der Magnetelemente angepasst, um auch hier die geeigneten orthogonalen Phasenbeziehungen zu gewährleisten.

[0033] Die optimale Verteilung der Sensoren jeder Stufe ermöglicht eine Verfolgung der Rotationsbewegung oder der dazu korrespondierenden „linearen“ Bewegung des Körpers in verschiedenen relativ zueinander festgelegten Phasenverhältnissen, sodass über die von den unterschiedlichen Sensoren gelieferten unterschiedlichen Sensorsignale eine optimale Zuordnung des Drehwinkels bzw. der analogen Entfernung aus der Vielzahl von einzelnen Sensorsignalen möglich ist. Wie bereits erwähnt, kann die Anzahl der Sensorsignale, die jeweils den gleichen Drehwinkel jedoch bei unterschiedlicher Phase angeben, durch Kombination einzelner Sensorsignale mittels Addition und Subtraktion der Steuerströme weiter erhöht werden. Dies ist in einfacher Weise durch serielle und parallele Verschaltung der Sensorsignale beziehungsweise der daraus generierten Steuerströme möglich und somit einfach implementierbar.

[0034] Die von der Sensoranordnung gelieferte Information, also die Sensorsignale der letzten Kaskadenstufe oder die Steuerströme, die aus diesen Sensorsignalen der letzten Kaskadenstufe generiert werden, werden zur Bestimmung des Drehwinkels einer Auswerteeinheit zugeführt, die gemäß einem der eingangs genannten Prinzipien gehorcht und aus den analogen Signalen den digitalen Wert für den zu bestimmenden Drehwinkel

ergibt.

[0035] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und den dazu gehörigen Figuren näher erläutert. Die Figuren dienen allein dem besseren Verständnis der Erfindung, sind daher nur schematisch und nicht maßstabsgetreu ausgeführt. Die Erfindung ist daher auch nicht auf die Ausführungsbeispiele beschränkt. Gleiche oder gleich wirkende Teile sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

[0036] [Fig. 1](#) zeigt eine Sensoranordnung aus zwei Sensoren im elektrischen Schaltbild,

[0037] [Fig. 2](#) zeigt die geometrische Anordnung von acht Sensoren, die in zwei Kaskadenstufen miteinander verschaltet sind,

[0038] [Fig. 3](#) zeigt die gleiche Anordnung im elektrischen Schaltbild,

[0039] [Fig. 4](#) zeigt eine Anordnung von zwölf Sensoren, die in einer dreistufigen Kaskade verschaltet sind,

[0040] [Fig. 5](#) zeigt eine weitere Anordnung von zwölf Sensoren, die zweistufig kaskadiert sind,

[0041] [Fig. 6](#) zeigt eine weitere Anordnung von zwölf Sensoren in einer zweistufigen Kaskade,

[0042] [Fig. 7](#) zeigt eine die Anordnung von Sensorebene und rotierendem Körper,

[0043] [Fig. 8](#) zeigt eine die Anordnung von Magnelementen relativ zur Sensorebene.

[0044] [Fig. 1](#) zeigt eine einfache Ausführungsform der Erfindung, bei der zwei als Hallelemente ausgebildete Sensoren SE1, SE2 miteinander kaskadiert sind. Ein Hallelement ist ein Halbleiterelement, welches auf seiner der xy-Ebene eines Koordinatensystems entsprechenden Oberfläche vier kreuzförmig angeordnete Kontakte aufweist. Legt man an ein erstes Paar entlang der virtuellen X-Achse angeordneter Kontakte eine Spannung an, so fließt ein BIAS-Strom in X-Richtung von dem einen Kontakt zum anderen. Wirkt nun in Z-Richtung ein Magnetfeld auf das Hallelement ein, so lässt sich an den beiden anderen, auf der Y-Achse hintereinander angeordneten Kontakten als Sensorsignal eine Spannung abgreifen, die sogenannte Hallspannung.

[0045] Beide Sensoren werden nun wie z.B. in [Fig. 7](#) dargestellt in einer Ebene EB vertikal zur Drehachse A eines rotierenden Körpers K angeordnet, vorzugsweise in gleicher Entfernung zur Drehachse A auf dem Pfad Sp und vorzugsweise mit einem Phasenversatz von 90 Grad bezüglich des Drehwinkels. An der Drehachse ist ein Magnet angeordnet und mit dem Körper K verbunden, so dass dessen Magnetfeld vertikal auf die in der Sensorebene EB angeordneten Sensoren (Hallelemente) einwirken kann. Der erste Sensor SE1 ist über eine Spannungsquelle SQ mit einem ersten Steuerstrom beaufschlagt.

[0046] Die am ersten Sensorelement SE1 abgegriffene Hallspannung wird einem ersten Verstärker V1, der als Transimpedanzverstärker ausgebildet ist, zugeführt. Dort wird das analoge Sensorsignal in einen dazu proportionalen Steuerstrom überführt. Aufgrund der Winkelabhängigkeit des Sensorsignals in Form der Funktion $\sin X$ ist also sowohl das Sensorsignal als auch der vom Verstärker V1 erzeugte Steuerstrom proportional zu $\sin X$. Der Steuerstrom wird nun als BIAS-Strom an das zweite Sensorelement SE2 angelegt. Dessen Sensorsignal liegt als Hallspannung an den beiden Anschlüssen T1 und T2 an und kann der weiteren Verarbeitung beziehungsweise Auswertung zugeführt werden. Entsprechend der eingangs erwähnten Abhängigkeit der Hallspannung V_h gemäß der Gleichung

$$V_h = B \times I \times R_h$$

ergibt sich die Hallspannung (zweites Sensorsignal) am zweiten Sensorelement SE2 als Produkt aus dem Steuerstrom und der Winkelabhängigkeit der Sensorfunktion des Hallelements. Je nach Phasenversatz des zweiten Sensorelements relativ zum ersten (hier z.B. 90°) kann sich an den Anschlüssen T1, T2 ein Sensorsignal abgreifen lassen, welches hier proportional zu $\sin X \times \cos X$ ist. Gemäß der Beziehung

$$2\sin X \cos X = \sin 2X$$

entspricht das an den Anschlüssen T1, T2 anliegende Sensorsignal also einem zur Funktion $\sin 2X$ proportionalen Spannung. Damit liefert die Sensoranordnung den ersten von zwei Werten, aus denen sich in eindeutiger Weise der zu detektierende Drehwinkel X bestimmen lässt. Als weiterer Teilwert ist ein Sensorsignal erforder-

lich, das proportional zum Wert $\cos 2X$ ist. Dieses kann in einfacher Weise gemäß der Beziehung

$$\cos 2X = \cos^2 X - \sin^2 X$$

durch entsprechende Verschaltung von zwei mal zwei Sensoren in ähnlicher Weise wie in [Fig. 1](#) dargestellt erhalten. Dabei kann der Wert $\sin X$ beziehungsweise $\cos X$ vom Sensorsignal des ersten Sensors SE1 erhalten werden und als BIAS-Strom an den zweiten Sensor angelegt werden. Entsprechend dessen Winkelabhängigkeit zum zu bestimmenden Drehwinkel und seiner Relativanordnung zum ersten Sensor liefert der zweite Sensor das Produkt der Eingangsfunktion mit einer $\sin X$ - oder einer $\cos X$ -Funktion.

[0047] Analog können die beiden Sensoren auch zur Bestimmung des Ortsparameters entlang eines Pfades bzw. zur Bestimmung einer Relativbewegung von Magnet und Sensoranordnung.

[0048] [Fig. 2](#) zeigt die geometrische Anordnung von insgesamt acht Sensoren, die in einer erfindungsgemäßen Sensoranordnung verschaltet sind. Die Anordnung stellt sämtliche zur Bestimmung des Drehwinkels erforderlichen Daten in analoger Form in Form der entsprechenden Sensorsignale zur Verfügung. Die Anordnung sämtlicher Sensoren erfolgt auf einer gemeinsamen Kreislinie um die Rotationsachse A, die vertikal zur Kreisebene mit den Sensoren steht. Alle Sensoren sind als Hallelemente ausgebildet und weisen die gleiche Ausrichtung bezüglich ihrer X- und Y-Achsen auf. Vier der Sensoren SE11 bis SE14 bilden die erste Kaskadenstufe und sind auf dem Kreisboden gegeneinander um jeweils 90 Grad versetzt. Weitere vier Sensoren SE21 bis SE24 bilden die zweite Kaskadenstufe, sind ebenfalls gegeneinander um 90 Grad versetzt und jeweils zwischen zwei Sensoren der ersten Kaskadenstufe angeordnet. Somit sind alle Sensoren SE1, SE2 der gesamten Sensoranordnung gleichmäßig entlang dem Kreisumfang mit der Drehachse als Mittelpunkt angeordnet.

[0049] Entsprechend der Anordnung des jeweiligen Sensors bezüglich des Winkels X entspricht das Sensorsignal von SE11 beispielsweise $\sin X$, das Sensorsignal SE12 dagegen der $\cos X$ -Funktion. Das um 45 Grad gegenüber SE11 verschobene erste Sensorelement SE21 liefert ein Sensorsignal proportional zu $\sin(X + 45^\circ)$. Entsprechend liefert das Sensorelement SE22 ein Sensorsignal proportional zu $\cos(X + 45^\circ)$.

[0050] [Fig. 3](#) zeigt eine geeignete Verschaltung, in der die Sensorelemente SE der ersten Kaskadenstufe über dazwischen geschaltete Verstärker V mit den Sensorelementen SE2 der zweiten Kaskadenstufe verschaltet werden können.

[0051] Sämtliche Sensorelemente SE11 bis SE14 der ersten Kaskadenstufe sind seriell mit einer Stromquelle SQ so verbunden, dass durch alle diese Sensorelemente der gleiche BIAS-Strom fließt. Die Sensorelemente SE11 und SE13 sind bezüglich ihrer Sensorposition zur Drehachse A bezüglich des Drehwinkels X gegeneinander um 180 Grad versetzt und liefern deshalb als Sensorsignale einander betragsmäßig gleiche aber entgegengesetzte Spannungen. Diese Sensorsignale werden über einen ersten Verstärker V11 beziehungsweise V13 in einen Steuerstrom umgewandelt, der am Ausgang der jeweiligen Verstärker anliegt und zu den Sensorsignalen proportional ist. In den beiden genannten Verstärkern V11 und V13 werden gleichgroße aber einander entgegengerichtete Steuerströme erhalten. Daher werden diese Ausgänge der beiden Verstärker V11 und V13 antiparallel verschaltet, sodass sich die Ströme phasengleich addieren können.

[0052] Die addierten und zu $\sin X$ proportionalen Steuerströme werden als BIAS-Ströme an die zweiten Sensoren SE21 und SE22 angelegt. Der zweite Sensor SE21 weist gegenüber dem ersten Sensor SE11 einen Phasenversatz von 45 Grad auf. Dementsprechend ist das von dem diesen Sensor gelieferte Sensorsignal proportional zu $\sin(X + 45)$. Am Ausgang des dazugehörigen Verstärkers V21 wird daher das Produkt mit dem BIAS-Strom erhalten, welches proportional zu $\sin X \times \sin(X + 45)$ ist.

[0053] Der zweite Sensor SE22 weist gegenüber dem ersten Sensor SE11 einen Phasenversatz von 90 Grad plus 45 Grad auf, sodass das entsprechende Sensorsignal proportional zu $\cos(X + 45)$ ist. Durch den angelegten BIAS-Strom entspricht das Sensorsignal dann dem Produkt $\sin X \times \cos(X + 45^\circ)$, welches am zweiten Verstärker V22 in den entsprechenden Strom umgewandelt wird.

[0054] In entsprechender Weise liefern die ersten Sensoren SE12 und SE14 jeweils ein zu $\cos X$ beziehungsweise $-\cos X$ proportionales Sensorsignal, das nach Umwandlung und Verstärkung mittels der ersten Verstärker V12 und V14 in Steuerströme umgewandelt wird, die wiederum phasengleich addiert als BIAS-Ströme an die zweiten Sensorelemente SE23 und SE24 angelegt werden. Nach Verstärkung der von SE12 und SE14 erhaltenen Sensorsignale durch die Verstärker V23 und V24 werden Ströme erhalten, die am Ausgang des Ver-

stärker V23 proportional zum Produkt $\cos X \times (-\sin(X + 45))$ beziehungsweise am Ausgang des Verstärkers V24 proportional zum Produkt $\cos X \times (-\cos(X + 45))$ sind.

[0055] Durch Parallelverschaltung der Ausgänge der zweiten Verstärker V21 und V24 werden an den Anschlüssen T1 und T2 die entsprechenden Ströme addiert, sodass ein Stromsignal erhalten wird, welches proportional zu $\cos(2X + 45)$ ist. Entsprechend werden die von den zweiten Verstärkern V22 und V23 erhaltenen Ströme addiert und liefern an den Anschlüssen T3, T4 einen Strom, der proportional zu $\sin(2X + 45)$ ist.

[0056] Mit diesen beiden Strömen, die eine Sinusabhängigkeit von der doppelten Kreisfrequenz $2X$ beziehungsweise eine Abhängigkeit vom $\cos 2X$ zeigen, lässt sich über eine Auswerteschaltung in einfacher Weise und mit der doppelten Genauigkeit der Wert X bestimmen.

[0057] [Fig. 4](#) zeigt eine Anordnung von zwölf Sensoren, die in drei Kaskadenstufen miteinander verschaltet werden können. Die vier Sensoren jeder Kaskadenstufe sind dabei innerhalb der gleichen Stufe gegeneinander um 90 Grad versetzt. Die Sensoren der zweiten Kaskadenstufe sind gegen die der ersten um 45 Grad versetzt, die der dritten Kaskadenstufe dagegen um 22,5 Grad gegen die Sensoren der ersten Kaskadenstufe. Die beiden ersten Sensoren SE11 und SE13 liefern eine Sinusabhängigkeit des Sensorsignals. Nach Verstärkung und Überführung in einen Steuerstrom werden die Steuerströme von SE11 und SE13 antiparallel addiert und an das zweite Sensorelement SE21 als BIAS-Strom angelegt. An das Sensorelement SE22 wird der gleiche Strom in entgegengesetzter Richtung angelegt. An das zweite Sensorelement SE23 werden die addierten und verstärkten und von $\cos X$ abhängigen Steuerströme von SE12 und SE14 als BIAS-Strom angelegt. An den Sensor SE24 dagegen wird ein BIAS-Strom in gleicher Höhe jedoch mit anderem Vorzeichen als BIAS-Strom angelegt.

[0058] In der dritten Kaskadenstufe werden an die dritten Sensoren SE3 Steuerströme angelegt, die sich durch Addition je zweier Steuerströme der zweiten Kaskadenstufe erhalten lassen. In der folgenden Tabelle sind noch einmal für jeden Sensor die entsprechende Drehwinkelposition, der Proportionalitätsfaktor des BIAS-Stroms, die Herkunft des BIAS-Stroms und die Abhängigkeit des Sensorsignals vom zu bestimmenden Drehwinkel angegeben.

Sensor	Winkelposition	Proportionalitätsfaktor für Steuerstrom	Zusammensetzung des BIAS-Stroms	Erhaltenes Sensorsignal
SE11	0	1	I_{BIAS}	$\sin X$
SE12	90	1	I_{BIAS}	$\cos X$
SE13	180	1	I_{BIAS}	$-\sin X$

SE14	270	1	I_{BIAS}	$-\cos X$
SE21	45	$\sin X$	$0,5(I(SE11) - I(SE13))$	$\sin X \sin(X+45)$
SE22	135	$-\sin X$	$0,5(I(SE13) - I(SE11))$	$-\sin X \cos(X+45)$
SE23	225	$\cos X$	$0,5x(I(SE12) - I(SE14))$	$\cos X (-\sin(X+45))$
SE24	315	$-\cos X$	$0,5x(I(SE14) - I(SE12))$	$-\cos X (-\cos(X+45))$
SE31	22,5	$\sin(2X+45)$	$I(SE22) + I(SE23)$	$\sin(2X+45) x \sin(X+22,5)$
SE32	112,5	$-\sin(2X+45)$	$-I(SE22) - I(SE23)$	$-\sin(2X+45) x \cos(X+22,5)$
SE33	202,5	$\cos(2X+45)$	$-I(SE11) - I(SE14)$	$\cos(2X+45) x (-\sin(X+22,5))$
SE34	292,5	$-\cos(2x+45)$	$I(SE11) + I(SE14)$	$-\cos(2X+45) x (-\cos(X+22,5))$

[0059] Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass hier in Abweichung vom allgemeinen Schema an die Sensoren SE33 und SE34 Steuerströme als BIAS-Strom angelegt werden, die von den Sensoren der ersten Kaskadenstufe erhalten werden.

[0060] Die dritten Sensoren der dritten Kaskadenstufe SE3 liefern Sensorsignale, die in Steuerströme umgewandelt werden können, die eine Abhängigkeit von $\sin 3X$ beziehungsweise $\cos 3X$ aufweisen. Addiert man beispielsweise die Steuerströme, die an den Verstärkern, hinter den dritten Sensoren SE32 und SE33 erhalten werden, resultiert ein Strom, der proportional zu $\sin(3X + 45 + 22,5)$ ist. Entsprechend können die Steuerströme an den den dritten Sensoren SE31 und SE34 zugeordneten Verstärkern addiert werden, wobei man einen Steuerstrom erhält, der proportional zu $\cos(3X + 45 + 22,5)$ ist. Es zeigt sich, dass die erhaltenen Signale alle einen Offset von 67,5 Grad aufweisen, jeweils relativ zu einem virtuellen zu bestimmenden Wert entsprechend an der Stelle des ersten Sensorelements SE11. Dieser Offset kann in einer entsprechenden Auswerteeinheit korrigiert werden und ist eine konstante Eigenschaft der in [Fig. 4](#) dargestellten Sensoranordnung. Eine Korrektur ist jedoch nicht nötig, wenn der Drehwinkel nicht absolut sondern relativ zu einem bestimmten Zeitpunkt (Startpunkt) erfasst werden soll.

[0061] Es wird betont, dass in den beiden Ausführungsbeispielen gemäß der [Fig. 2](#) und [Fig. 4](#) Additionen und Subtraktionen durch parallele und antiparallele Verschaltung von Strömen in einen analogen Schaltkreis mit hoher Genauigkeit realisiert werden kann. Die erforderlichen Multiplikationen werden durch die Sensoren ausgeführt, wobei die genauesten und besten Ergebnisse mit Hallelementen erreicht werden.

[0062] [Fig. 5](#) zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung und gibt eine Sensoranordnung an, bei der in einer ersten Kaskadenstufe vier Sensoren mit acht Sensoren einer zweiten Kaskadenstufe verschaltet sind. Die ersten Sensoren SE11 bis SE14 sind gegeneinander jeweils um 90 Grad versetzt. Die ersten vier Sensoren der zweiten Kaskadenstufe SE21 bis SE24 sind um 22,5 Grad gegen die ersten Sensoren SE1 versetzt. Die zweiten vier Sensoren der zweiten Kaskadenstufe SE25 bis SE28 dagegen sind gegen die ersten Sensoren um $-22,5$ Grad versetzt.

[0063] Die folgende Tabelle gibt wieder für alle Sensorelemente Position, BIAS-Stromabhängigkeit, BIAS-Stromzusammensetzung und erhaltenes Sensorsignal für die zwölf Sensoren an:

Sensor	Winkel- position	Abhängigkeit des BIAS- Stroms	Angelegte Steuerströme	Sensorsignal
SE11	0	1	I_{BIAS}	$\sin X$
SE12	90	1	I_{BIAS}	$\cos X$
SE13	180	1	I_{BIAS}	$-\sin X$
SE14	270	1	I_{BIAS}	$-\cos X$
SE21	22,5	$\sin(X+22,5)$	$I(SE11) - I(SE13) + I(SE12) - I(SE14)$	$\sin(X+22,5)$ $\sin(X+45)$
SE22	112,5	$\cos(X+22,5)$	$I(SE11) - I(SE13) - I(SE12) + I(SE14)$	$\cos(X+22,5)$ $\cos(X+45)$
SE23	202,5	$-\sin(X+22,5)$	$I(SE11) - I(SE13) + I(SE12) - I(SE14)$	$-\sin(X+22,5)$ $\sin(X+45)$
SE24	292,5	$-\cos(X+22,5)$	$I(SE11) - I(SE13) - I(SE12) + I(SE14)$	$-\cos(X+22,5)$ $\cos(X+45)$
SE25	67,5	$\sin(X+22,5+45)$	$I(SE12) - I(SE14)$	$\sin(X+22,5+45) \cos X$
SE26	157,5	$\cos(X+22,5+45)$	$I(SE11) - I(SE13)$	$\cos(X+22,5+45) \sin X$
SE27	247,5	$-\sin(X+22,5+45)$	$I(SE12) - I(SE14)$	$-\sin(X+22,5+45) \cos X$
SE28	337,5	$-\cos(X+22,5+45)$	$I(SE11) - I(SE13)$	$-\cos(X+22,5+45) \sin X$

[0064] Mit der angegebenen Verschaltung ist eine Interpolation des mittels der Sensoren ermittelten Drehwinkels mit einer um den Faktor zwei verbesserten Genauigkeit möglich. Die zur Auswertung geeigneten Signale können durch Addition von Steuerströmen erhalten werden. Ein erstes Signal, welches proportional zu $\sin(2X + 45 + 22,5)$ ist, kann durch Addition der Steuerströme der Sensoren SE25 + SE27 + SE26 – SE28 erhalten werden. Ein zweites Signal, das proportional zum Wert $\cos(2X + 45 + 22,5)$ ist, wird durch folgende Kombination von Steuerströmen erhalten:
 $I(SE22) + I(SE24) - I(SE21) + I(SE23)$.

[0065] Auch hier haben alle auf der zweiten Stufe erhaltenen Signale ein Offset von 67,5 Grad relativ zu einem Referenzpunkt, der wie eben angegeben korrigiert werden kann.

[0066] Fig. 6 zeigt eine Variation der in Fig. 5 dargestellten Sensoranordnung, bei der sämtliche Sensoren der zweiten Kaskadenstufe eine andere Entfernung zur Rotationsachse A aufweisen als die Sensoren der ersten Kaskadenstufe SE1. Werden die Sensoren hier in gleicher Weise wie in Fig. 5 miteinander verschaltet, so liefert die Anordnung genau das gleiche Ergebnis, zumindest die gleiche relative Abhängigkeit der Steuerströme.

[0067] Fig. 7 zeigt die Anordnung eines Magneten, der hier dem Körper K entsprechen soll, über der Sensorebene EB. Die Sensoren sind z.B. entlang eines Pfads S_p angeordnet. Bestimmt wird der Ortsparameter X,

der einem Kreisbogen relativ zu einem Bezugspunkt bzw. dem dazugehörigen Drehwinkel entspricht.

[0068] Fig. 8 zeigt bezüglich ihrer Polarität alternierend angeordnete und entlang eines Pads Sp ausgerichtete magnetische Elemente (Pole), die mit dem Körper, dessen Ortsparameter entlang des Pfads Sp zu bestimmen ist, verbunden sind oder diesen darstellen. Gemessen wird stets die Relativbewegung bzw. die Relativposition zwischen Sensorebene EB und Körper K. Jeder Sensor SE auf dem Pfad Sp ist bei einer Relativbewegung entlang dem Pfad Sp einem sinusförmig variierenden Magnetfeld ausgesetzt und liefert ein entsprechend dazu proportionales Sensorsignal. Der Wert des Sensorsignals an einem Ort mit dem Ortsparameter X entspricht daher einem Wert $\sin(X + C)$, wobei C eine Konstante und von der Wahl des Bezugspunktes und der relativen Sensorposition abhängig ist. Um die lineare Ortskoordinate (Ortsparameter X) in Relation zur Periode der Magnelemente bzw. der Anordnung zu bringen, kann X rechnerisch normiert werden. Dies gelingt durch Überführen des Wertes X in den normierten Wert X_N gemäß $X_N = 2\pi X/X_p$, wobei X_p die Länge der „magnetischen Periode“ in der Anordnung der Magnelemente ist, also der Abstand zweier gleicher Pole bei regelmäßiger Anordnung.

[0069] Anhand der Ausführungsbeispiele wurden verschiedene Möglichkeiten vorgestellt, Drehwinkelsensoren und insbesondere Hallelemente in einem Array jeweils um die Rotationsachse A zu gruppieren und in Kaskaden so miteinander zu verschalten, dass pro Kaskadenstufe ein um eins erhöhter Faktor für die Genauigkeit der mit der Sensoranordnung erreichbaren Drehwinkelbestimmung erhalten wird. Der in den Ausführungsbeispielen gewählte Versatz der Sensoren der verschiedenen Kaskadenstufen ist nicht auf die dargestellten Werte beschränkt, doch ist mit den beschriebenen Ausführungsbeispielen die Auswertung erleichtert. Die Sensoren müssen auch nicht als Hallelemente realisiert sein. Geeignet sind auch andere Sensoren, die eine mathematisch genaue Sinusabhängigkeit vom zu bestimmenden Drehwinkel aufweisen, wobei die Sensoren, wenn sie direkt und ohne BIAS-Strom betrieben werden, auch mithilfe eines entsprechend geschalteten Verstärkerelements mit dem Wert der vorhergehenden Kaskadenstufe beziehungsweise mit dem Wert des Sensors der vorherigen Kaskadenstufe modifiziert werden.

Patentansprüche

1. Sensoranordnung zur Bestimmung eines Ortsparameters eines sich entlang eines vorgegebenen Pfades bewegenden Körpers (K) am Ort X,
 - bei der ein erster Sensor (SE1) an einer ersten Sensorposition relativ zum Wert X vorgesehen ist, der ein erstes Sensorsignal erzeugt, das proportional zum Wert $\sin(X)$ ist,
 - bei der ein erster Verstärker (V1) vorgesehen ist, der aus dem ersten zu $\sin(X)$ proportionalen Sensorsignal einen ersten Steuerstrom generiert,
 - bei der ein gleich aufgebauter zweiter Sensor (SE2) an einer zweiten Sensorposition relativ zum Wert X vorgesehen ist,
 - bei der der zweite Sensor (SE2) mit dem Steuerstrom beaufschlagt ist, der von dem ersten Verstärker generiert wird.
2. Sensoranordnung nach Anspruch 1, bei der eine Mehrzahl von Sensoren (SE1, .. SE_m ... SE_n), die an unterschiedlichen Sensorpositionen vorgesehen sind, in einer n-stufigen Kaskade so miteinander verschaltet sind, dass zumindest ein Sensor (SE_m) einer m-ten Kaskadenstufe mit $1 < m \leq n$ jeweils mit einem BIAS Strom beaufschlagt ist, der aus dem Sensorsignal eines oder mehrerer in der darunterliegenden Kaskadenstufe m-1 angeordneter Sensoren (SE_{m-1}) generiert wird, wobei $1 < n < 5$.
3. Sensoranordnung nach Anspruch 2, bei der auf der ersten Kaskadenstufe zumindest zwei Sensoren (SE11, SE12), auf der zweiten oder allen höheren Kaskadenstufen zumindest vier Sensoren (SE21, SE22, SE23, SE24) vorgesehen sind.
4. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der alle Sensoren (SE) in der Kaskade als magnetische Hallsensoren ausgebildet sind.
5. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4,
 - bei der auf jeder Stufe der Kaskade zwei Sensoren (SE) vorgesehen sind, die gegenüber dem jeweiligen Sensor der gleichen Kaskadenstufe bezüglich des Wertes x versetzt sind,
 - bei der jeder Sensor einer höheren Stufe m der Kaskade mit einem BIAS Strom beaufschlagt ist, der sich aus der Differenz oder Summe von Steuerströmen ergibt, die jeweils von in der vorgehenden Kaskadenstufe angeordneten Sensoren erhalten werden.

6. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 5,
 – bei der auf jeder Kaskadenstufe k Sensoren vorgesehen sind mit $k \geq 2$,
 – wobei jeder Sensor einer höheren Stufe m der Kaskade mit einem BIAS Strom beaufschlagt ist, der sich aus der Differenz oder der Summe der Steuerströme aus zwei Sensoren (SE_{m1} , SE_{m2}) der jeweils vorgehenden Kaskadenstufe ergibt,
 – wobei jeder Sensor dieser höheren Kaskadenstufe mit einer anderen Differenz oder Summe an Steuerströmen aus der vorhergehenden Kaskadenstufe beaufschlagt ist.
7. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, bei der auf jeder Kaskadenstufe k Sensoren vorgesehen sind, die gegeneinander einen Versatz bezüglich der zu bestimmenden Größe X aufweisen.
8. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der alle Sensoren (SE) auf einer gemeinsamen Platine angeordnet sind.
9. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei der alle Sensoren (SE) einer Kaskadenstufe den gleichen Abstand zu einer Rotationsachse (A) des Körpers (K) aufweisen.
10. Sensoranordnung nach Anspruch 9, bei der alle Sensoren (SE) unterschiedlicher Kaskadenstufen einen unterschiedlichen Abstand zur Rotationsachse(A) des Körpers aufweisen.
11. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 10,
 – bei der eine Auswerteeinheit (AE) vorgesehen ist,
 – bei der am Eingang der Auswerteeinheit zumindest zwei Sensorsignale oder Steuerströme angelegt sind, die von den Sensoren (SE_n) oder Verstärkern (V_n) der n -ten und somit letzten Kaskadenstufe geliefert werden,
 – wobei die Auswerteeinheit aus den von $\sin(n \cdot X)$ und $\cos(n \cdot X)$ abhängigen Eingangssignalen den Wert des Drehwinkels X bestimmt.
12. Sensoranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei der die Verstärker (V) als Transimpedanzverstärker ausgebildet sind.
13. Verfahren zur Bestimmung des Drehwinkels X eines Körpers (K),
 – bei dem ein erster und ein zweiter in einer Kaskade verschalteter Sensor (SE1, SE2) vorgesehen werden, die im Drehsinn des zu detektierenden Drehwinkels X gegeneinander versetzt sind und jeweils eine Abhängigkeit vom Sinus des Drehwinkels X aufweisen,
 – bei dem das vom ersten Sensor gelieferte Sensorsignal in einen BIAS-Strom umgewandelt und an den zweiten Sensor (SE2) angelegt wird, wobei als Sensorsignal des zweiten Sensors (SE2) das Produkt aus dem angelegten BIAS-Strom und der vom Sensor detektierten $\sin X$ Funktion erhalten wird,
 – bei dem aus dem Produkt in einer Auswerteeinheit (AE) der Wert von X ermittelt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13,
 – bei dem zwei erste Sensoren (SE11, SE12) vorgesehen werden, deren Versatz bezüglich des Drehwinkels X so gewählt ist, dass sich in einem Sensor eine Abhängigkeit des Sensorsignals von $\sin X$ und im anderen Sensor eine Abhängigkeit des Sensorsignals von $\cos X$ ergibt,
 – bei dem aus den Sensorsignalen der zwei ersten Sensoren BIAS-Ströme generiert und an zumindest zwei zweite Sensoren (SE2) angelegt werden.
15. Verfahren nach Anspruch 14,
 – bei dem mehrere jeweils bezüglich des Drehwinkels x gegeneinander versetzte erste Sensoren (SE1) vorgesehen werden,
 – bei dem die BIAS-Ströme für die jeweils höhere Kaskadenstufe m durch Addition oder Subtraktion der jeweiligen Sensorsignale oder der daraus generierten Ströme der vorherigen Kaskadenstufe $m-1$ erhalten werden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15,
 – bei dem als Sensoren (SE) magnetische Hallsensoren verwendet werden,
 – bei dem die von $\sin x$ abhängige Hallspannung eines jeden ersten Sensors als Sensorsignal mittels eines Verstärkers (V1) in einen Steuerstrom überführt und als BIAS Strom für die zweiten Sensoren (SE2) verwendet wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, bei dem dritte Sensoren (SE3) vorgesehen werden, an die aus den Sensorsignalen der zweiten Sensoren (SE2) generierte Steuerströme als BIAS Ströme ange-

legt werden, bei dem die Auswerteeinheit (AE) mit den Sensorsignalen der dritten Sensoren oder daraus generierter Ströme gespeist wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, bei dem erste und weitere Sensoren linear angeordnet werden, wobei aus den Winkelbeziehungen eines mit einem Magneten verbundenen Körpers zu den unterschiedlichen Sensoren der Ort X des Körpers bestimmt wird, indem aus einem mit der Sensoranordnung bestimmten Winkel durch Umrechnung des dazugehörigen Kreisbogens auf den durch eine radiale Projektion erhaltenen Ort umgerechnet wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig 1

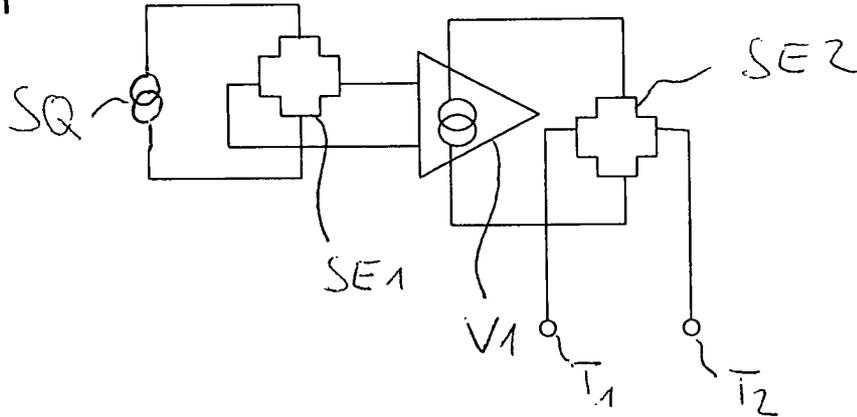


Fig 3

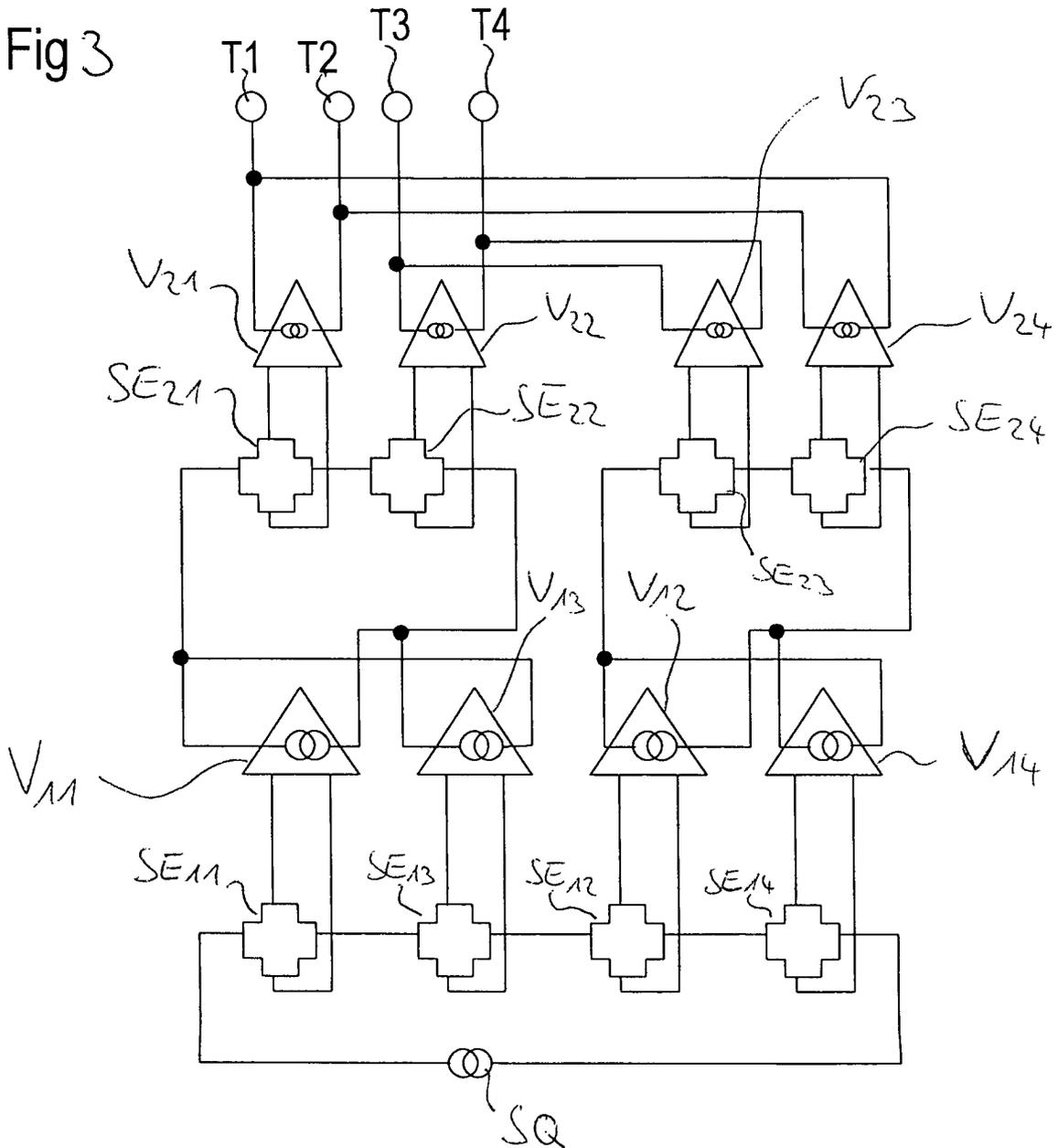


Fig 2

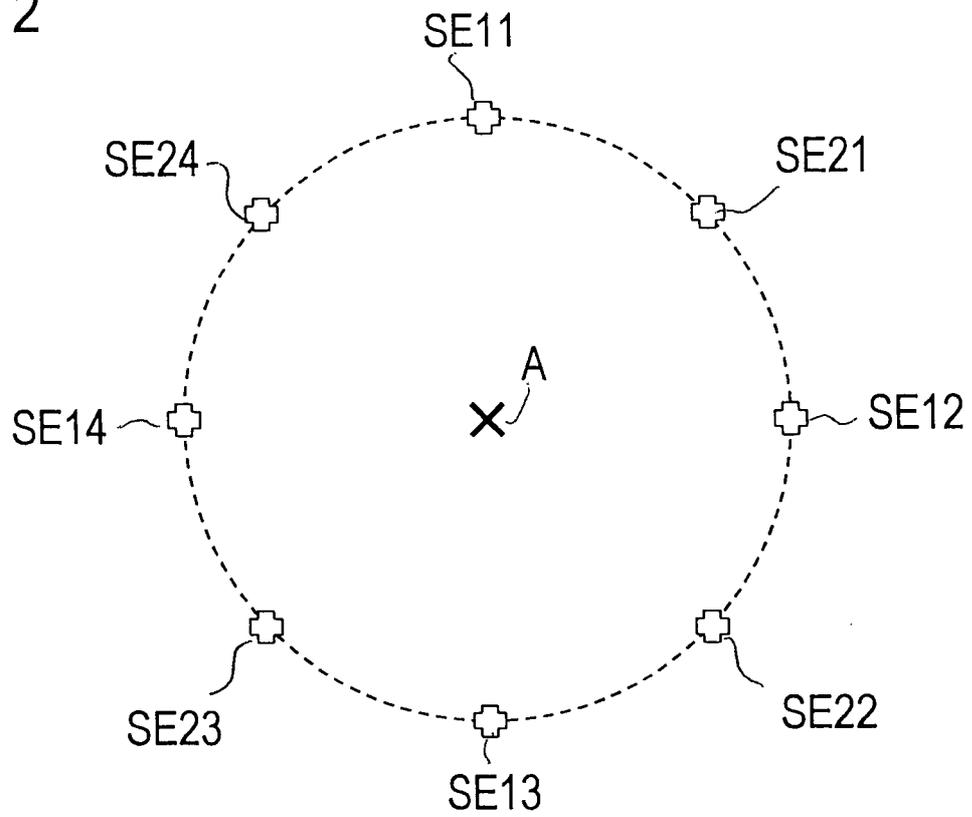


Fig 4

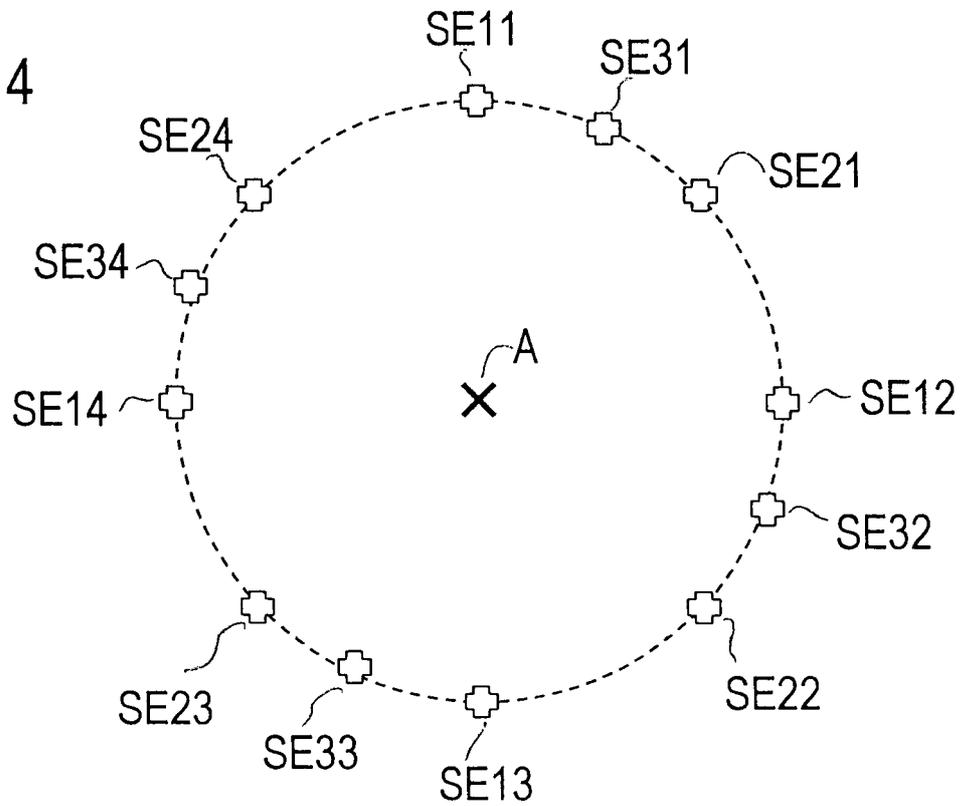


Fig 5

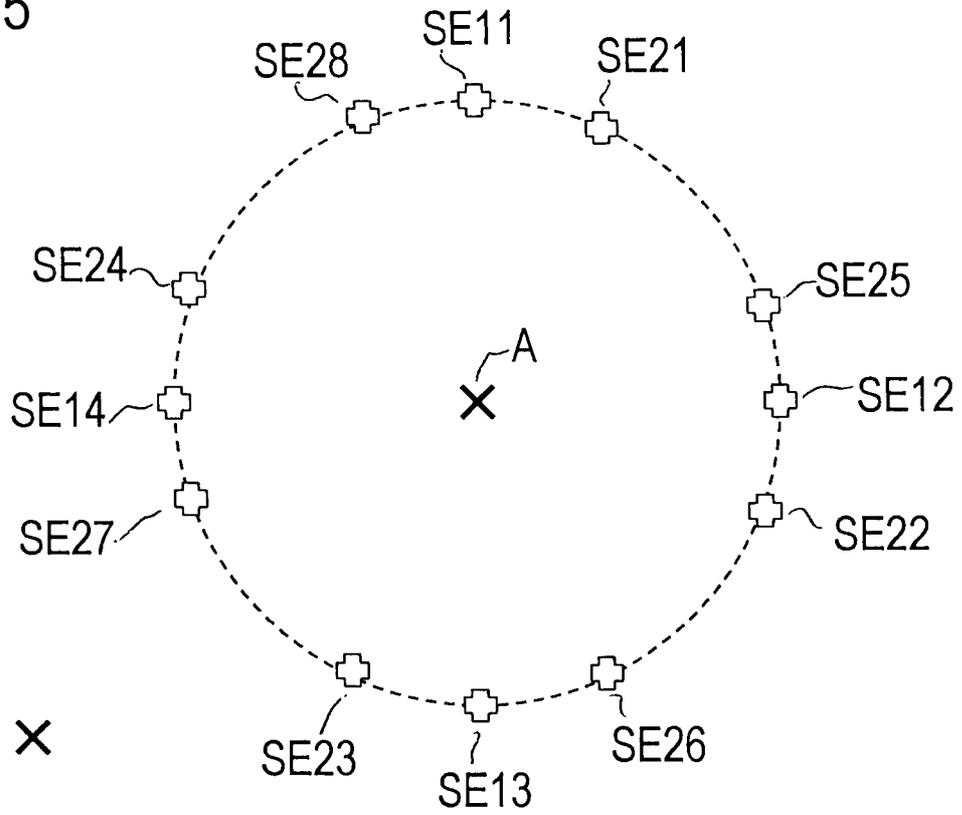


Fig 6

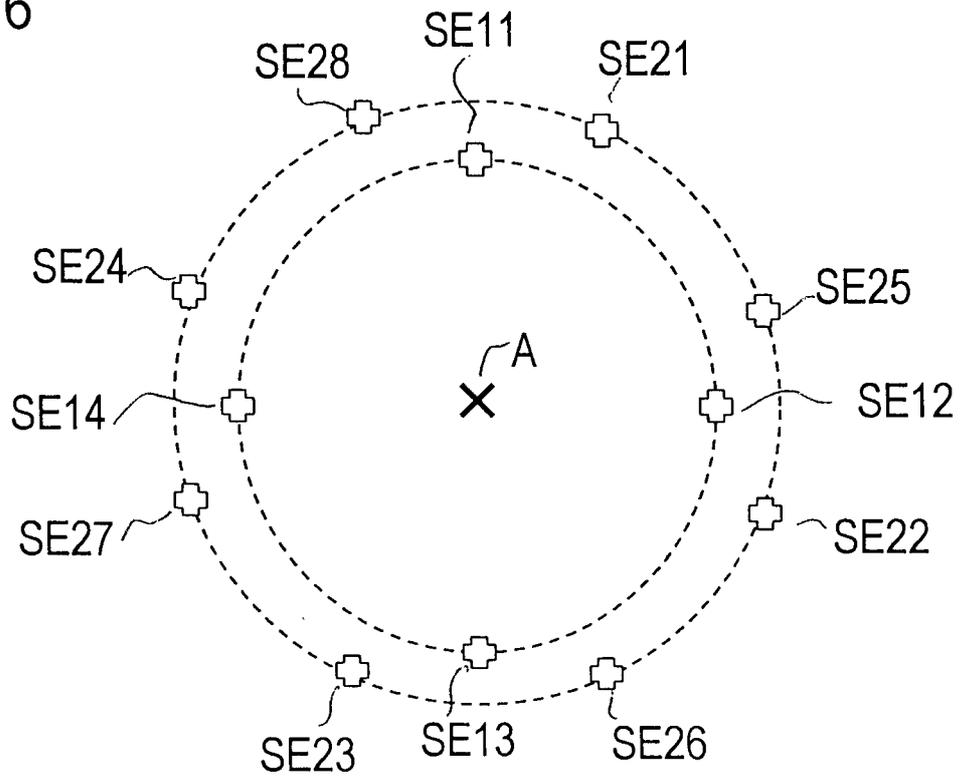


Fig 7

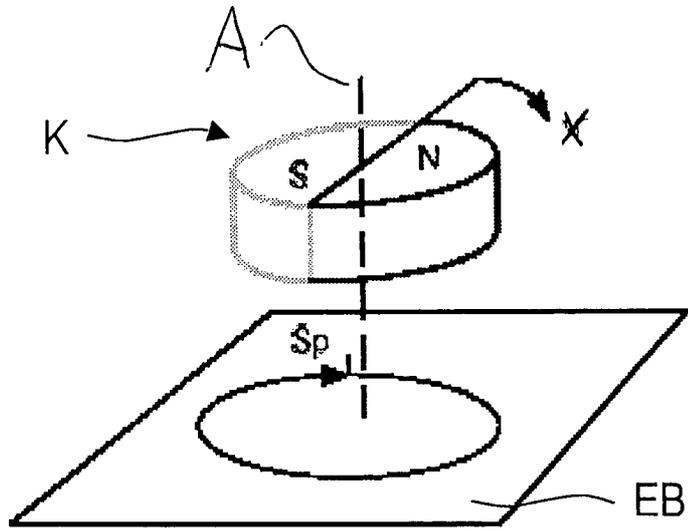


Fig 8

