



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 057 769 A1** 2006.06.01

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 057 769.2**

(22) Anmeldetag: **30.11.2004**

(43) Offenlegungstag: **01.06.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 15/00** (2006.01)
G01S 13/88 (2006.01)

(71) Anmelder:

**MTS Mikrowellen-Technologie und Sensoren
 GmbH, 85521 Ottobrunn, DE**

(74) Vertreter:

**Hammonds Rechtsanwälte Patentanwälte, 80539
 München**

(72) Erfinder:

**Trummer, Günther, 91083 Baiersdorf, DE; Lex,
 Josef, 85459 Berglern, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu
 ziehende Druckschriften:

DE 197 12 374 C2

DE 12 22 688 B

DE 199 03 183 A1

DE 198 33 220 A1

DE 102 05 904 A1

US 54 71 147 A

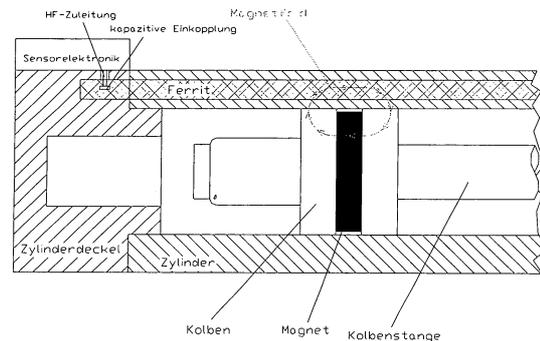
WO 99/31 463 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Abstandmessvorrichtung und Verfahren zur Bestimmung eines Abstands**

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird eine Abstandsmeßvorrichtung, um kontinuierlich die Position des Kolbens in Pneumatikzylindern zu messen. Die Abstandsmeßvorrichtung kann durch eine extrem kleine Bauweise vollständig in den Pneumatikzylinder integriert werden. Durch eine parallele Führung eines Wellenleiters zum Pneumatikkolben ist es möglich, unter idealen Bedingungen, d. h. ohne Druckluft und Verschmutzung derselben, hochgenau zu messen. Die Kopplung zwischen Pneumatikzylinder mit Magnetring und einem virtuellen Ziel im Wellenleiter mit gleicher Entfernung zum Sensor erfolgt über die Magnetisierung des ferromagnetischen Wellenleiters, d. h. berührungslos. Das Magnetfeld des Pneumatikkolbens verursacht durch Permeabilitätsänderung einen Phasensprung der elektromagnetischen Welle des Wellenleiters. Durch vorteilhafte Auslegung des Wellenleiters führt dies zu einer Reflektion der Welle. Durch geeignete Modulationsverfahren ist es möglich, so die Laufzeit der Welle zwischen Sensor und virtuellem Ziel zu messen und damit die Kolbenposition im Pneumatikzylinder hochgenau zu bestimmen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Abstandsmeßvorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs I sowie ein Verfahren zur Bestimmung eines Abstands.

[0002] Unter anderem werden herkömmliche Abstandsmeßvorrichtungen beispielsweise zur Detektion der Kolbenposition von fluidischen Linearantrieben bzw. pneumatische Zylinder eingesetzt. Die Kolbenpositionserfassung an Zylindern kann sowohl diskret, d. h. an diskreten Stellen, als auch kontinuierlich, d.h. ständig während des Betriebs, erfolgen.

[0003] Die diskrete Kolbenpositionsbestimmung wird in der Regel benötigt, um die Ausführung bzw. Beendigung einer Kolbenbewegung an eine Ablaufsteuerung (z. B. SPS) zurückzumelden, um somit beispielsweise den nächsten Ablaufschritt einleiten zu können.

Stand der Technik

[0004] Hierzu werden überwiegend magnetfeldempfindliche Sensoren bzw. Sensoreinrichtungen verwendet, welche das Magnetfeld eines Permanentmagneten, der sich an dem Zylinderkolben befindet, detektieren. Die dabei eingesetzten Sensoren werden extern an das Zylinderrohr des Kolbenzylinders montiert. Bewegt sich der Kolben in den Erfassungsbereich eines solchen Sensors, so erkennt dieser die Anwesenheit des Zylinderkolbens, durch das Zylinderrohr hindurch.

[0005] Soll hingegen eine andere Position detektiert werden, so muß der Sensor entsprechend mechanisch justiert werden. Für jede zusätzlich zu erfassende Position muß folglich ein weiterer Sensor montiert werden, und zwar mit den damit verbundenen zusätzlichen Material-, Montage-, Justage- und Installationskosten. Dies geschieht in der Regel vor Ort beim Kunden. Oft ist dabei der Zylinder bereits in eine schwer zugängliche Maschine eingebaut und die Einstellung der Schaltabstände durch mechanisches Verschieben der extern montierten Magnetschalter ist nicht mehr möglich.

[0006] Ferner wird für diese extern angebauten Sensoren zusätzlicher Einbauraum benötigt. Damit die Zugänglichkeit und Robustheit des Sensors gewährleistet werden kann, ist häufig zusätzlicher konstruktiver Aufwand erforderlich. Die externe Montage der Sensoren ist äußerst nachteilig aufgrund der Anfälligkeit gegenüber mechanischer Zerstörung. (ein Monteur in der Fertigungshalle z.B. bei der Automobilproduktion stößt z.B. mit dem Fuß gegen einen der extern montierten Sensoren. Dessen Befestigung am Zylinder bricht und der Sensor fällt zu Boden. Eine Fehlermeldung erfolgt und das Fertigungsband

kommt zum Stillstand.) 50% aller Ausfälle bei pneumatischen Antrieben ereignen sich auf diese Weise. Diese Art von Sensoren sind überwiegend als magnetfeldempfindliche Sensoren ausgeführt und sind als Reed-Schalter, magnetoresistive (MR), giant magnetoresistive (GMR), Hall-Schalter oder magnetinduktive Näherungsschalter bekannt.

[0007] Zur kontinuierlichen Kolbenpositionsmessung werden gewöhnlich Meßsysteme verwendet, die potentiometrisch nach dem LVDT-Prinzip (Linear Variable Differential Transformer) funktionieren. Die Kolbenposition wird bei diesen Systemen kontinuierlich und überwiegend als analoges Spannungssignal ausgegeben. Sensoren nach dem LVDT-Prinzip benötigen beim Einschalten immer eine Referenzfahrt. Als Ergänzung zu diesen Systemen sind auch inkrementale Wegmessungen bekannt. Diese Systeme werden beispielsweise durch die magnetische Kodierung der Kolbenstange realisiert. Beim Ausfahren der Kolbenstange können eventuell vorhandene Metallspäne angezogen werden, die dann beim Einfahren der Kolbenstange die Dichtung beschädigen.

[0008] Sowohl die kontinuierliche als auch die diskrete Kolbenpositionsbestimmung können nicht bzw. nur mit erheblichem konstruktiven Aufwand und den dadurch verbundenen hohen Kosten in einen Zylinder integriert werden. Der erhebliche konstruktive Aufwand begründet sich dadurch, daß alle beschriebenen gängigen Sensorprinzipien auf die entsprechende Zylinderlänge angepaßt werden müssen, da sie einen zu kurzen Erfassungsbereich besitzen. Die Patentschrift PCT/EP03/00894 beschreibt die Integration eines Mikrowellensensor im pneumatisch betriebenen Zylinderraum. Bei dieser Art der direkten Integration im Zylinderraum leidet jedoch häufig die erzielbare Meßgenauigkeit unter den nicht beeinflussbaren physikalischen Randbedingungen wie Temperaturschwankungen, Feuchtigkeit und Verunreinigungen der Druckluft, Abnutzung und Fertigungstoleranzen. Aus technischen sowie Kostengründen sind Änderungen des Antriebs, um die genannten Parameter günstiger zu gestalten, meist nicht oder nur eingeschränkt möglich.

[0009] Außerdem erfordert eine direkte Integration des Wegmesssystems in den Antrieb meist eine Anpassung des Messsystems an den entsprechenden Antrieb.

[0010] Trotzdem ist jedoch eine Integration eines Wegmesssystems in Antriebe aus Gründen der Störsicherheit, mechanischen Zerstörung, Wirtschaftlichkeit, der Zuverlässigkeit und der Gesamtbaugröße wünschenswert. Mit der im folgenden beschriebenen Sensorbauweise ist eine weitgehende Integration eines Wegsensors in einen Linearantrieb möglich, ohne dass die oben beschriebenen Nachteile einer direkten Integration in Kauf genommen werden müs-

sen.

Aufgabenstellung

[0011] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es somit, eine Abstandsmeßvorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung des Abstands zu schaffen, welche bzw. welches die oben aufgeführten Nachteile überwindet und eine kontinuierliche und somit diskretisierbare Abstandsbestimmung, eine einfache Handhabung und vielseitige Einsatzmöglichkeiten erlaubt.

[0012] Das ideale Wegmeßsystem zur Bestimmung der Kolbenposition in Pneumatikzylinder besitzt folgende Eigenschaften:

- kontinuierliche, absolute Wegmessung mit einer Auflösung von 100 µm als Zylinderschalter und 10 µm zum Positionieren des Kolbens
- vollständige Integration des Sensors mit Auswerteelektronik im Zylinders (keine extern zu montierenden Teile) ohne mechanische Änderung der pneumatisch relevanten Teile (Kolben, Endlagendämpfung, Kolbenstange falls vorhanden, Luftzuführung) des Zylinders und unter Einhaltung vorhandener Normmaße
- Schaltabstände sollen extern über eine elektronische Schnittstelle einstellbar sein (Teach-in Fähigkeit)
- Universell einsetzbarer Sensor, unabhängig von der Zylinderlänge (X-Längenfähigkeit)
- Meßergebnisse unabhängig vom Druck, Öl und Feuchtigkeit im Zylinder
- Zuverlässige Meßergebnisse z.B. bis 10 bar Druck und 6m/sec Kolbengeschwindigkeit im Pneumatikzylinder
- Ein Sensor für alle gängigen Zylinderdurchmesser

[0013] Diese Aufgabe wird mit den vorrichtungstechnischen Merkmalen des Anspruchs 1 und mit den verfahrenstechnischen Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst.

[0014] Erfindungsgemäß wird eine Abstandsmeßvorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung eines Abstands zur Verfügung gestellt, wobei die Sensoreinrichtung ein Hochfrequenz-Einspeisesystem, einen Wellenleiter, ein Reflektionsziel und eine Auswerteeinheit aufweist. Das Einspeisesystem dient dazu, durch Abstrahlen und Empfangen von Wellen, einen bestimmten Abstand in einer Leitungsstruktur auszumessen. Sämtliche Komponenten des Sensorsystem bauen so klein, daß nahezu keine bzw. geringe Umbaumaßnahmen erforderlich sind für die Integration im Pneumatikzylinder. Der gesamte Aufbau der anmeldungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung kann somit ein sauberes, glattes Design aufgrund des Wegfalls einer Montagemöglichkeit für externe Sensoreinrichtungen aufweisen, bzw. beeinflusst die äußere Erscheinung nicht. Mit der anmeldungsgemä-

ßen Abstandsmeßvorrichtung wird eine Installationsersparnis erreicht, da der vorgefertigte Zylinder lediglich ein Anschlußkabel zur Ansteuerung und Datenerfassung aufweist. Gemäß dem anmeldungsgemäßen Verfahren wird die Länge der Leitungsstruktur bis zum Reflektionsziel gemessen. Das entsprechend dem anmeldungsgemäßen Verfahren bereitgestellte Sendesignal wird in eine Leitungsstruktur eingespeist, am Reflektionsziel reflektiert und über das Einspeisesystem wieder empfangen.

[0015] Dadurch wird die Messung des Abstandes zwischen dem von der Koppelsonde definierten Einspeisepunkt und dem Reflektionsziel durchgeführt. Der zu messende Abstand erfolgt hierbei durch Messung der Phasendifferenz zwischen Sende- und Empfangssignal bei unterschiedlichen Sendefrequenzen.

[0016] Konkret sieht die Anordnung wie folgt aus: Gemessen wird der Abstand zwischen dem Sensor und einem sogenannten Meßkolben (Target, siehe [Fig. 1](#)). Der Sensor koppelt eine elektromagnetische Welle im Frequenzbereich zwischen 1 und 100 GHz, vorzugsweise 25 GHz in eine entsprechende Wellenleitung ein (entsprechend 8 mm Durchmesser des Wellenleiters wenn er als luftgefüllter Rundhohlleiter ausgeführt wird). Die Frequenz der eingekoppelten elektromagnetischen Welle sollte so gewählt werden, dass entsprechend den Abmaßen der Wellenleitung eine monomodige Ausbreitung der elektromagnetischen Welle erreicht wird. Vorzugsweise wird der H₁₁- Mode angeregt. Die Einkopplung kann in Form einer kapazitiven, induktiven oder planaren Sonde (Monopol) erfolgen. In [Fig. 1](#) ist eine kapazitive Einkopplung gezeigt. Hierbei ragt ein Metallstift bis ca. in die Mitte des Wellenleiters. Der Abstand des Stifts vom Abschluß des Wellenleiters beträgt ca. Wellenlänge der elektromagnetischen Welle/4. Durch Einspeisung einer transversal elektromagnetischen Welle (TEM-Welle) im coaxialen Eingangsbereich (**3**) wird durch die Einkoppelsonde eine Rundhohlleiterwelle mit dem z.B. charakteristischen H-Feldtyp der H₁₁-Welle angeregt. Diese Welle breitet sich innerhalb des Laufzylinders in axialer Richtung aus. Trifft diese Welle auf den Meßkolben, wird die Welle reflektiert und über die Anregungssektion in das coaxiale Leitungssystem konvertiert und weitergeführt.

[0017] Der Metallstift wird durch die coaxiale Leitung kontaktiert und mit der Sensorelektronik verbunden. Die induktive Einkopplung ist in [Fig. 2](#) gezeigt. Hierzu wird ein Stufenrafo in die Wellenleiterwand integriert und über den coaxialen Leiter kontaktiert und mit dem Sensor verbunden. Eine weitere planare Einkoppelvariante wird in der Patentschrift PCT/EP03/00894 beschrieben. Die Sensorelektronik wird im Deckel des Pneumatikzylinders integriert. In der Leitung entsprechend [Fig. 1](#) befindet sich der Meßkolben. Die elektromagnetische Welle wird am

Meßkolben reflektiert und läuft zurück zum Sensor, wo sie wieder ausgekoppelt wird. Je nach Abstand des Meßkolbens zum Sensor ändert sich die von der Welle zurückzulegende Strecke und damit auch die Laufzeit. Über ein geeignetes Auswerteverfahren (z.B. Phasenbestimmung, Pulslaufzeitmessung, usw.) kann die Entfernung des Meßkolbens vom Sensor bestimmt werden. Der Wellenleiter (z.B. Hohlleiter) muss parallel zum Linearantrieb verlaufen. Er kann z.B. als Bohrung in einem Zylinder (Das Strangpressprofil der handelsüblichen Zylinder enthält bereits Bohrungen die hierfür geeignet sind) integriert sein oder aber direkt am Zylinderrohr anliegend geführt werden. Der Meßkolben muss an den beweglichen Teil des Antriebs (z.B. Pneumatikkolben) gekoppelt werden. Dies geschieht berührungslos durch einen im beweglichen Teil des Linearantriebs integrierten starken Magneten, dessen Feld auch den Wellenleiter durchdringt. Im Meßkolben, der im Wellenleiter leicht beweglich geführt ist, befindet sich ebenfalls ein Magnet. Dadurch bewegt sich der Meßkolben parallel zum Pneumatikkolben.

[0018] Alternativ zur Verwendung eines Meßkolbens, welcher mitgezogen wird, kann auch im Wellenleiter auf andere Weise durch das Magnetfeld eine Reflektionsstelle erzeugt werden. Dies kann z.B. dadurch erfolgen, dass der Wellenleiter mit einem Material (z.B. Ferritmaterial, z.B. Yttrium-Eisen) gefüllt ist, das seine elektrischen Eigenschaften durch das Vorhandensein des Magnetfelds des Pneumatikkolbens (der Pneumatikkolben wird standardmäßig mit einem Magnetring ausgeführt) ändert. Auch kann durch das Magnetfeld eine elastische Verformung von Teilen des Wellenleiters erfolgen, wodurch ebenfalls eine detektierbare Reflektionsstelle entsteht.

[0019] Zur Erhöhung der Genauigkeit kann jeweils ein Sensor an jedem Ende des Wellenleiters angebracht werden. Dadurch lässt sich zum Beispiel die thermische Ausdehnung des Wellenleiters kompensieren, da sich aus den beiden von den Einzelsensoren gemessenen Entfernungswerten die Gesamtlänge des Pneumatikzylinders rechnerisch bestimmen lässt.

[0020] Im Kolben eines Pneumatikzylinders befindet sich ein Magnetring, ähnlich dem, wie er häufig für Zylinderschalter eingesetzt wird. Als Zylinder kommt ein Aluminium – Strangpressprofil zur Verwendung. Dieses enthält neben der Bohrung für den Pneumatikzylinder eine zu dieser parallele Bohrung kleineren Durchmessers. (Durchmesser ca. 6 mm, im Strangpressprofilen ohnehin vorhanden).

[0021] Diese Bohrung wird ganz oder teilweise mit einem mikrowellengeeigneten Ferrit (kleiner Verlustwinkel bei entsprechend hoher Frequenz) bzw. einem ferromagnetischen Verbundmaterial gefüllt. Art einem Ende des Zylinderprofils wird eine elektroma-

gnetische Welle in die Bohrung eingekoppelt, wie bereits beschrieben. In dem Bereich, auf dessen Höhe sich der Kolben mit dem Magnetring befindet wird der Ferrit von einem statischen Magnetfeld durchflossen, in den anderen Bereichen befindet sich kein statisches Magnetfeld. Durch dieses Magnetfeld ändert das Ferritmaterial seine Materialeigenschaften. (Permeabilität verändert sich in Abhängigkeit von der Magnetfeldstärke, der Frequenz und der Polarisierung (unterschiedliches Verhalten bei rechts bzw. linksdrehender Polarisierung)) Durch diese durch den Kolbenmagneten hervorgerufene Materialeigenschaftsänderung wird bei geeigneter Wahl der Polarisierung und Gestaltung des Wellenleiters erreicht, dass ein Teil der Wellenenergie reflektiert wird. Dieser reflektierte Anteil läuft zurück zum Sensor und wird dort wieder aus dem Hohlleiter ausgekoppelt. Da die Position der Reflexionsstelle von der Kolbenposition abhängt, ändert sich der Phasenwinkel dieser reflektierten Welle im Bezug zur eingespeisten Welle. Durch Auswertung bei mehreren Frequenzen beziehungsweise durch geeignete Modulation des Sendesignals wird die Position eindeutig bestimmt. Am anderen Ende der Bohrung ist ein Absorber angebracht, damit der im Bereich des Kolbenmagneten nicht reflektierte Energieanteil die Messung nicht stört.

[0022] Das Entstehen einer Reflexionsstelle im Bereich des Magnetfelds kann z.B. folgendermaßen erreicht werden:

Es wird eine zirkular polarisierte Welle eingekoppelt. Die Zirkulationsrichtung und die Polarität des Magneten müssen so gewählt werden, dass die effektive Permeabilität durch das Magnetfeld des Kolbenmagneten beeinflusst wird. Durch die Permeabilitäts – Änderung an dieser Stelle kommt es zu einer Änderung des Wellenwiderstands und somit zu einer Reflexion eines Teils der Energie.

[0023] Um die Entfernung zwischen Kolben und Sensor kontinuierlich messen zu können, muß das Sendesignal moduliert werden. Dies kann in Form einer Frequenzmodulation erfolgen. Um hierbei eine hohe Entfernungsauflösung zu erzielen ist jedoch ein großer Frequenzhub erforderlich. In der Praxis vorteilhafter ist das Aussenden eines CW Signals, z.B. bei drei unterschiedlichen Frequenzen zur Festlegung eines eindeutigen Entfernungsbereiches (Ambiguity Funktion!) mit jeweils anschließender Auswertung der Phasendifferenz zwischen Sendesignal und Empfangssignal als hochgenauen Meßwert für die Entfernung zwischen Sensor und Meßkolben. Die Zahl der zu verwendenden Frequenzen sowie deren Lage ist in erster Linie abhängig vom maximal zu messenden Abstand sowie von der notwendigen Fehlertoleranz gegenüber der Phasenwinkelmessung. Generell ist bei kleiner Frequenzdifferenz zwischen zwei Meßfrequenzen der maximal meßbare Abstand größer, allerdings bedingt die Unterscheidung zweier aufeinander folgender Perioden eine höhere Genauigkeit der

Phasenwinkelmessung als bei größerer Frequenzdifferenz. Die Störsicherheit ist deshalb bei größeren Differenzen zwischen den einzelnen Messdifferenzen höher.

[0024] Soll ein großer Meßbereich mit ausreichender Störsicherheit gemessen werden, so sind mehrere Messfrequenzen mit geeigneter Frequenzlage notwendig. Dadurch sind dann Frequenzpaare sowohl mit kleiner Differenz der Sendefrequenz (großer Meßbereich) als auch mit großer Frequenzdifferenz (Störsicherheit) erforderlich.

[0025] Die Positionsgenauigkeit ist im wesentlichen bestimmt durch die Genauigkeit der Phasenwinkelmessung bei der höchsten Meßfrequenz, weil dort die Wellenlänge am kleinsten ist. Es gilt die Formel:

Wegänderung = Phasenwinkeländerung \times 0,5 \times Wellenlänge/360

Ausführungsbeispiel

[0026] Unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel insbesondere für die Verwendung in einem Zylinderkolben dargestellt.

[0027] [Fig. 1](#) zeigt eine seitliche Schnittzeichnung einer Integration der Abstandsmeßvorrichtung in einen Pneumatikzylinder mit einem Meßkolben als Ziel

[0028] [Fig. 2](#) zeigt als Schnittzeichnung eine induktive Einkoppelsonde

[0029] [Fig. 3](#) zeigt eine seitliche Schnittzeichnung einer Integration der Abstandsmeßvorrichtung in einen Pneumatikzylinder mit einem mit Ferritmaterial gefüllten Wellenleiter als virtuelles Reflektionsziel

[0030] [Fig. 1](#) zeigt ein Anwendungsbeispiel der anmeldungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung wie sie beispielsweise in einem Kolbenstangenzylinder, der beispielsweise bei einem linearen Antrieb pneumatisch betrieben werden kann, einsetzbar ist. Die Sensoreinrichtung ist im Zylinderdeckel **(1)** angeordnet. Wie in [Fig. 1](#) zu erkennen ist, wird in dieser Ausführungsform eine Leitungsstruktur **(2)** parallel zum pneumatischen Zylinderraum definiert. Die in der Sensoreinrichtung vorgesehene Koppelsonde **(3)** ist in den Zylinderdeckel **(1)** integriert und koppelt kapazitiv in die Leitungsstruktur **(2)** ein. Der Meßkolben **(4)** muß so ausgebildet sein, daß er für die elektromagnetische Welle wie ein Kurzschluß funktioniert. Erreicht wird dies durch einen oder mehrere metallische Abschlüsse hintereinander in Richtung Koppelsonde. In dem Deckel **1** können beispielsweise sowohl ein Bedienfeld als auch ein Anzeigefeld vorhanden sein, mit dem einzelne Schalterpunkte angezeigt bzw. eingestellt werden können.

[0031] In [Fig. 2](#) ist eine induktive Koppelsonde dargestellt. Die Koppelsonde besteht aus einer mehrstufigen Anordnung um das koaxiale Einspeisesignal in eine Hohlleiterwelle zu transformieren. Kontaktiert wird die induktive Einkopplung durch Befestigung des Koax-Innenleiters auf dem Anfang der Transformationsstufe **(5)**.

[0032] [Fig. 3](#) zeigt ein Anwendungsbeispiel der anmeldungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung wie sie beispielsweise in einem Kolbenstangenzylinder, der beispielsweise bei einem linearen Antrieb pneumatisch betrieben werden kann, einsetzbar ist. Die Sensoreinrichtung ist im Zylinderdeckel **1** angeordnet. Wie im Unterschied zu [Fig. 1](#) zu erkennen ist, wird in dieser Ausführungsform die Leitungsstruktur parallel zum pneumatischen Zylinderraum mit ferromagnetischem Material **(6)** gefüllt. Ein Meßkolben als Reflektionsziel ist nicht erforderlich. Die Koppelsonde und die Auswerteelektronik entsprechen jener aus [Fig. 1](#).

[0033] Eine detaillierte Beschreibung der Auswerteelektronik findet sich in PCT/EP03/00894.

Patentansprüche

1. Abstandsmeßvorrichtung mit einer Auswerteelektronik und einer Sensoreinrichtung, die zumindest eine Koppelsonde zur Einspeisung eines Sendesignals in eine Leitungsstruktur mit Reflektionskörper aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Leitungsstruktur einen Einspeiseblock aufweist, der einen HF- Transceiver über einen Wellenleiter mit der Koppelsonde verbindet.

2. Abstandsmeßvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Leitungsstruktur als Wellenleiter (z.B. Rundhohlleiter) zum Einspeisen einer elektromagnetischen Welle im Frequenzbereich zwischen 1 GHz und 100 GHz, vorzugsweise ca. 25 GHz, und zum Aussenden einer monomodigen elektromagnetischen Welle, vorzugsweise im H11-Mode mit zirkularer Polarisierung, ausgebildet ist.

3. Abstandsmeßvorrichtung nach den Ansprüchen 1 und 2, wobei der Wellenleiter mit Ferrit- oder ferromagnetischem Material, vollständig oder teilweise, z.B. Seele in einem dielektrischen Leiter mit z.B. Lexan oder Teflon als Material, gefüllt ist.

4. Abstandsmeßvorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Koppelsonde kapazitiv oder induktiv oder planar, z.B. als Monopol, ausgebildet ist.

5. Abstandsmeßvorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei an beiden Enden des Wellenleiters jeweils eine Koppelsonde angebracht ist, um Temperatureffekte des, z.B. Aluminiumzylinders zu messen.

6. Abstandsmessvorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Reflektionskörper als mechanisch beweglicher Meßkolben ausgebildet ist, der sich über eine magnetische Kopplung mit dem Kolben des Pneumatikzylinders bewegt. Die magnetische Kopplung wird über je einen oder mehrere Permanentmagnete, integriert sowohl im Kolben des Meßzylinders als auch des pneumatischen Kolbens erreicht. Vorzugsweise sind die Magnete als Ringmagnete ausgebildet.

7. Abstandsmessvorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Meßkolben so ausgebildet ist, daß der Spalt zwischen Meßkolben und Wand des Zylinders HF-mäßig möglichst niederohmig ist (Idealfall wäre ein Kurzschluß) und mechanisch so groß ist, daß der Meßkolben im Betrieb nicht die Zylinderwand berührt. Bei einer Sendefrequenz von ca. 25 GHz ist ein umlaufender Spalt zwischen Reflektionskörper und Zylinderwand von 0,05 mm typisch. Das Material des Meßkolbens ist Metall.

8. Abstandsmessvorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Leitungsstruktur ein Rundhohlleiter ist, der in das Profil des Pneumatikzylinders integriert ist und parallel zum Verfahrensweg des Pneumatikkolbens verläuft. Der Abstand zwischen dem Wellenleiter und dem Pneumatikkolben sollte möglichst gering sein, z.B. 1 mm, und aus nicht magnetischem Material, z.B. Aluminium, bestehen.

9. Abstandsmessvorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Magnet im Pneumatikkolben ein derart starkes Magnetfeld besitzt, dass es zu einer Magnetisierung des Ferrits im Wellenleiter und damit eines Sprung der Permeabilität kommt, die eine Drehung der Polarisierung der eingeleiteten elektromagnetischen Welle hervorruft.

10. Abstandsmessvorrichtung nach Anspruch 9, wobei die Leitungsstruktur so ausgelegt ist, dass es zu einer Reflektion der Welle durch die Polarisationsdrehung kommt.

11. Abstandsmessvorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei über die Koppelsonde mindestens zwei Sendesignale als elektromagnetische Wellen mit unterschiedlicher Frequenz ausgestrahlt werden.

12. Abstandsmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Sensoreinrichtung eine Hochfrequenz-Elektronik mit einem Sende- und Empfangszweig aufweist.

13. Verfahren zur Bestimmung eines Abstandes, insbesondere unter Verwendung einer Abstandsmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, welches die Schritte aufweist:

a) Bereitstellen einer Leitungsstruktur mit Reflektionskörper, die einen Einspeisungsblock aufweist der einen HF-Transceiver über einen Wellenleiter mit der Koppelsonde verbindet; sowie

b) Messen des Abstandes zwischen dem von der Koppelsonde definierten Einspeisepunkt und dem Reflektionskörper, wobei mindestens zwei Sendesignale als elektromagnetische Wellen mit unterschiedlicher Frequenz über die Koppelsonde abgestrahlt und empfangen werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Messen des Abstandes durch jeweilige Auswertung der Phasendifferenz zwischen Sendesignal und dem Empfangssignal der elektromagnetischen Welle erfolgt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14, wobei die Differenz bei mindestens zwei Sendefrequenzen der jeweiligen elektromagnetischen Welle klein ist, z.B. 1% Unterschied vom Absolutwert, um einen großen Messbereich abzudecken (Ambiguity function!)

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14, wobei die Differenz bei mindestens zwei Sendefrequenzen der jeweiligen elektromagnetischen Welle groß ist, z.B. 20% Unterschied vom Absolutwert, um eine hohe Störsicherheit zu erzielen.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, wobei die Sendesignale kontinuierlich ausgestrahlt werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, wobei mindestens 3 Sendesignale unterschiedlicher Frequenz als elektromagnetische Wellen über die Koppelsonde abgestrahlt bzw. empfangen werden.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1: Pneumatikzylinder mit Kolben, Kolbenstange und integriertem Mikrowellen-Meßsystem (kapazitive Einkopplung)

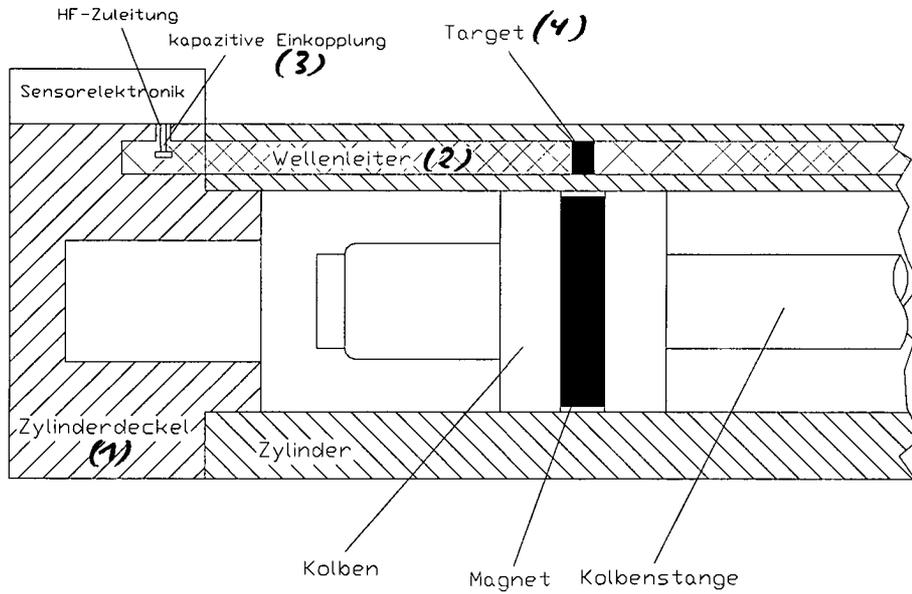


Fig. 2: Pneumatikzylinder mit Kolben, Kolbenstange und integriertem Mikrowellen-Meßsystem (induktive Einkopplung)

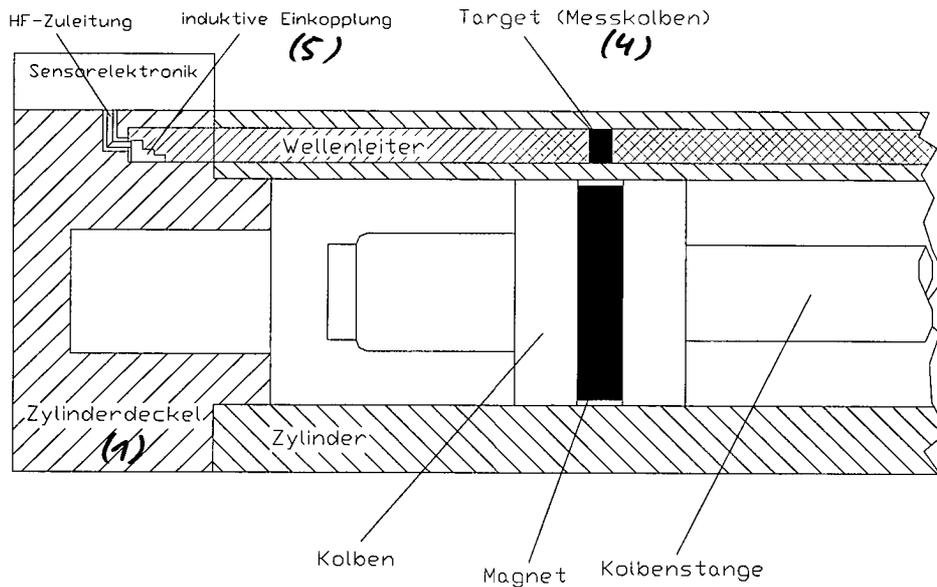


Fig. 3: Pneumatikzylinder mit virtuellem Reflektionsziel

