



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 03 263 T2** 2004.05.06

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 059 511 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G01D 5/12**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 03 263.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 101 207.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **21.01.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.12.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **11.06.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.05.2004**

(30) Unionspriorität:

MI991313 11.06.1999 IT

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

Gefran Sensori S.r.l., Provaglio d'Iseo, Brescia, IT

(72) Erfinder:

Piana, Ermete, 25049 Iseo (Brescia), IT

(74) Vertreter:

Dr. B. Huber und Kollegen, 81825 München

(54) Bezeichnung: **Magnetostriktiver positionsmessender Wandler mit hoher Messgenauigkeit**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung mit hoher Meßgenauigkeit. Insbesondere betrifft die Erfindung eine solche Vorrichtung, die einen vereinfachten Aufbau und eine verbesserte Meßgenauigkeit im Hinblick auf herkömmliche Wandler ermöglicht.

[0002] Die Position wird unter Verwendung eines Positionsmarkers vom magnetischen Typ gemessen.

[0003] Insbesondere umfasst eine Vorrichtung der oben angeführten Bauart eine Röhre, die aus einer Speziallegierung hergestellt ist, welche von einem Kupferleiter gekreuzt wird, an den ein Stromimpuls angelegt wird. Der Kupferleiter muss den Stromimpuls von dem einen Ende der Legierungsröhre zu dem anderen leiten und den Stromimpuls zu dem Ausgangspunkt zurückbringen, um den Kreis zu schließen.

[0004] Ein Positionsmarker (Permanentmagnet) bestimmt die Messung der Position des Arbeitsbereichs für den Wandler. Die Feldlinien des Positionsmarkers verlaufen senkrecht zu dem Wirbelfeld, das durch den Stromimpuls in der Legierungsröhre erzeugt wird, und sammeln sich auch in dem Meßpunkt. In diesem Punkt stehen die Magnetfelder miteinander in Wechselwirkung und verursachen in der Mikrozone des Aufbaus eine elastische Torsionsverformung aufgrund einer magnetostriktiven Wirkung. Diese Verformung ist in jeder Hinsicht eine mechanische Torsionswelle, die sich in den beiden Richtungen der Röhre ausbreitet. An dem einen Ende wird die Ausbreitung der mechanischen Welle durch angepasste Dämpfungsmittel gedämpft, während an dem gegenüberliegenden Ende die mechanische Welle mittels eines induktiven Meßfühlers erfasst und in ein elektrisches Signal umgewandelt wird. Die Zeitverzögerung zwischen dem Erregungsimpuls (Stromimpuls), der an dem einen Ende der Röhre angelegt wird, und der magnetostriktiven Rückkehr stellt die Position des Positionsmarkers (Permanentmagnet) dar.

[0005] Herkömmliche magnetostriktive Wandler haben den Nachteil, dass sie für den Strom in der Röhre (entlang des Kupferleiters) eine abgehende Leitung und für denselben Strom eine Rückleitung durch einen Kupferleiter, der zusammen mit dem den abgehenden Stromimpuls leitenden Kupferleiter eine geschlossene Leitung bildet, zur Verfügung stellen müssen.

[0006] Da eine abgehende Leitung und eine Rückleitung erforderlich sind, ist es daher notwendig, einen Kupferleiter für die abgehende Leitung und einen ähnlichen, damit verbundenen Leiter für die Rückleitung zur Verfügung zu stellen. Dies bringt für den magnetostriktiven Wandler bauliche Schwierigkeiten mit sich, und zwar auch im Hinblick auf die begrenzten Abmessungen des Wandlers.

[0007] Darüber hinaus ist eine Dämpfung der mechanischen Welle sehr wichtig, da in dem Fall, in welchem die sich in Richtung auf das eine Ende der Röh-

re ausbreitende Welle gegenüber dem Ende, an dem die Welle erfasst werden soll, nicht angemessen gedämpft wird, Wellenreflexionen auftreten können, die die mechanische Welle, die erfasst werden soll, konstruktiv oder destruktiv stören und so die korrekte Messung beeinträchtigen.

[0008] Die Dämpfung der mechanischen Welle wird allein dem Vorhandensein von Dämpfungselementen anvertraut, wie beispielsweise Silikonkautschuk-Dämpfern, die das Dämpfen der mechanischen Wellen entlang der magnetostriktiven Röhre ermöglichen; manchmal allerdings ist diese Lösung nicht ganz zufriedenstellend.

[0009] Eine Lösung des Standes der Technik ist in der DE 42 44 204 offenbart, die einen magnetostriktiven Wandler betrifft, der eine Begrenzungsröhre umfasst, welche eine magnetostriktive Röhre aufnimmt, in der ein leitender Draht untergebracht ist. An dem einen Ende der magnetostriktiven Röhre sind Wandlermittel vorgesehen, um ein Signal zu erfassen und ein Positionsmaß zur Verfügung zu stellen. Diese Lösung stellt allerdings keine Mittel zum Dämpfen von mechanischen Wellen, die nach dem Anlegen eines Stromimpulses an den leitenden Draht erzeugt werden, zur Verfügung.

[0010] Eine weitere Lösung des Standes der Technik ist in dem US-Patent Nr. 5,804,961 offenbart, das eine magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung betrifft, welche einen Hohlleiter aufweist, der sich zwischen gegenüberliegenden verankerten Enden erstreckt. Ein piezoelektrisches Filmelement ist mit dem Hohlleiter verbunden, um ein Drehverformungssignal abzutasten, das an den Hohlleiter angelegt ist. Selbst diese Lösung stellt keine Mittel zum Dämpfen von mechanischen Wellen, die in der Vorrichtung erzeugt werden, zur Verfügung.

[0011] Das Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung mit hoher Meßgenauigkeit zur Verfügung zu stellen, die mit einem Aufbau hergestellt werden kann, der im Hinblick auf herkömmliche Wandler vereinfacht ist.

[0012] Im Umfang dieses Ziels besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung mit hoher Meßgenauigkeit zur Verfügung zu stellen, bei der die mechanische Welle in optimaler Weise gedämpft ist, um zu verhindern, dass die durch den Wandler vorgegebene Messung gestört wird.

[0013] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung mit hoher Meßgenauigkeit zur Verfügung zu stellen, bei der die äußeren Schwingungen, denen der Wandler unterworfen werden kann, die Meßgenauigkeit gar nicht beeinflussen oder nur sehr minimal beeinflussen.

[0014] Eine noch andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung mit hoher Meßgenauigkeit zur Verfügung zu stellen, die äußerst zuverlässig und re-

lativ leicht herzustellen ist sowie mit wettbewerbsfähigen Kosten produziert werden kann.

[0015] Dieses Ziel, diese Aufgaben u.a., die nachfolgend veranschaulicht sind, werden durch eine Vorrichtung des Anspruchs 1 erzielt.

[0016] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung einer bevorzugten, aber nicht der einzigen, Ausführungsform des Wandlers nach der Erfindung deutlich; sie sind nur mittels eines nicht beschränkenden Beispiels in der beigefügten Zeichnung veranschaulicht, worin:

[0017] **Fig. 1** eine Schnittansicht des magnetostriktiven Wandlers nach der Erfindung ist, bei dem allerdings die Permanentmagneten, die dazu geeignet sind, die magnetostriktive Wirkung zur Verfügung zu stellen, nicht gezeigt sind; und

[0018] **Fig. 2** eine detaillierte Schnittansicht von Abschnitten der **Fig. 1** ist.

[0019] Mit Bezug auf die obigen Figuren umfasst der magnetostriktive Wandler nach der Erfindung, der allgemein durch die Bezugszahl **20** gekennzeichnet ist, eine äußere metallische Begrenzungsröhre **1**, die die Umhüllung bildet, um den eigentlichen magnetostriktiven Wandler zu begrenzen; die Röhre nimmt innen eine Röhre auf, die aus einem magnetostriktiven Material **2** hergestellt ist, in welchem wiederum innen ein leitender Draht **3** untergebracht ist, der vorzugsweise aus Kupfer hergestellt ist und den Stromimpuls von dem einen Ende zu dem anderen der magnetostriktiven Röhre **2** leiten soll.

[0020] Eine der Besonderheiten der Erfindung besteht darin, dass die Rückleitung des durch den Leiter **3** fließenden Stroms durch die äußere Begrenzungsröhre **1**, die aus einem nicht magnetischen, metallischen Material hergestellt ist, bereitgestellt wird. Zu diesem Zweck wird eine Verbindung zwischen der aus einem magnetostriktiven Material hergestellten Röhre **2** und der die Röhre **2** aufnehmenden Begrenzungsröhre **1** vorgesehen. Die Verbindung wird durch leitende Mittel, die dazu geeignet sind, eine elektrische Kontinuität zwischen dem Kupferleiter **3** und der äußeren Röhre **1** vorzusehen, zur Verfügung gestellt. Die leitenden Mittel können zum Beispiel durch einen Verschluß- und Kontaktstopfen **4** vorgesehen werden, der an dem Ende der Begrenzungsröhre **1**, das gegenüber dem Ende liegt, an welchem Strom in den leitenden Draht **3** eingespeist wird, angeordnet ist.

[0021] An dem Ende der Begrenzungsröhre **1**, an dem der Verschlußstopfen **4** vorgesehen ist, sind auch Dämpfungsmittel **5** vorgesehen, die zum Beispiel aus einem Silikonkautschuk hergestellt und um die magnetostriktive Röhre **2** herum angeordnet sind, um so die mechanischen Wellen zu dämpfen, die entlang der magnetostriktiven Röhre **2** in Richtung auf das Ende weitergeleitet werden, das dem Ende, an dem die mechanischen Wellen tatsächlich erfasst und in elektrische Signale umgewandelt werden sollen, gegenüberliegt.

[0022] Um diese Wellen weiter zu dämpfen, ist die magnetostriktive Röhre **2** mit mindestens einer Kerbe **6** ausgestattet, die zwischen den Dämpfungsmitteln **5** und dem Verschlußstopfen **4** ausgebildet ist, so dass die magnetostriktive Röhre **2** axial starr wird und drehverformbar ist.

[0023] Zu diesem Zweck ist es möglich, ein Paar Kerben **6** vorzusehen, die im Wesentlichen so angeordnet sind, dass sie einander gegenüberliegen und gegeneinander versetzt sind.

[0024] Es wird auch eine Zentrierröhre **7** aus Silikon zur Verfügung gestellt, die zwischen der Begrenzungsröhre **1** und der magnetostriktiven Röhre **2** angeordnet ist; Die Zentrierröhre aus Silikon ist vorteilhafterweise teilweise um die magnetostriktive Röhre **2** herum mittels Klemmringen **8** befestigt, die in Abständen entlang des Umfangs der magnetostriktiven Röhre **2** angeordnet sind.

[0025] An dem Ende der Begrenzungsröhre **1**, das gegenüber dem Ende liegt, an dem der Verschlußstopfen **4** vorgesehen ist, gibt es Signalwandlermittel, die dazu geeignet sind, die mechanischen Wellen zu erfassen, welche sich entlang der magnetostriktiven Röhre **2** nach dem Einleiten eines Stromimpulses entlang des Kupferleiters **3** ausbreiten.

[0026] Die Wandlermittel umfassen vorteilhafterweise eine Spule **9**, die um die magnetostriktive Röhre **2** herum angeordnet ist und von einem Auflageelement **10** getragen wird. Vorteilhafterweise ist die Spule **9** in einem Begrenzungselement **11** enthalten, das an dem Kopfende der Begrenzungsröhre **1** angeordnet ist und mit einer gedruckten Schaltung **12** verbunden ist; ein Verbinder **13** ist mit der gedruckten Schaltung verbunden, um eine Verbindung zu Mitteln zum Empfangen des zurückkehrenden Signals, das durch die Wandlermittel **9** gebildet wird, zur Verfügung zu stellen.

[0027] Der leitende Draht **3** aus Kupfer überragt das Ende der Begrenzungsröhre **1**, das mit der gedruckten Schaltung **12** verbunden ist und ermöglicht es, dass an seinem Ende **14** ein Stromimpuls an den leitenden Draht **3** angelegt werden kann, wobei der Impuls sich folglich entlang des Leiters ausbreitet, bis er das gegenüberliegende Ende der magnetostriktiven Röhre **2** erreicht.

[0028] In der Praxis ermöglicht es das Anlegen des Stromimpulses an das Ende **14** des Leiters **3**, sofort ein kreisförmiges magnetisches Feld entlang der magnetostriktiven Röhre **2** zu erzeugen. Die Verwendung eines Permanentmagneten (oder einer Mehrzahl von Magneten), die so angeordnet sind, dass ihre Achse senkrecht zu der Achse der magnetostriktiven Röhre **2** liegt, ermöglicht es, Feldlinien zu erhalten, die senkrecht zu dem in der magnetostriktiven Röhre **2** erzeugten Feld verlaufen. Genau an dem Punkt, der dem Mittelpunkt des Magneten entspricht, von dem aus sich die Kraftlinien radial erstrecken und auseinander laufen, tritt eine Wechselwirkung zwischen den magnetischen Feldern auf, die durch den Magneten und durch den Strom, der durch die mag-

netostriktive Röhre **2** fließt, erzeugt wird; diese Wechselwirkung verursacht durch einen magnetostriktiven Effekt eine elastische Torsionsverformung, d.h. es wird eine mechanische Torsionswelle erzeugt, die sich mit entgegengesetzten Vorzeichen in beiden Richtungen der magnetostriktiven Röhre ausbreitet.

[0029] An dem einen Ende und insbesondere an dem Ende, an dem die Dämpfungsmittel **5** und die Kerben **6** vorgesehen sind, wird die mechanische Welle gedämpft, während an dem gegenüberliegenden Ende die mechanische Welle mittels der Wandlerrmittel **9** erfasst wird, die sie in ein geeignetes elektrisches Signal umwandeln. Die Verzögerung zwischen dem Erregungsimpuls, der in den Leiter **3** eingespeist wird, und der magnetostriktiven Rückkehr, gibt unter Berücksichtigung der (bekannten) Ausbreitungsgeschwindigkeit der mechanischen Welle einen Hinweis auf die Position der Permanentmagneten entlang des Umfangs der Begrenzungsröhre **1**.

[0030] Der Wandler nach der Erfindung macht es daher möglich, die Rückleitung des Erregungsstromimpulses entlang der Begrenzungsröhre **1** anstatt entlang eines Rückleitungsdrahts – ähnlich dem Leiter, in dem sich der Impuls ausbreitet – durch die Tatsache vorzusehen, dass die magnetostriktive Röhre mit dem Leiter mittels des Verschlußstopfens **4** verbunden ist.

[0031] Darüber hinaus wird die Dämpfung der mechanischen Welle nicht nur durch das Vorhandensein von Dämpfungsmitteln **5** sondern auch durch das Vorhandensein der Kerbe oder der Kerben **6** erleichtert, die es ermöglichen, dass die magnetostriktive Röhre drehbeweglich und axial starr gefertigt werden kann.

[0032] Die im Wesentlichen vollständige Dämpfung der mechanischen Wellen, die sich in Richtung auf das distale Ende der magnetostriktiven Röhre **2** ausbreiten, d.h. in Richtung auf das Ende, das dem Ende gegenüberliegt, an dem der Stromimpuls eingeführt wird, verhindert die Entstehung von mechanische Rückwellen, die die mechanische Rückwelle, die durch die Wandlerrmittel **9** erfasst wird, stören und verhindert so jede Beeinflussung der Messung des magnetostriktiven Wandlers.

[0033] Die Verzögerung zwischen dem Stromimpuls, der in den Leiter **3** eingespeist wird, und der mechanischen Welle, die durch die Wandlerrmittel **9** erfasst wird, stellt tatsächlich die Position dar, die durch den Permanentmagneten entlang des Umfangs der Begrenzungsröhre **1** angenommen werden. Wenn die Verzögerung auf irgendeine Weise beeinflusst wird, entweder aufgrund von äußeren Störungen oder aufgrund der Störung der mechanischen Wellen, wird die erfasste Messung ungenau.

[0034] In der Praxis ist beobachtet worden, dass der magnetostriktive Wandler nach der Erfindung die beabsichtigten Ziele und Aufgaben voll erreicht, da er es ermöglicht, den baulichen Aufbau des Wandlers zu vereinfachen, indem er eine Rückleitung für den Stromimpuls vermeidet und dafür die äußere Begren-

zungsröhre verwendet und weiter zusätzliche Mittel zum Dämpfen der mechanischen Welle, die aufgrund des Anlegens eines Stromimpulses erzeugt wird, zur Verfügung stellt.

[0035] Der so konzipierte Wandler ist zahlreichen Modifikationen und Änderungen zugänglich, von denen alle im Umfang des erfinderischen Konzepts liegen; alle Details können auch durch andere technische äquivalente Elemente ersetzt werden.

[0036] In der Praxis können je nach den Erfordernissen und dem Stand der Technik alle möglichen Materialien und alle möglichen Abmessungen verwendet werden, solange sie mit der spezifischen Verwendung vereinbar sind.

Patentansprüche

1. Magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung (**20**) mit hoher Meßgenauigkeit, umfassend:

- eine Begrenzungsröhre (**1**), die eine magnetostriktive Röhre (**2**) aufnimmt, in der ein leitender Draht (**3**) untergebracht ist;
- Wandlerrmittel (**9**, **11**), die an einem Ende der magnetostriktiven Röhre (**2**) vorgesehen sind;
- Mittel (**12**, **13**) zum Erfassen eines von den Wandlerrmitteln (**9**, **11**) aufgenommenen Signals, wobei erstere mit den Wandlerrmitteln verbunden sind;
- **dadurch gekennzeichnet**, dass sie folgendes umfasst:

- Mittel zum Dämpfen mechanischer Wellen, die nach dem Anlegen eines Stromimpulses an den leitenden Draht (**3**) erzeugt werden; wobei die Mittel am Ende der magnetostriktiven Röhre (**2**) gegenüber dem Ende (**14**), an das der Stromimpuls angelegt wird, angeordnet sind und mindestens eine Kerbe (**6**) umfassen, die an der Außenfläche der magnetostriktiven Röhre (**2**) ausgebildet ist; und dass
- die magnetostriktive Röhre (**2**) mit der Begrenzungsröhre (**1**) über leitende Mittel (**4**) verbunden ist, die dazu geeignet sind, eine elektrische Kontinuität zwischen dem leitenden, in der magnetostriktiven Röhre (**2**) untergebrachten Draht (**3**) und der Begrenzungsröhre (**1**) vorzusehen.

2. Magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung (**20**) nach Anspruch 1, wobei die magnetostriktive Röhre (**2**) in einer Zentrierungsröhre (**7**) aus Silikon untergebracht ist.

3. Magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Zentrierungsröhre (**7**) teilweise mittels Klemmringen (**8**), die in einer beabstandeten Konfiguration entlang der magnetostriktiven Röhre (**2**) angeordnet sind, um die magnetostriktive Röhre (**2**) herum befestigt ist, um die magnetostriktive Röhre (**2**) zu stützen, so dass die magnetostriktive Röhre (**2**) in der Begrenzungsröhre (**1**) schwimmt.

4. Magnetostriktive positionsmessende Vorrichtung

tung nach Anspruch 1, wobei die Mittel zum Dämpfen mechanischer Wellen zwei gegeneinander versetzte Kerben **(6)** umfassen, die im Wesentlichen auf zwei parallelen Ebenen angeordnet sind und auf der Außenfläche der magnetostriktiven Röhre **(2)** zwischen den Mitteln **(5)** zum Dämpfen mechanischer Wellen und den Mitteln **(4)** für den elektrischen Kontakt zwischen der magnetostriktiven Röhre **(2)** und der Begrenzungsröhre **(1)** ausgebildet sind.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

