(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 510 241 B1 2014-02-15**

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 1118/2011
(22) Anmeldetag: 01.08.2011
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2014

(51) Int. Cl. : ***G01D 5/20*** (2006.01)
G01D 5/245 (2006.01)
G01B 7/00 (2006.01)

(30) Priorität:
04.08.2010 DE 102010033396 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:
US 2002017902 A1
US 5886519 A
DE 102009042940 A1
US 5804963 A
US 2002097042 A1

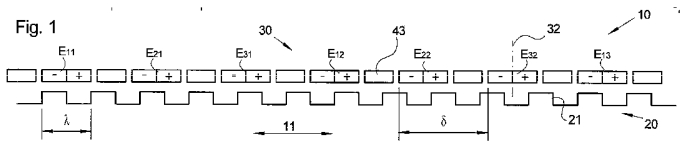
(73) Patentinhaber:
ROBERT BOSCH GMBH
70442 STUTTGART (DE)

(72) Erfinder:
REUSING GÜNTER
NIEDERWERRN (DE)

(54) **INDUKTIVE POSITIONSMESSEINRICHTUNG MIT MEHR ALS ZWEI EMPFÄNGERSPULENGRUPPEN**

(57) Die Erfindung betrifft eine Positionsmesseinrichtung (10) umfassend eine Maßverkörperung (20) und eine Abtasteinrichtung (30), wobei die Abtasteinrichtung (30) gegenüber der Maßverkörperung (20) in Messrichtung (11) beweglich ist, wobei die Abtasteinrichtung eine Senderwindungsanordnung aufweist, deren elektromagnetisches Feld von den Messmarkierungen (21) der Maßverkörperung (20) beeinflusst werden kann, wobei innerhalb wenigstens eines Teils der Senderspulen je ein einziges planares Empfängerspulenpaar (E_{ij}) angeordnet ist, wobei eine Anzahl n an Empfängerspulengruppen vorgesehen ist, die jeweils mehrere Empfängerspulenpaare (E_{ij}) umfassen, die so in Reihe geschaltet sind, dass sich ihre Ausgangsspannungen aufsummieren.
Erfindungsgemäß ist die Anzahl n an Empfängerspulengruppen drei oder größer, wobei eine Anzahl n in Messrichtung hintereinander angeordneter Empfängerspulenpaare (E_{ij}) jeweils unterschiedlichen Empfängerspulengruppen angehören, wobei die Zuordnungen der Empfängerspulenpaare (E_{ij}) zu einer Empfängerspulengruppe in Messrichtung (11) periodisch ist, wobei der Abstand δ zweier unmittelbar benachbarter Empfängerspulenpaare (E_{ij}) immer $\delta = (2 - 1/(2\,n))\,\lambda$ beträgt.

Fig. 1



AT 510 241 B1 2014-02-15

Beschreibung

INDUKTIVE POSITIONSMESSEINRICHTUNG MIT MEHR ALS ZWEI EMPFÄNGERSPULEN-GRUPPEN

[0001] Die Erfindung betrifft eine Positionsmesseinrichtung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Aus der EP 1 164 358 B1 ist eine Positionsmesseinrichtung bekannt. Gemäß der Fig. 16 der EP 1 164 358 B1 umfasst die Positionsmesseinrichtung eine Maßverkörperung und eine Abtasteinrichtung. Die Maßverkörperung umfasst eine Vielzahl von untereinander gleichen Messmarkierungen, die entlang einer Messrichtung periodisch verteilt angeordnet sind, wobei sie einen Teilungsabstand λ aufweisen. Bei der Maßverkörperung kann es sich beispielsweise um ein Blechband handeln, wobei die Messmarkierungen von rechteckigen Durchbrüchen in dem Blechband gebildet werden.

[0003] Die Abtasteinrichtung der EP 1 164 358 B1 ist in Messrichtung gegenüber der Maßverkörperung beweglich. Sie umfasst eine Senderwindungsanordnung, welche aus planaren, sich nicht überlappenden Spulen EK1, Es1, Ec1,..., Esn, Ecn, Ek2 besteht, welche parallel zusammengeschaltet sind. Die Maßverkörperung beeinflusst dabei das elektromagnetische Feld der Senderwindungsanordnung derart, dass in die Empfängerspulenpaare S1-/S1+,..., Cn+/Cn-1 elektrische Spannungen induziert werden, anhand derer auf die relative Stellung zwischen Maßverkörperung und Abtasteinrichtung geschlossen werden kann. Dabei handelt es sich um eine inkrementelle Positionsmesseinrichtung, d.h. es muss durch Zählen der Messmarkierungen ermittelt werden, an welcher Stelle der Maßverkörperung sich die Abtasteinrichtung befindet. Innerhalb des Teilungsabstandes λ kann die Position dagegen durch Interpolation absolut bestimmt werden.

[0004] Im Rahmen dieser Anmeldung wird eine Leiterbahnanordnung, welche im Wesentlichen das gleiche elektromagnetische Feld wie eine spulenförmige bzw. spiralförmig verlaufende Leiterbahn erzeugt, als effektive Spule bezeichnet. Hierbei ist insbesondere an eine Ausführungsform gedacht, bei der mehrere effektive Spulen durch eine schlangenlinienförmige Leiterbahn gebildet werden, wie sie beispielsweise aus der DE 10 2009 042 940 oder der US 3 466 580 bekannt ist.

[0005] In der Fig. 10 der EP 1 164 358 B1 ist das elektromagnetische Feld der Senderwindungsanordnung grobschematisch dargestellt. Hierbei ist zu erkennen, dass zwei benachbarte Senderspulen eine entgegen gesetzte Windungsrichtung aufweisen. Innerhalb jeder Senderspule ist ein Empfängerspulenpaar angeordnet, das aus zwei Einzelspulen besteht. Die beiden Einzelspulen haben eine entgegen gesetzte Windungsrichtung und sind in Reihe geschaltet, wobei deren Abstand $\lambda/2$ beträgt. Damit löschen sich induzierte Spannungen, welche durch äußere Störfelder erzeugt werden, gegenseitig aus. Die Messspannungen, die durch den Einfluss der Maßverkörperung erzeugt werden, summieren sich dagegen auf. Dabei kommt es darauf an, dass das Feld der Senderwindungsanordnung, das auf ein Empfängerspulenpaar einwirkt, bezüglich der Mittelachse des Empfängerspulenpaares symmetrisch ist. Wenn dies nicht der Fall ist, weist die Messspannung einen sogenannten DC-Offset auf, der die Messgenauigkeit beeinträchtigt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das elektromagnetische Feld, welches auf ein Empfängerspulenpaar einwirkt, nicht nur durch die zugeordnete Senderspule verursacht wird, sondern auch durch die benachbarten Senderspulen. Innerhalb der äußersten Senderspulen wirkt daher ein asymmetrisches Feld, weil diese nur auf einer Seite benachbarte Senderspulen haben. Dort sind daher keine Empfängerspulenpaare angeordnet.

[0006] Anzumerken ist noch, dass sich weder die Einzelspulen der Empfängerspulenpaare noch die Empfängerspulenpaare mit den Senderspulen überlappen. Die entsprechenden Leiterbahnen sind dabei in mehreren voneinander elektrisch isolierten ebenen Schichten angeordnet, wobei aufgrund der fehlenden Überlappungen eine geringst mögliche Anzahl an Schichten erforderlich ist.

[0007] Die verschiedenen Empfängerspulenpaare sind zu zwei Empfängerspulengruppen in Reihe geschaltet, nämlich einer Sinus- und einer Cosinus-Gruppe, deren Messspannungen um 90° phasenversetzt sind. Je mehr Empfängerspulenpaare eine Empfängerspulengruppe umfasst, desto stärker ist die entsprechende Messspannung. Darüber hinaus sinkt mit zunehmender Anzahl auch der Messfehler, da der Messfehler der gesamten Empfängerspulengruppe durch die Reihenschaltung immer kleiner ist, als der größte Messfehler eines einzelnen Empfängerspulenpaares. Aufgrund von Fertigungstoleranzen ist der Messfehler der einzelnen Empfängerspulenpaare deutlich unterschiedlich, wobei größere Ausreißer durch die Reihenschaltung ausgemittelt werden.

[0008] Der vorstehend beschriebene Mittelungseffekt tritt jedoch nicht auf, wenn die Positionsmesseinrichtung einen Fehler aufweist, der sich bei Bewegung der Abtasteinrichtung entlang der Messrichtung mit der Teilungsperiode λ wiederholt. Dabei ist beispielsweise an eine Maßverkörperung gedacht, bei der alle Messmarkierungen den gleichen Formfehler aufweisen. Ein derartiger Fehler induziert in allen Empfängerspulenpaaren einer Empfängerspulengruppe die gleiche Störspannung, so dass der Mittelungseffekt nicht zum Tragen kommt.

[0009] Aus der US 5 804 963 A1 ist eine induktive Positionsmesseinrichtung bekannt, welche anstelle von zwei Empfängerspulengruppen drei Empfängerspulengruppen aufweist.

[0010] Es ist klar, dass bei der Auswertung von drei Messspannungen wieder der obige Mittelungseffekt auftritt, so dass sich der größte Signalfehler nicht so stark auswirkt wie bei nur zwei Messspannungen. Es versteht sich von selbst, dass dieser Mittelungseffekt mit zunehmender Anzahl an Empfängerspulengruppen zunimmt.

[0011] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, bei einer Positionsmesseinrichtung nach dem Grundprinzip der EP 1 164 358 B1 die Messgenauigkeit zu verbessern. Hierfür sollen mehr als zwei Empfängerspulengruppen bereitgestellt werden, um den Mittelungseffekt zu nutzen. Dabei sollen keine Nachteile bei der Kompensation von Störspannungen gegeben sein. Darüber hinaus soll die Windungsanordnung der Abtasteinrichtung eine kleine Erstreckung in Messrichtung aufweisen. Weiter sollen sich die Messspannungen der verschiedenen Empfängerspulenpaare zu einer starken Gesamtspannung aufaddieren. Darüber hinaus muss zwischen zwei Empfängerspulenpaaren genügend Raum für die Senderwindungsanordnung vorhanden sein.

[0012] Gemäß dem selbständigen Anspruch wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die Anzahl n an Empfängerspulengruppen drei oder größer ist, wobei eine Anzahl n in Messrichtung hintereinander angeordneter Empfängerspulenpaare jeweils unterschiedlichen Empfängerspulengruppen angehören, wobei die Zuordnungen der Empfängerspulenpaare zu einer Empfängerspulengruppe in Messrichtung periodisch ist, wobei der Abstand δ zweier unmittelbar benachbarter Empfängerspulenpaare immer $\delta = (2 - 1/(2\,n))\,\lambda$ beträgt. Der Verdienst der Erfinder besteht dabei darin, die Merkmale bezüglich der Zuordnung der Empfängerspulenpaare zu den Empfängerspulengruppen von dem Fall $n = 2$ auf die Fälle $n \geq 3$ verallgemeinert zu haben. Dabei haben sie erkannt, dass die Vorgabe für den Abstand δ der Empfängerspulenpaare nicht ohne weiteres von dem Fall $n = 2$ auf die Fälle $n \geq 3$ verallgemeinert werden kann. Für den Fall $n = 2$ würde der erfindungsgemäße Abstand $\delta = 7/4\,\lambda$ betragen. Bei Anwendung der aus Fig. 14 der EP 1 164 358 B1 bekannten Formel $(n\,\lambda + \lambda/4)$ würde sich wahlweise ein Abstand von $\delta = 5/4\,\lambda$ oder von $\delta = 9/4\,\lambda$ ergeben. Die Erfinder haben aber erkannt, dass die erste Alternative nicht auf die Fälle für $n \geq 3$ verallgemeinerbar ist, weil zwischen den Empfängerspulenpaaren nicht mehr genügend Platz für die Senderwindungsanordnung zur Verfügung steht. Die zweite Alternative ist zwar grundsätzlich auf die Fälle $n \geq 3$ verallgemeinerbar, die Erfinder haben jedoch erkannt, dass es einen kürzeren Abstand δ gibt, der ebenfalls brauchbar ist.

[0013] Anzumerken ist noch, dass der Abstand δ immer $\delta = (2 - 1/(2\,n))\,\lambda$ beträgt. Hieraus folgt, dass Senderspulen, in denen kein Empfängerspulenpaar angeordnet ist, nur an den beiden Enden der Abtasteinrichtung vorhanden sein können.

[0014] In den abhängigen Ansprüchen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der Erfindung angegeben.

[0015] Die Senderwindungsanordnung kann eine erste und eine zweite Gruppe von Leiterbahnen aufweisen, deren Enden elektrisch leitend miteinander verbunden sind, wobei die Leiterbahnen einer Gruppe jeweils schlangenlinienartig mit geringem Abstand parallel zueinander verlaufen, wobei sich die Leiterbahnen der beiden Gruppen derart kreuzen, dass sie mehrere effektive Senderspulen definieren. Damit wird erreicht, dass alle effektiven Senderspulen vom selben Strom umflossen werden und mithin ein identisches Sendefeld erzeugen. Damit ist sichergestellt, dass die verschiedenen Empfängerspulenpaare alle einem ideal symmetrischen Feld ausgesetzt sind, so dass eine optimale Kompensation stattfindet.

[0016] Die Empfängerspulengruppen können an eine Auswerteeinheit angeschlossen sein, wobei die Auswerteeinheit mehrere Einzelwinkel α_{ij} aus den Ausgangsspannungen U_i; U_j je zweier Empfängerspulengruppen berechnen kann, wobei sie den Positionswinkel α als gewichteten Mittelwert der Einzelwinkel α_{ij} berechnen kann. Bei der aus der EP 1 164 358 B1 bekannten Positionsmesseinrichtung stehen nur zwei Ausgangsspannungen zur Verfügung, aus denen der Positionswinkel α berechnet wird. Dies geschieht auf mathematisch eindeutige Weise durch eine ArcTan-Berechnung, wobei die genannten Ausgangsspannungen zuvor mit dem A/D-Wandler digitalisiert werden. Bei der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung stehen jedoch mehr Ausgangsspannungen zur Verfügung als zur Berechnung des Positionswinkels α erforderlich sind. Mathematisch betrachtet ist also ein überbestimmtes Gleichungssystem zu lösen.

[0017] Aufgrund von Messfehlern ergibt sich dabei das Problem, dass dieses Gleichungssystem im mathematischen Sinne nicht lösbar ist. Aus der Fig. 6 der US 4 697 144 A1 ist es bekannt, mehrere Messspannungen durch analoge Verschaltung in ein Paar von Messspannungen umzuwandeln, aus denen in bekannter Weise mittels einer ArcTan-Berechnung der Positionswinkel berechnet werden kann. Hierbei wird die Annahme zugrunde gelegt, dass es sich bei den Messspannungen um reine Sinussignale handelt, so dass die Additionstheoreme gültig sind. In diesem Fall kann man aus zwei Messspannungen eine neue Spannung erzeugen, die eine vorgegebene Phasenverschiebung gegenüber den Ursprungsspannungen aufweist. Die dabei im mathematischen Sinne erforderlichen Additionen und Multiplikationen mit konstanten Faktoren kann man elektrisch durch ein Widerstandsnetzwerk abbilden.

[0018] Problematisch hierbei ist, dass die Ausgangsspannungen der vorliegenden Positionsmesseinrichtung nicht ideal sinusförmig sind, sie sind nur Sinus-ähnlich. Die Additionstheoreme gelten also nur in grober Annäherung. Bei dem vorgeschlagenen Berechnungsverfahren wird die Gültigkeit der Additionstheoreme nicht mehr vorausgesetzt. Darüber hinaus wird durch die Mittelwertbildung der Fehler minimierende Mittelungseffekt erzielt, der mit der erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung gerade erreicht werden soll.

[0019] Die Auswerteeinheit kann die Einzelwinkel α_{ij} als Lösung der Gleichung

$$f(\varphi_i - \alpha_{ij}) / U_i - k_{ij} * f((\varphi_j - \alpha_{ij}) / U_j = 0 \text{ mit } \varphi_i = (i - 1)\,\pi/n$$

[0020] bestimmen, wobei $f(\alpha)$ eine vorgegebene Sinus-ähnliche Funktion ist, welche die Positionsabhängigkeit der Ausgangsspannung der Spulengruppen nachbildet, wobei k_{ij} ein vorgegebener Korrekturfaktor ist, der die unterschiedlichen Empfindlichkeiten der beiden Spulengruppen S_i; S_j kompensiert. Die Funktion $f(\alpha)$ muss dabei vorab durch Messungen ermittelt werden. Namentlich muss ermittelt werden, wie sich die Ausgangsspannungen der Empfängerspulengruppen bei Verschiebung der Abtasteinrichtung gegenüber der Maßverkörperung ändern. Da die Senderwindungsanordnung vorzugsweise periodisch und die Empfängerspulengruppen vorzugsweise identisch ausgebildet sind, haben alle Empfängerspulengruppen die gleiche Funktion $f(\alpha)$. Der Korrekturfaktor k_{ij} beträgt 1, wenn alle Empfängerspulengruppen die gleiche Anzahl Empfängerspulenpaare aufweisen. Es sei aber auf eine Parallelanmeldung der Anmelderin mit dem gleichen Anmeldetag wie die vorliegende Anmeldung hingewiesen, deren Gegenstand eine Positionsmesseinrichtung der vorliegenden Art ist, bei der eine Empfängerspulengruppe ein Empfängerspulenpaar mehr aufweist als die übrigen Empfängerspulengruppen. Hier ist eine Korrektur der unterschiedlichen Empfindlichkeit erforderlich.

[0021] Die Lösung der obigen Gleichung kann in bekannter Weise mit der Newton-Iteration

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - f(\alpha_n) / f'(\alpha_n)$$

[0022] bestimmt werden. Dabei werden die Werte von $f(\alpha)$ und der entsprechenden Ableitung $f'(\alpha)$ vorzugsweise in einer Wertetabelle abgelegt, die in der Auswerteeinheit gespeichert ist. Aufgrund der Sinus-Ähnlichkeit von $f(\alpha)$ reicht es aus, wenn die Wertetabelle nur für einen Winkel-Quadranten angelegt wird. Die Funktionswerte der übrigen Winkel-Quadranten stimmen bis auf das Vorzeichen mit denen des ersten Winkel-Quadranten überein. Anzumerken ist noch, dass die obige Gleichung analog dem ArcTan mehrere Lösungen aufweist. Die korrekte Lösung kann in bekannter Weise durch Vorzeichenbetrachtung bezüglich der Messspannungen ermittelt werden.

[0023] Alle Einzelspulen der Empfängerspulenpaare können aus einer oder mehreren ebenen Spiralen bestehen, die vorzugsweise im Wesentlichen rechteckig ausgeführt sind. Mit dieser Ausführung kann die verfügbare Sensorfläche mit der größtmöglichen Leiterbahnlänge versehen werden, da nahezu die gesamte Sensorfläche mit Leiterbahnen belegt werden kann. Die vorgeschlagene Abtasteinrichtung hat damit die höchst mögliche Empfindlichkeit.

[0024] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es stellt dar:

[0025] Fig. 1 eine grobschematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung;

[0026] Fig. 2 eine grobschematische Draufsicht der Senderwindungsanordnung der Positionsmesseinrichtung nach Fig. 1; und

[0027] Fig. 3 eine grobschematische Draufsicht der Empfängerwindungsanordnung der Positionsmesseinrichtung nach Fig. 1.

[0028] Fig. 1 zeigt eine grobschematische Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Positionsmesseinrichtung 10. Die Positionsmesseinrichtung 10 umfasst eine Maßverkörperung 20 und eine Abtasteinrichtung 30. Die Maßverkörperung 20 besteht aus einer Vielzahl untereinander gleichen Messmarkierungen 21, welche mit einem konstanten Teilungsabstand λ periodisch entlang der Messrichtung 11 angeordnet sind. Die Maßverkörperung 20 kann beispielsweise von einem Metallband gebildet werden, das sich in Messrichtung 11 erstreckt, wobei die Messmarkierungen 21 von rechteckigen Durchbrüchen in dem Metallband definiert werden. Die Breite der Durchbrüche und die Breite der dazwischen liegenden Stege ist gleich groß und beträgt mithin $\lambda/2$. Weitere denkbare Ausführungsformen sind in der EP 1 164 358 B1 mit Bezug auf die dortige Fig. 2 erläutert.

[0029] Die Abtasteinrichtung 30 ist in Messrichtung 11 gegenüber der Maßverkörperung 20 beweglich, wobei die Positionsmesseinrichtung 10 ein Abtastsignal U_1, U_2, U_3 ausgibt, anhand dessen die Relativposition der genannten Bauteile 20, 30 bestimmt werden kann. Die Maßverkörperung 20 ist dabei entgegen der Darstellung in Fig. 1 erheblich länger als die Abtasteinrichtung 30, damit die Positionsmesseinrichtung 10 einen genügend großen Messweg aufweist.

[0030] An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die Figuren 1 bis 3 bezüglich der Messrichtung 11 maßstäblich gezeichnet sind. Insbesondere ist die Stellung der verschiedenen effektiven Spulen S_{ij}, E_{ij} gegenüber den Messmarkierungen 21 entsprechend den tatsächlichen Verhältnissen dargestellt. Besonders hinzuweisen ist darauf, dass das erste Empfängerspulenpaar E_{11} die gleiche Relativstellung gegenüber der zugeordneten Messmarkierungen 21 einnimmt wie das letzte Empfängerspulenpaar E_{13}. In der Richtung senkrecht zur Messrichtung 11 sind die Größenverhältnisse der Übersichtlichkeit halber stark übertrieben dargestellt. Die Maßverkörperung besitzt beispielsweise einen Teilungsabstand von 1,0 mm, wobei deren Dicke beispielsweise 0,3 mm beträgt. Die Dicke der verschiedenen planaren Leiterbahnanordnungen in der Abtasteinrichtung 30 beträgt beispielsweise 0,3 mm.

[0031] In Fig. 1 ist der konstante Teilungsabstand der Abtasteinrichtung 30, nämlich der Abstand zweier Empfängerspulenpaare E_{ij} mit δ bezeichnet. Zwischen dem Teilungsabstand λ der

Maßverkörperung 20 und dem Teilungsabstand δ der Abtasteinrichtung 30 gilt bei der Ausführungsform gemäß den Fig. 1 bis 3 die Beziehung $6 \times \delta = 11 \times \lambda$. Bei dieser Auswahl wird eine Abtasteinrichtung mit drei Gruppen von Empfängerspulenpaaren E_{ij} realisiert, wobei zwischen zwei benachbarten Empfängerspulenpaaren E_{ij} jeweils genügend Abstand für die Senderwindungsanordnung vorhanden ist, so dass sich die Sender- und die Empfängerwindungsanordnung 40; 50 nicht überlappen. Entsprechend des obigen Zusammenhangs zwischen den Teilungsabständen δ und λ sind drei Gruppen von Empfängerspulenpaaren E_{ij} vorgesehen, deren Abtastsignale U_1, U_2, U_3 um 120° phasenversetzt sind. Man erkennt leicht, dass die erfindungsgemäße Beziehung $\delta = (2 - 1/(2\,n))\,\lambda$ mit $n = 3$ erfüllt ist. Es gilt nämlich $\delta = (12/6 - 1/6)\,\lambda$, = $11/6\,\lambda$.

[0032] Fig. 2 zeigt eine grobschematische Draufsicht der Senderwindungsanordnung 40. Die Senderwindungsanordnung 40 besteht aus einer ersten und einer zweiten Gruppe 41; 42 von Leiterbahnen, wobei in Fig. 2 nur jeweils eine einzige Leiterbahn jeder Gruppe dargestellt ist. Tatsächlich umfasst jede Leiterbahngruppe 41; 42 eine Vielzahl von Leiterbahnen, die mit geringem Abstand parallel zueinander angeordnet sind. Die Leiterbahnen jeder Leiterbahngruppe 41; 42 verlaufen jeweils in Form einer Rechteck- Schlangenlinie, wobei sie sich derart kreuzen, dass sie eine Vielzahl von effektiven Senderspulen S_{ij} definieren. Entgegen der Darstellung in Fig. 2 verlaufen die Leiterbahnen im Kreuzungsbereich 43 genau parallel, so dass die effektiven Senderspulen S_{ij} jeweils genau die Form eines Rechtecks aufweisen. Die einzelnen effektiven Senderspulen S_{ij} sind dabei alle im Wesentlichen identisch ausgeführt, so dass sie alle das gleiche elektromagnetische Feld erzeugen. Dabei ist jede effektive Senderspule S_{ij} spiegelsymmetrisch zu einer zugeordneten Mittelachse 31 ausgeführt. Die Senderwindungsanordnung definiert damit ebenfalls den Teilungsabstand δ der Abtasteinrichtung 30. Die beiden Gruppen von Leiterbahnen 41; 42 sind jeweils in verschiedenen, voneinander elektrisch isolierten Schichten angeordnet, so dass im Kreuzungsbereich 31 keine elektrisch leitende Verbindung zwischen den beiden Gruppen von Leiterbahnen 41; 42 besteht. Je eine Leiterbahn der ersten und der zweiten Gruppe ist über eine Durchkontaktierung 44 elektrisch leitend so miteinander verbunden, dass alle Leiterbahnen von einem einzigen Spannungsanschluss U_S mit Strom versorgt werden können. Die Senderwindungsanordnung 40 wird im Betrieb mit Wechselspannung versorgt, der beispielsweise eine Frequenz von 100 kHz aufweist. Die erforderliche Frequenz ergibt sich aus der maximalen Verfahrgeschwindigkeit der Positionsmesseinrichtung 10 und dem Teilungsabstand λ der Maßverkörperung 20.

[0033] Die Stromrichtung der einzelnen effektiven Senderspulen S_{ij} ist in Fig. 2 durch kreisförmige Pfeile dargestellt. Hinzuweisen ist darauf, dass die vorliegende Leiterbahnanordnung zwangsläufig zur Folge hat, dass zwei benachbarte effektive Senderspulen S_{ij} jeweils die entgegen gesetzte Windungs- bzw. Stromrichtung aufweisen. Die Stromstärke und damit die Feldstärke jeder effektiven Senderspule S_{ij} kann mittels der Anzahl der parallelen Leiterbahn auf jeden beliebigen Wert eingestellt werden. In der Regel wird man dabei eine höchst mögliche Senderfeldstärke wählen. Man wird also den Bauraum zwischen den Empfängerspulenpaaren E_{ij} mit der höchst möglichen Anzahl an parallelen Leiterbahnen versehen, die technisch sicher herstellbar ist.

[0034] Fig. 3 zeigt eine grobschematische Draufsicht der Empfängerwindungsanordnung 50. Die Empfängerwindungsanordnung 50 umfasst eine Vielzahl von Empfängerspulenpaaren E_{ij}. Jedes Empfängerspulenpaar E_{ij} besteht aus zwei komplementären Einzelspulen En_{ij}, Ep_{ij}, d.h. die Einzelspulen sind im Wesentlichen identisch ausgeführt, wobei sie eine entgegen gesetzte Windungsrichtung aufweisen. Die beiden Einzelspulen En_{ij}, Ep_{ij} besitzen die Form einer Rechteckspirale, wobei deren Abstand $\lambda/2$ beträgt. Die Rechteckspiralen weisen jeweils eine Vielzahl von Windungsumläufen auf, wobei in Fig. 3 nur jeweils ein einziger Windungsumlauf gezeigt ist. Die entgegen gesetzte Windungsrichtung der Einzelspulen En_{ij}, Ep_{ij} ist in Fig. 3 mit rechteckigen Pfeilen angegeben. In Fig. 1 kennzeichnet ein Minuszeichen eine Windungsrichtung entgegen dem Uhrzeigersinn und ein Pluszeichen eine Windungsrichtung im Uhrzeigersinn. Bei der vorliegenden Ausführungsform weisen alle Empfängerspulenpaare E_{ij} die gleiche Windungsrichtung auf.

[0035] Die Empfängerspulenpaare E_{ij} sind jeweils zu Empfängerspulengruppen in Reihe geschaltet. Die erste Empfängerspulengruppe umfasst die Empfängerspulenpaare E_{11}, E_{12}, E_{13}, die zweite Empfängerspulengruppe die Empfängerspulenpaare E_{21}, E_{22} und die dritte Empfängerspulengruppe die Empfängerspulenpaare E_{31}, E_{32}. Die in Fig. 3 eingezeichneten Verbindungsleiterbahnen stellen die Verschaltung der Empfängerspulen im Sinne eines Schaltplans korrekt dar, wobei im Übrigen kein Bezug zum tatsächlichen Leiterbahnverlauf vorhanden ist. Die einzelnen Empfängerspulenpaare E_{ij} einer Empfängerspulengruppe besitzen jeweils die gleiche Relativstellung gegenüber der zugeordneten Messmarkierung 21 oder eine um 180° phasenverschobene Relativstellung. Der Abstand der Empfängerspulenpaare E_{ij} ist dementsprechend ein ganzzahliges Vielfaches des Teilungsabstandes λ bzw. von $\lambda/2$. Soweit eine Phasenverschiebung vorhanden ist, besitzt die zugeordnete effektive Senderwindungsanordnung S_{ij} einen umgekehrten Windungssinn, damit sich die in den Empfängerspulenpaaren induzierten Messspannungen aufaddieren und nicht auslöschen.

[0036] Bei der vorliegenden Ausführungsform sind die Empfängerspulenpaare E_{11}, E_{12} und E_{13} zu einer ersten Gruppe von Empfängerspulenpaaren in Reihe geschaltet. Die Empfängerspulenpaare E_{11} und E_{13} weisen dabei jeweils die gleiche Relativstellung zur zugeordneten Messmarkierung auf, wobei die zugeordneten effektiven Senderspulen S_{11} und S_{13} die gleiche Windungsrichtung aufweisen. Das Empfängerspulenpaar E_{12} ist dagegen um 180° phasenverschoben gegenüber der zugeordneten Messmarkierung angeordnet, wobei die Senderspule S_{12} gegenüber den Senderspulen S_{11} und S_{13} eine entgegen gesetzte Windungsrichtung aufweist. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass alle Empfängerspulen die gleiche Windungsrichtung aufweisen. Die erforderliche Umpolung des Empfängerspulenpaares E_{12} könnte man selbstverständlich auch durch eine Umkehrung seiner Windungsrichtung erzeugen. Dies kommt bei der vorliegenden Ausführungsform aber nicht in Betracht, da durch den vorliegenden Aufbau der Senderwindungsanordnung 40 die Windungsrichtungen der einzelnen effektiven Senderspulen S_{ij} fest vorgegeben ist.

[0037] Die Auswerteeinheit ist in den Figuren nicht dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine Baugruppe, die mit den Anschlüssen U_1, U_2 und U_3 der Empfängerwindungsanordnung 50 verbunden ist, an denen die Ausgangsspannungen der Empfängerspulengruppen anliegen. Diese werden im Rahmen der vorliegenden Anmeldung auch als Messspannungen bezeichnet. Vorzugsweise erzeugt die Auswerteeinheit auch die Versorgungsspannung U_S der Senderwindungsanordnung, so dass die Auswerteeinheit auch mit deren Anschluss U_S verbunden ist.

BEZUGSZEICHENLISTE

λ	Teilungsabstand der Maßverkörperung
δ	Teilungsabstand der Abtasteinrichtung
S_{ij}	effektive Senderspule
U_S	Spannungsanschluss der Senderwindungsanordnung
En_{ij}, Ep_{ij}	Einzelspule
E_{ij}	Empfängerspulenpaar, bestehend aus den Einzelspulen En_{ij}, Ep_{ij}
U_i	Spannungsanschluss der Empfängerwindungsanordnung
10	Positionsmesseinrichtung
11	Messrichtung
20	Maßverkörperung
21	Messmarkierung
30	Abtasteinrichtung
31	Mittelachse eines Abtastelements
40	Senderwindungsanordnung
41	erste Gruppe von Leiterbahnen
42	zweite Gruppe von Leiterbahnen
43	senkrecht zur Messrichtung verlaufender Abschnitt; Kreuzungsbereich
44	Durchkontaktierung
50	Empfängerwindungsanordnung.
51	Abstand des ersten und des letzten Empfangerspulenpaares

Patentansprüche

1. Positionsmesseinrichtung (10) umfassend eine Maßverkörperung (20) und eine Abtasteinrichtung (30), wobei an der Maßverkörperung (20) entlang einer Messrichtung (11) periodisch angeordnete, untereinander gleiche Messmarkierungen (21) vorgesehen sind, die einen Teilungsabstand λ aufweisen,
wobei die Abtasteinrichtung (30) gegenüber der Maßverkörperung (20) in Messrichtung (11) beweglich ist,
wobei die Abtasteinrichtung eine Senderwindungsanordnung (40) aufweist, deren elektromagnetisches Feld von den Messmarkierungen (21) der Maßverkörperung (20) beeinflusst werden kann,
wobei die Senderwindungsanordnung (40) mehrere entlang der Messrichtung (11) periodisch angeordnete, planare, sich nicht überlappende effektive Senderspulen (S_{ij}) aufweist, wobei zwei unmittelbar benachbarte Senderspulen (S_{ij}) eine entgegen gesetzte Windungsrichtung aufweisen,
wobei innerhalb wenigstens eines Teils der Senderspulen (S_{ij}) je ein einziges planares Empfängerspulenpaar (E_{ij}) angeordnet ist, welches jeweils zwei effektive Einzelspulen (En_{ij}, Ep_{ij}) aufweist, die mit entgegen gesetzter Windungsrichtung in Reihe geschaltet sind, wobei sie in Messrichtung (11) mit einem Abstand von $\lambda/2$ versetzt angeordnet sind, wobei alle effektiven Einzelspulen (En_{ij}, Ep_{ij}) mit Ausnahme der Windungsrichtung gleich ausgeführt sind, wobei sich die Empfängerspulenpaare (E_{ij}) und die Senderwindungsanordnung nicht überlappen,
wobei eine Anzahl n an Empfängerspulengruppen vorgesehen ist, die jeweils mehrere Empfängerspulenpaare (E_{ij}) umfassen, die so in Reihe geschaltet sind, dass sich ihre Ausgangsspannungen aufsummieren, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl n an Empfängerspulengruppen drei oder größer ist, wobei eine Anzahl n in Messrichtung hintereinander angeordneter Empfängerspulenpaare (E_{ij}) jeweils unterschiedlichen Empfängerspulengruppen angehören, wobei die Zuordnungen der Empfängerspulenpaare (E_{ij}) zu einer Empfängerspulengruppe in Messrichtung (11) periodisch ist, wobei der Abstand δ zweier unmittelbar benachbarter Empfängerspulenpaare (E_{ij}) immer $\delta = (2 - 1/(2n)) \lambda$ beträgt.

2. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Senderwindungsanordnung (40) eine erste und eine zweite Gruppe (41; 42) von Leiterbahnen aufweist, deren Enden elektrisch leitend miteinander verbunden (44) sind, wobei die Leiterbahnen einer Gruppe (41; 42) jeweils schlangenlinienartig mit geringem Abstand parallel zueinander verlaufen, wobei sich die Leiterbahnen der beiden Gruppen (41; 42) derart kreuzen, dass sie mehrere effektive Senderspulen (S_{ij}) definieren.

3. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Empfängerspulengruppen an eine Auswerteeinheit angeschlossen sind, wobei die Auswerteeinheit mehrere Einzelwinkel α_{ij} aus den Ausgangsspannungen U_i; U_j je zweier Empfängerspulengruppen berechnen kann, wobei sie den Positionswinkel α als gewichteten Mittelwert der Einzelwinkel α_{ij} berechnen kann.

4. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit die Einzelwinkel α_{ij} als Lösung der Gleichung
$$f(\varphi_i - \alpha_{ij})/U_i - k_{ij} * f(\varphi_j - \alpha_{ij})/U_j = 0 \qquad \text{mit} \qquad \varphi_i = (i-1)\pi/n$$
bestimmen kann, wobei f(α) eine vorgegebene Cosinus-ähnliche Funktion ist, welche die Positionsabhängigkeit der Ausgangsspannung der Spulengruppen nachbildet, wobei k_{ij} ein vorgegebener Korrekturfaktor ist, der die unterschiedlichen Empfindlichkeiten der beiden Spulengruppen kompensiert.

5. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass alle Einzelspulen (En_{ij}, Ep_{ij}) der Empfängerspulenpaare (E_{ij}) aus einer oder mehreren ebenen Spiralen bestehen, die vorzugsweise rechteckig ausgeführt sind.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

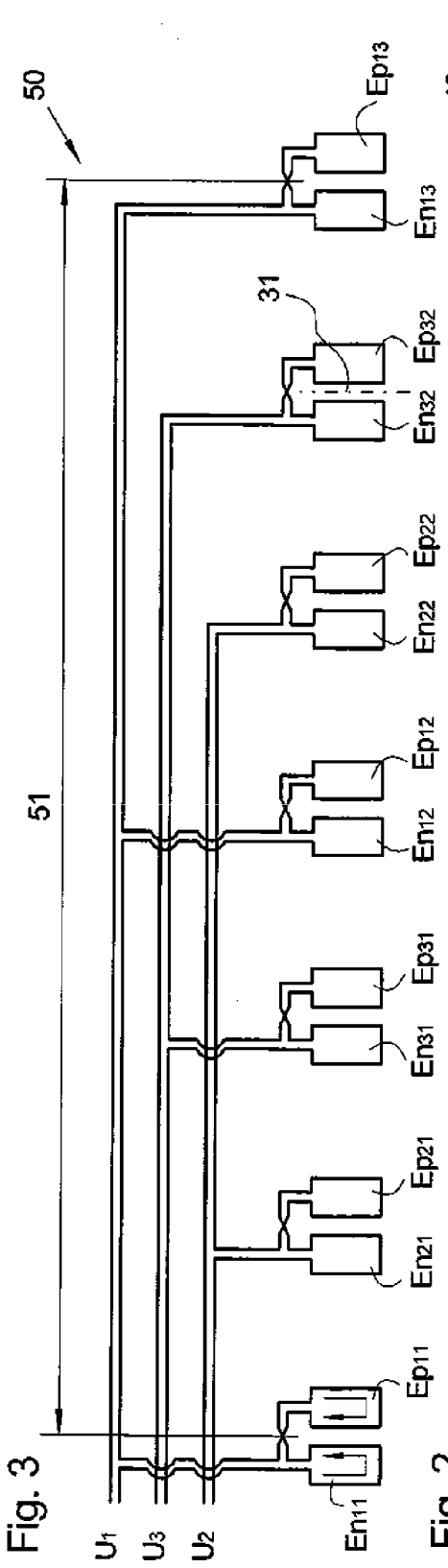


Fig. 3

Fig. 2

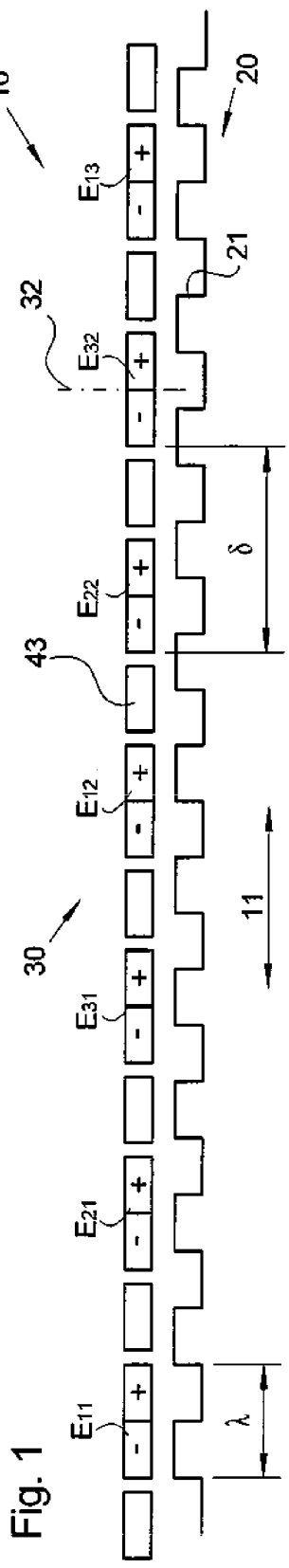


Fig. 1