



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 125 535.7**

(22) Anmeldetag: **30.09.2020**

(43) Offenlegungstag: **31.03.2022**

(51) Int Cl.: **F16H 25/22 (2006.01)**

G01L 1/22 (2006.01)

(71) Anmelder:
ifm electronic gmbh, 45128 Essen, DE

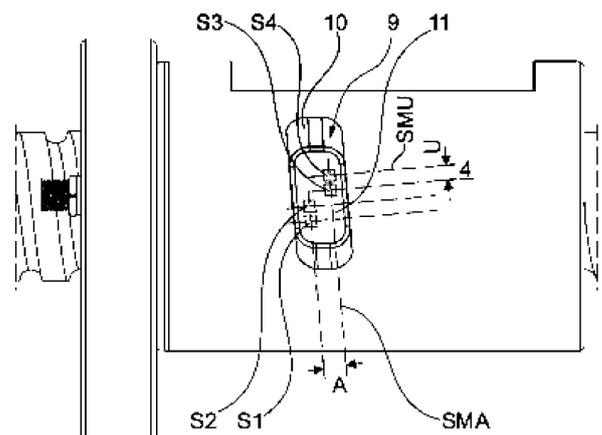
(72) Erfinder:
Kathan, Benno, 88079 Kressbronn, DE

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Linearantrieb mit einer Wälzführung**

(57) Zusammenfassung: Linearantrieb wie ein Kugelspindeltrieb (1) oder dergleichen mit einer Wälzführung, die umlaufende Wälzkörper (8, 12-17) aufweist, die zwischen zwei Maschinenelementen (2,4) in einer Wälzkörperbahn (3,5) geführt werden, wobei ein Maschinenelement (4) translatorisch gegenüber dem anderen Maschinenelement (2) beweglich ist und wobei an einem Maschinenelement (4) in einem lasttragenden Bereich ein Sensor (S1, S2, S3, S4) nahe der Wälzkörperbahn (3,5) auf einer Membran (11) angeordnet ist, der die Verformung der Membran (11) durch in der Wälzkörperbahn durchlaufende, unter einer Vorspannung V stehende Wälzkörper (8, 12 bis 17) erfasst, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zwei Sensoren (S1, S2, S3, S4) vorgesehen sind, die einer Windung (18) der Wälzkörperführung (3,5) zugeordnet sind und mit einem derartigen Abstand zueinander angeordnet sind, dass die in den Sensoren (S1, S2, S3, S4) durch einen durchlaufenden Wälzkörper (8, 12 bis 17) verursachten Sensorsignale phasenversetzt erfassbar sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Linearantrieb mit einer Wälzkörperführung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Derartige Linearantriebe werden bei Werkzeugmaschinen vielfach eingesetzt, um Lasten schnell linear zu bewegen bzw. genau zu positionieren. Ein derartiger Linearantrieb ist mit Wälzkörpern wie Rollen oder Kugeln versehen, die in einer Wälzkörperführung umlaufen. Ein solcher Linearantrieb ist beispielsweise durch einen sogenannten Kugelgewindetrieb (KGT) gegeben, bei dem die Drehbewegung einer motorgetriebenen Spindel mittels einer Mutter in eine Linearbewegung, z. B. eines Maschinentisches umgesetzt wird. In der Mutter werden dabei die Kugeln in einer schraubenförmigen Laufbahn geführt.

[0003] Es gibt Muttern, die zweigeteilt sind, um über ein zwischengeschaltetes Federpaket oder ein nachstellbares Gewinde eine Vorspannung zu erzielen. In anderen Ausführungen werden Einzelmuttern verwendet, bei denen durch ein entsprechendes Übermaß der Kugeln im Vergleich zur Laufbahn, z. B. in der Größenordnung von wenigen Mikrometern, eine Vorspannung erzeugt wird. In einer solchen Ausführung liegen die Kugeln an vier Punkten an der Laufbahn an (4-Punkt-Kontakt), wodurch diese im Betrieb zum Gleiten gezwungen werden, was zu einem gewissen Abrieb führt. Dadurch verringert sich die Vorspannung während der Lebensdauer. Die verringerte Vorspannung kann bei kritischen Bearbeitungsprozessen, z. B. beim Einsatz einer Werkzeugmaschine, zu unzulässigen Arbeitsergebnissen, beispielsweise an Bearbeitungsoberflächen, führen. Dies ist z. B. beim Schleifen von Zahnrädern von Nachteil, bei denen die Anforderungen an die Genauigkeit und Oberfläche sehr hoch sind.

[0004] Störend sind bei hochgenauen Bearbeitungsprozessen auch Fehlstellen wie Grübchen (Pitting) bzw. Rattermarken im Spindelbetrieb, die durch Materialermüdung entstehen können, da diese einen diskontinuierlichen Vorschub an der Werkzeugmaschine verursachen.

[0005] Aus der DE 102017 205 005 B3 und der DE 10 2013 225 467 B4 ist jeweils ein Kugelgewindetrieb (KGT) gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bekannt, mit dem die o. a. Nachteile vermindert werden sollen. Zwar sind auch dort bereits mehrere Sensoren beschrieben, diese sind jedoch verschiedenen Windungen des Schraubengangs der Mutter zugeordnet. So kann jeweils nur ein Sensor, die durch eine Kugel verursachte Membranverformung erfassen. Dies führt dazu, dass in der Phase des Durchgangs der Kontaktstelle zwischen zwei Kugeln, eine sensorische Erfassung und damit auch die ent-

sprechenden Rückschlüsse nicht möglich sind. Auch eine richtungsabhängige Messung ist bei diesen KGT nicht möglich.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, diese Nachteile zu beheben.

[0007] Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Linearantrieb nach dem Oberbegriff des Anspruch 1 durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

[0008] Demensprechend zeichnet sich ein erfindungsgemäßer Linearantrieb dadurch aus, dass wenigstens zwei Sensoren vorgesehen sind, die einer Windung der Wälzkörperführung zugeordnet sind und mit einem derartigen Abstand zueinander angeordnet sind, dass die mittels der Sensoren durch einen durchlaufenden Wälzkörper in den wenigstens zwei Sensoren verursachten Sensorsignale wenigstens teilweise gleichzeitig und zueinander phasenversetzt erfassbar sind.

[0009] Durch diese Maßnahme gibt es keine Phase des Durchlaufs eines Wälzkörpers, wie einer Kugel, mehr, bei der kein verwertbares Messsignal vorliegt. Somit können jederzeit Parameter wie die Belastung, die Vorspannung und/oder die Geschwindigkeit erfasst und weiterverarbeitet werden. Auch eine richtungsabhängige Messung, beispielsweise der Belastung und/oder der Geschwindigkeit, ist durch eine geeignete anspruchsgemäße Sensoranordnung möglich.

[0010] Durch die Erfassung der Vorspannung, kann beispielsweise bei KGT mit dem o. a. 4-Punkt-Kontakt, der Verschleiß der Kugeln erfasst und entsprechend reagiert werden. Die Erfassung der Belastung kann zudem zur Regelung eines Bearbeitungsprozesses verwendet werden, um diesen adaptiv zu verbessern und/oder Belastungsspitzen zu vermeiden.

[0011] Schließlich ist durch eine regelmäßig wiederholte oder durch eine kontinuierliche Erfassung der sensorisch erfassten Parameter auch eine kumulative Erfassung sogenannter Lastkollektive über eine längere Dauer, z. B. die Betriebsdauer, möglich.

[0012] Die Membran wird vorteilhafterweise durch eine flexible Wand einer Materialausparung in einem Wandbereich eines Maschinenteils im Bereich der Wälzkörperbahn gebildet. Somit ist eine einfache Herstellung möglich, wobei die Membran einstückig mit dem Wandbereich ausgebildet und demensprechend mechanisch stabil ist.

[0013] Als Sensor kann ein Dehnungsmessstreifen und/oder eine piezoresistives Sensorelement vorgesehen werden. Diese beiden Sensortypen haben sich für den beabsichtigten Zweck, d. h. zur Erfassung der Membranverformung bereits bewährt.

Grundsätzlich können jedoch auch andere Sensortypen, z. B. kapazitive Sensoren oder dergleichen verwendet werden.

[0014] Wird der erfindungsgemäße Linearantrieb als ein sogenannter Kugelgewindetrieb (KGT) ausgebildet, wobei die Maschinenteile eine Spindel und eine Spindelmutter sind, werden vorteilhafterweise wenigstens zwei Sensoren in Umlaufrichtung der Spindel mit einem Abstand zwischen den jeweiligen axial ausgerichteten Sensormittellinien angeordnet, der kleiner als ein halber Kugeldurchmesser, insbesondere kleiner als ein Viertel Kugeldurchmesser ist. Diese Ausgestaltung erlaubt bei einem Kugelgewindetrieb in allen Kugelstellungen eine permanente oder nahezu permanente Parametererfassung, da mindestens eine Kugel auf mindestens einen Sensor einwirkt.

[0015] Werden wenigstens zwei Sensoren in Axialrichtung, d. h. in Richtung der Spindelachse mit einem axialen Versatz zwischen den jeweiligen entlang dem Umfang ausgerichteten Sensormittellinien angeordnet, der kleiner als ein Kugeldurchmesser, insbesondere kleiner als ein Kugelradius ist, so wird durch diese Maßnahme eine gute richtungsabhängige Parametererfassung ermöglicht. Die versetzten Sensoren können dabei zur verbesserten Richtungsabhängigkeit der Messung auf zwei gegenüberliegenden Seiten der Laufbahnmitte der Wälzkörperführung angeordnet werden.

[0016] Vorzugsweise wird eine Auswerteeinheit zur Bestimmung der Belastung, insbesondere der richtungsabhängigen Belastung, und/oder der Vorspannung und/oder der Geschwindigkeit der Wälzkörper anhand der verschiedenen Sensorsignale vorgesehen. Da die Sensoren zunächst nur die Daten über die Verformung der Membran liefern, ist eine derartige Auswerteeinheit sinnvoll, um unmittelbar im Linearantrieb die gewünschten Parameter aus diesen Sensordaten zu bestimmen und der weiteren Verwertung zuzuführen.

[0017] Die Auswerteeinheit kann die Bestimmung der Belastung, insbesondere der richtungsabhängigen Belastung, und/oder der Vorspannung beispielsweise durch Addition und/oder Mittelung der verschiedenen Sensorsignale durchführen. Dies wird zeitgemäß vorzugsweise rechnerisch und digital durchgeführt.

[0018] Die Auswerteeinheit kann zur kumulierten Erfassung von Belastungen und/oder Geschwindigkeiten ausgebildet sein. Hierzu wird beispielsweise ein zugehöriger Datenspeicher vorgesehen, um über einen gewünschten Zeitraum die erfassten Sensordaten und/oder ausgewerteten Parameter abzuspeichern.

[0019] Die Auswerteeinheit kann insbesondere bei kumulierter Datenerfassung zur Bestimmung und gegebenenfalls auch zur Meldung eines Wartungs- und/oder Reparaturfalls ausgebildet werden.

[0020] Weiterhin kann die Auswerteeinheit mit einer Regelungseinheit zur Regelung einer Belastung und/oder einer Geschwindigkeit abhängig von der Auswertung der Sensorsignale versehen werden. Hierdurch lassen sich Überlastungen vermeiden und unter Umständen auch die Genauigkeit der Positionierung verbessern. Die Auswerteeinheit und/oder die Regelungseinheit werden hierzu beispielsweise zur Zurückregelung von Belastungsspitzen anhand der Sensorsignale ausgebildet.

[0021] Darüber hinaus kann die Auswerteeinheit und/oder die Regelungseinheit zur adaptiven Regelung eines Bearbeitungsprozesses anhand der Sensorsignale ausgebildet werden. Durch intelligente Anpassung des Bearbeitungsprozesse, unter Berücksichtigung der sensorisch erfassten Daten und der ausgewerteten Parameter, können nicht nur Belastungsspitzen vermieden, sondern auch der gesamte Arbeitsablauf optimiert werden.

[0022] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird anhand der Figuren nachfolgend näher erläutert.

[0023] Im Einzelnen zeigen

Fig. 1 eine perspektivische Darstellung eines Kugelgewindetriebs nach dem Stand der Technik,

Fig. 2 eine perspektivische Darstellung einer Spindelmutter gemäß der Erfindung in der Seitenansicht,

Fig. 3 eine perspektivische Darstellung eines Ausschnittes eines Längsschnittes durch die Spindel und Spindelmutter nach **Fig. 2**,

Fig. 4 eine schematische Zeichnung eines Teils einer längs geschnittenen Spindelmutter mit Laufbahn und Kugel,

Fig. 5 eine schematische Zeichnung eines Teils einer quer geschnittenen Spindelmutter mit Laufbahn und aufeinanderfolgenden Kugeln,

Fig. 6 ein Lastdiagramm mit Kraft aus einer Richtung +X,

Fig. 7 ein Lastdiagramm mit Kraft aus der entgegengesetzten Richtung -X und

Fig. 8 ein Diagramm zur Vorspannungsermittlung.

[0024] In **Fig. 1** ist ein herkömmlicher Kugelgewindetrieb (KGT) 1 ohne Motor gezeigt. Auf einer Spindel 2 sind eine spindelseitige, gewindeförmige

Kugellaufbahn 3 als Wälzkörperführung und eine Spindelmutter 4 angebracht. Die Spindelmutter ist teilweise aufgeschnitten dargestellt, so dass der Verlauf der mutterseitigen Kugellaufbahn 5 erkennbar ist, der einen der spindelseitigen Laufbahn entsprechenden Gewindeabschnitt 6 und einen Rückführungsabschnitt 7 zur Rückführung umlaufender Kugeln 8 aufweist. Die Bezugszeichen der genannten Komponenten werden im Folgenden bei der Beschreibung des erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels beibehalten.

[0025] In **Fig. 2** ist erkennbar, dass eine Aussparung 9 in der Wandung 10 der Spindelmutter 4 am Grund der Aussparung 9 eine verformbare Membran 11 ausbildet. An der Membran 11 sind vier Sensoren S1 bis S4 angebracht, z.B. in Form von Dehnungsmessstreifen. Die Sensoren sind paarweise mit einem axialen Versatz A bezogen auf die Sensormittellinie SMA in axialer Richtung versetzt. Die Sensoren sind weiterhin entlang dem Umfang der Kugellaufbahn (3,5) in einem Abstand U bezogen auf die zugehörige Sensormittellinie SMU angeordnet.

[0026] Ein Gewindegang der beiden Kugellaufbahnen 3,4, d. h. der spindelseitigen Kugellaufbahn 3 und der gegenüberliegenden mutterseitigen Kugellaufbahn 4 verläuft in etwa mittig unter den mit einem axialen Versatz A angeordneten Sensoren S1,S2 und S3, S4. Jede durchlaufende Kugel 8 hat einen Kugeldurchmesser K und bewirkt damit aufeinanderfolgende Verformungen der Membran 11 im Bereich jeden Sensors S1 bis S4. Die Sensoren messen dabei nur an einer Windung 18 (vgl. **Fig. 3**).

[0027] In **Fig. 4** sind zwei verschiedene Lastrichtungen -X und +X dargestellt, d. h. Richtungen, in die eine auf die Spindelmutter bei Betätigung des KGT einwirkende Last auf die Kugelführung wirkt.

[0028] Die Darstellung nach **Fig. 5** ist der Einfachheit halber ohne die Krümmung der Spindel und der Kugellaufbahnen 3,5 dargestellt, um die Abfolge des Durchlaufes der Kugeln 12 bis 17 unter den Sensoren S1 bis S4 zu veranschaulichen.

[0029] Dieser Ablauf schlägt sich in oszillierenden Sensorsignalen der Sensoren S1 bis S4 in den **Fig. 6** und **Fig. 7** nieder. In **Fig. 6** ist mit dem Pfeil P die Position der Kugel 13 aus **Fig. 5** unter dem Sensor S1 veranschaulicht. Im dargestellten Diagramm liegt eine Last aus +X Richtung vor, wie es in **Fig. 4** auch mit L+ eingezeichnet ist, die sich mit der Wirkung der Vorspannung überlagert. In der Position P befindet sich die Membran 11 also im Bereich des Sensors S1 unter maximaler Verformung und erzeugt daher ein Maximum M1 im Diagramm gemäß **Fig. 6**, während der Bereich unter Sensor S2 minimal verformt ist, was dem Minimum M2 entspricht.

[0030] Wie in **Fig. 6** erkennbar ist, kann der Mittelwert (Signal out) der durch eine Last in Richtung +X ausgeübten F+ zugeordnet werden. Dieser Wert ist durch die angegebene Sensoranordnung und Membrangestaltung jederzeit richtungsabhängig erfassbar, und zwar sowohl in Bewegung als auch im Stillstand.

[0031] In **Fig. 7** sind die aus Richtung -X durch die in Position P unter dem Sensor S3 befindliche Kugel 14 auftretenden Verformungen in den Sensorsignalen S3 und S4 erkennbar, die trotz der in Gegenrichtung wirkenden Last aus der Vorspannung verbleiben. Dementsprechend sind jedoch die Signale der Sensoren S3 und S4 in diesem Fall deutlich kleiner. Auch hier kann jedoch dem Mittelwert (Signal out) die resultierende Kraft F- in Richtung x- zugeordnet werden. Auch dieser Wert ist durch die angegebene Sensoranordnung und Membrangestaltung jederzeit richtungsabhängig erfassbar, und zwar sowohl in Bewegung als auch im Stillstand.

[0032] In **Fig. 8** ist die Auswertung der addierten Signale S1+2 und S3+4, d. h. der einerseits aus den Sensoren S1 und S2 und der andererseits aus den Sensoren S3 und S4 gebildeten Summensignale veranschaulicht. Da beide Summensignale zueinander symmetrisch sind, liegt hier keine richtungsabhängige Last vor, so dass aus dem Mittelwert unmittelbar die Vorspannung V abgeleitet werden kann.

[0033] Anhand des dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispiels sind die Funktion und die Vorteile der Erfindung klar erkennbar. Der Fachmann kann diese durch Abwandlungen im Rahmen der Ansprüche jedoch auch anderweitig verwirklichen.

Bezugszeichenliste

1	Kugelgewindetrieb (KGT)
2	Spindel
3	spindelseitige Kugellaufbahn
4	Spindelmutter
5	mutterseitige Kugellaufbahn
6	Gewindeabschnitt
7	Rückführungsabschnitt
8	Kugeln
9	Aussparung
10	Wandung
11	Membran
12	Kugel
13	Kugel
14	Kugel

15	Kugel
16	Kugel
17	Kugel
18	Windung
S1	Sensor
S2	Sensor
S3	Sensor
S4	Sensor
A	axialer Versatz
SMA	Sensormittellinie
U	Abstand in Umfangsrichtung
SMU	Sensormittellinie
K	Kugeldurchmesser
-X	Lastrichtung
+X	Lastrichtung
F+	Kraft
F-	Kraft
M+	Maximum
M-	Minimum
P	Position
V	Vorspannung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Zitierte Patentliteratur

- DE 102017205005 B3 [0005]
- DE 102013225467 B4 [0005]

Patentansprüche

1. Linearantrieb wie ein Kugelspindeltrieb (1) oder dergleichen mit einer Wälzföhrung, die umlaufende Wälzkörper (8, 12-17) aufweist, die zwischen zwei Maschinenelementen (2,4) in einer Wälzkörperbahn (3,5) geföhrt werden, wobei ein Maschinenelement (4) translatorisch gegenüber dem anderen Maschinenelement (2) beweglich ist und wobei an einem Maschinenelement(4) in einem lastragenden Bereich ein Sensor (S1, S2, S3, S4) nahe der Wälzkörperbahn (3,5) auf einer Membran (11) angeordnet ist, der die Verformung der Membran (11) durch in der Wälzkörperbahn durchlaufende, unter einer Vorspannung V stehende Wälzkörper (8, 12 bis 17) erfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei Sensoren(S1, S2, S3, S4) vorgesehen sind, die einer Windung (18) der Wälzkörperföhrung (3,5) zugeordnet sind und mit einem derartigen Abstand zueinander angeordnet sind, dass die in den Sensoren (S1, S2, S3, S4) durch einen durchlaufenden Wälzkörper (8, 12 bis 17) verursachten Sensorsignale phasenversetzt erfassbar sind.

2. Linearantrieb nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Membran(11) durch eine flexible Wand einer Materialausparung (9) in einer Wandung (10) eines Maschinenteils (4) im Bereich der Wälzkörperbahn (3,5) gebildet ist.

3. Linearantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Sensor (S1, S2, S3, S4) ein Dehnungsmessstreifen und/oder ein piezoresistives Sensorelement vorgesehen ist.

4. Linearantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Linearantrieb ein Kugelgewindetrieb (1) und die Maschinenteile eine Spindel (2) und eine Spindel-mutter (4) sind, wobei zwei Sensoren (S1, S2, S3, S4) in Umlaufrichtung der Spindel (2) mit einem Abstand (U) zwischen den jeweiligen axial ausgerichteten Sensormittellinien SMU angeordnet sind, der kleiner als die Hälfte eines Kugeldurchmessers (K), insbesondere kleiner als ein Viertel eines Kugeldurchmessers (K) ist.

5. Linearantrieb nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei Sensoren (S1, S2, S3, S4) in Axialrichtung, d. h. in Richtung der Spindelachse mit einem axialen Versatz (A) zwischen den jeweiligen entlang dem Umfang ausgerichteten Sensormittellinien SMA angeordnet sind, der kleiner als ein Kugeldurchmesser (K), insbesondere kleiner als die Hälfte eines Kugeldurchmessers (K) ist.

6. Linearantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Auswerteeinheit zur Bestimmung der Belastung, ins-

besondere der richtungsabhängigen Belastung (L+, L-), und/oder der Vorspannung (V) und/oder der Geschwindigkeit der Wälzkörper anhand der verschiedenen Sensorsignale vorgesehen ist.

7. Linearantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit zur Bestimmung der Belastung, insbesondere der richtungsabhängigen Belastung (L +,L-) und/oder der Vorspannung (V) durch Addition und/oder Mittelung der verschiedenen Sensorsignale ausgebildet ist.

8. Linearantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit zur kumulierten Bestimmung von Belastungen und/oder Geschwindigkeiten ausgebildet ist.

9. Linearantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit zur Meldung eines Wartungs- und/oder Reparaturfalls ausgebildet ist.

10. Linearantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit mit einer Regelungseinheit zur Regelung einer Belastung und/oder einer Geschwindigkeit abhängig von der Auswertung der Sensorsignale ausgebildet ist.

11. Linearantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit und/oder die Regelungseinheit zur Zurückregelung von Belastungsspitzen anhand der Sensorsignale ausgebildet ist.

12. Linearantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit und/oder die Regelungseinheit zur adaptiven Regelung eines Bearbeitungsprozesses anhand der Sensorsignale ausgebildet ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

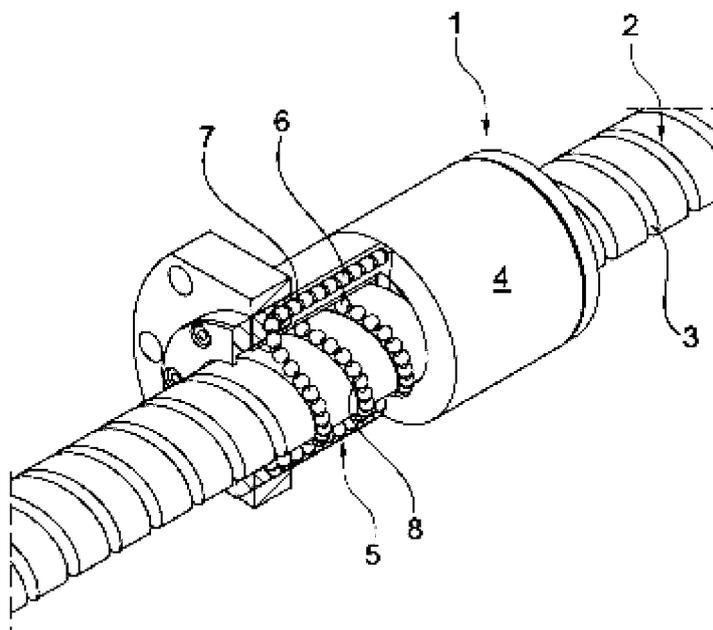


Fig. 1

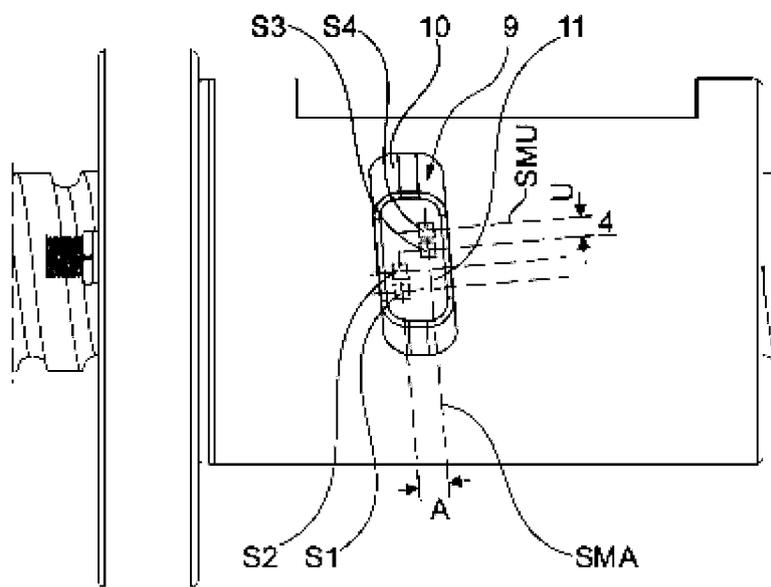


Fig. 2

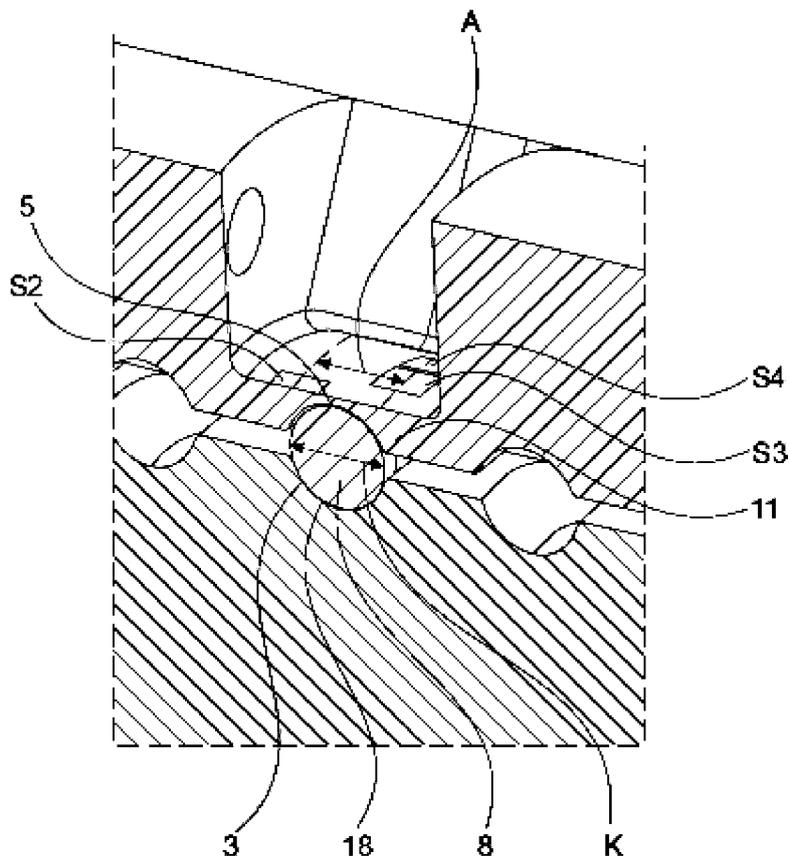


Fig. 3

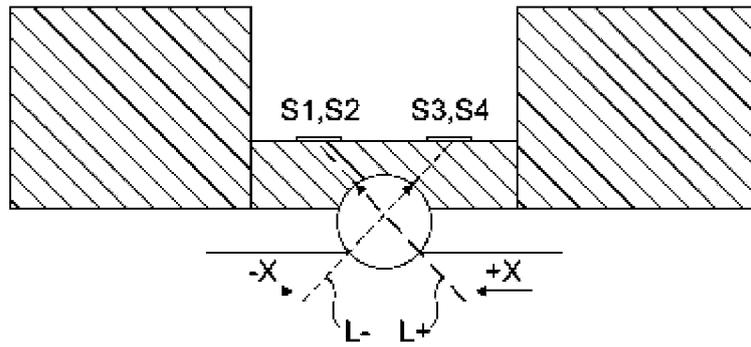


Fig. 4

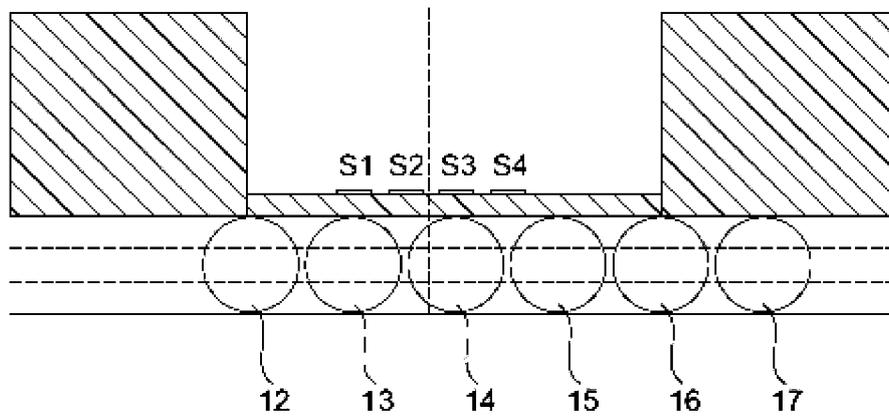


Fig. 5

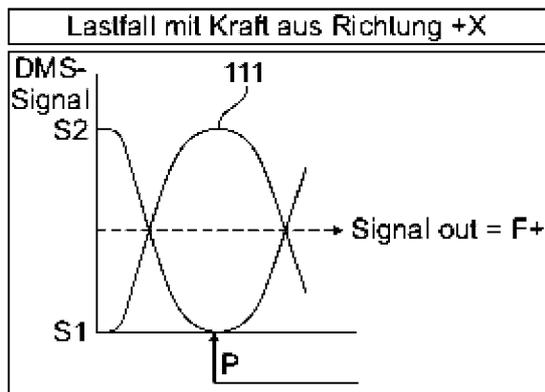


Fig. 6

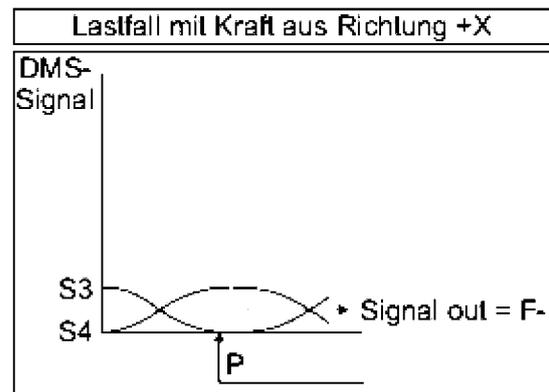


Fig. 7

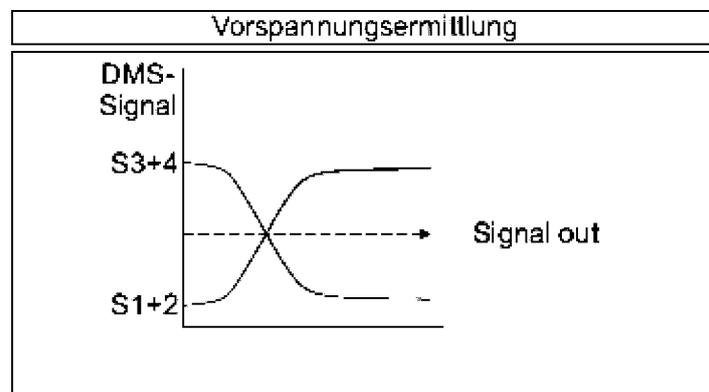


Fig. 8