



(10) **DE 10 2010 024 805 A1** 2011.12.29

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 024 805.3**

(22) Anmeldetag: **23.06.2010**

(43) Offenlegungstag: **29.12.2011**

(51) Int Cl.: **G05D 15/01** (2006.01)

F15B 21/08 (2006.01)

H02N 2/06 (2006.01)

G05B 9/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147, Köln, DE; Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der angewandten Forschung e.V.,
80686, München, DE**

(72) Erfinder:

**Ruprecht, Timo, Dipl.-Ing., 38106, Braunschweig,
DE; Wagner, Hannes, Dipl.-Ing., 38102,
Braunschweig, DE; Spangenberg, Holger, Dipl.-
Ing., 38112, Braunschweig, DE; Biehl, Saskia,
Dipl.-Ing., 38108, Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:

**GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122,
Braunschweig, DE**

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

DE 10 2006 019942 A1

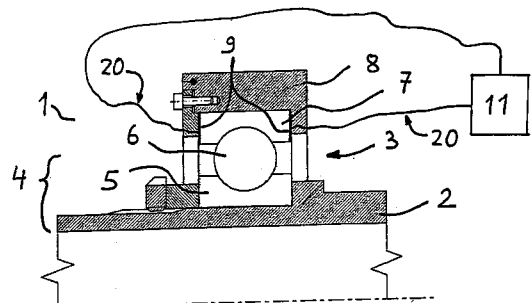
EP 1 452 442 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Einrichtung mit einem Aktuator und Verfahren zur Steuerung eines Aktuators**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Einrichtung mit einem Aktuator (50) zur Abgabe einer mechanischen Abgabegröße, insbesondere einer Kraft und/oder eines Wegs, und einer Steuereinrichtung (11) zur Steuerung der Abgabegröße des Aktuators (50), wobei die Steuereinrichtung (11) mit dem Aktuator zur Zuführung eines Steuerungssignals verbunden ist, und wobei der Aktuator (50) wenigstens einen im Kraftfluss angeordneten, die abgegebene oder aufgenommene Kraft des Aktuators erfassenden piezoresistiven Messaufnehmer (9) aufweist, wobei der Steuereinrichtung (11) ein Ausgangssignal (U_b) des wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmers (9) zugeführt ist und die Steuereinrichtung (11) dazu eingerichtet ist, den Aktuator (50) in Abhängigkeit von dem Ausgangssignal (U_b) zu steuern. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Steuerung eines Aktuators einer solchen Einrichtung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Einrichtung mit einem Aktuator zur Abgabe einer mechanischen Abgabegröße, insbesondere einer Kraft und/oder eines Wegs, gemäß dem Anspruch 1. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Steuerung eines Aktuators einer solchen Einrichtung gemäß dem Anspruch 10.

[0002] Aktuatoren zur Abgabe einer mechanischen Abgabegröße werden in vielen Bereichen der Technik eingesetzt, z. B. in Form von druckmittelbetätigten Stellzylindern oder elektromotorischen Linearantrieben. Im Bereich von Verkehrsflugzeugen werden solche Aktuatoren zur Ansteuerung von Ruderflächen verwendet. Nach derzeitigem Stand der Technik werden elektrohydraulische Aktuatoren eingesetzt. Solche fluidischen Systeme erzeugen prinzipbedingt einen hohen Aufwand im Bereich der Wartung und der Instandhaltung, was zu entsprechenden Betriebskosten von Verkehrsflugzeugen führt. Trotz guter Wartung und Instandhaltung kann es dennoch zu nicht vorhersehbaren, unerwarteten Störungen bei solchen fluidischen Systemen kommen.

[0003] Es besteht daher ein Bedarf an verbesserten Systemen. Der Trend im Luftfahrtbereich geht hin zu einem verstärkten Einsatz elektrischer bzw. elektromechanischer Systeme.

[0004] In technischen Bereichen, in denen hohe Sicherheitsanforderungen vorherrschen, wie z. B. im Luftverkehr, müssen solche Aktuatoren auch hinsichtlich unzulässig hoher Belastungen abgesichert werden. Es wird daher eine Überlastsicherung verlangt, die bei derzeit verwendeten hydraulischen Aktuatoren z. B. über mit den Zylinderkammern verbundene Druckbegrenzungsventile realisiert wird. Durch die Druckbegrenzungsventile kann bei Überlast ein Volumen aus den Zylinderkammern des Aktuators abfließen, wodurch der Kammerdruck und somit die Last auf den Aktuator sinkt. Allerdings haben auch solche fluidisch-mechanischen Lösungen für den Überlastschutz Nachteile hinsichtlich der damit verbundenen Herstellungs- und Wartungskosten.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung mit einem Aktuator zur Abgabe einer mechanischen Abgabegröße anzugeben, die eine einfache und kostengünstige Integration einer Überlastsicherung ermöglicht. Ferner ist ein geeignetes Verfahren zur Steuerung eines solchen Aktuators anzugeben.

[0006] Diese Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen 1 und 10 angegebene Erfindung gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0007] Die Erfindung hat den Vorteil, dass über den wenigstens einen im Kraftfluss angeordneten, die abgegebene oder aufgenommene Kraft des Aktuators erfassenden piezoresistiven Messaufnehmer eine integrierte Lastfassung in dem Aktuator realisiert werden kann, die wenig Bauraum erfordert und daher ohne weiteres in praktisch jeder Aktuator-Konstruktion vorgesehen werden kann. Vorteilhaft kann die Erfindung in jeder Art von Aktuator unabhängig vom Betätigungsprinzip verwendet werden, z. B. bei pneumatischen, hydraulischen oder elektromotorisch angetriebenen Aktuatoren. Das Ausgangssignal des wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmers ist einer Steuereinrichtung zugeführt, die dazu eingerichtet ist, den Aktuator in Abhängigkeit von dem Ausgangssignal zu steuern. Hierdurch kann eine integrierte Überlastsicherung geschaffen werden, die kostengünstig bei allen Arten von Aktuatoren eingesetzt werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass eine solche Einrichtung es zusätzlich erlaubt, eine definierte Steuerung des Aktuators auf einen vorgegebenen Soll-Wert der mechanischen Abgabegröße, z. B. auf eine Soll-Kraft, einzustellen.

[0008] Die erfindungsgemäße Einrichtung kann neben dem Luftfahrtbereich in vielen weiteren Bereichen der Technik eingesetzt werden, z. B. für die Steuerung elektrischer Fensterheber in Fahrzeugen, die eine Überlastsicherung erfordern, oder z. B. für Gabelstapler, bei denen die anzuhebende Last auf ein zulässiges Gesamtgewicht begrenzt sein soll. Im Bereich von Luftfahrzeugen kann die erfindungsgemäße Einrichtung z. B. zur Steuerung von Ruderflächen von Flugzeugen oder für die Blattverstellung bei Hubschraubern eingesetzt werden.

[0009] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Steuereinrichtung dazu eingerichtet, die Kraftabgabe oder Kraftaufnahme des Aktuators zu reduzieren, wenn das Ausgangssignal einen vorgegebenen Grenzwert erreicht oder überschreitet. Hierdurch kann auf kostengünstige Weise ein elektronischer Überlastschutz realisiert werden.

[0010] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer durch Beschichtung wenigstens eines im Kraftfluss liegenden Lagerelements und/oder eines Gegenlagers des Lagerelements in Dünnschichttechnik hergestellt. Dies erlaubt eine problemlose Integration des wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmers in einen Aktuator. Die Beschichtung in Dünnschichttechnik ist zudem relativ kostengünstig herstellbar.

[0011] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer in das Gegenlager und/oder das Lagerelement integriert angeordnet. Hierbei ist der piezoresistive Messaufnehmer im Kraftfluss angeordnet.

Hierbei es nicht so entscheidend ist, an welchem Bauteil der Messaufnehmer angebracht ist, wichtig ist die Lage im Kraftfluss. Vorteilhaft ist der Messaufnehmer nicht an einer mit einem rotierenden Bauteil, wie z. B. einer Kugel eines Kugellagers, beaufschlagten Fläche angeordnet, sondern an einer statischen Oberfläche. Hierdurch unterliegt der piezoresistive Messaufnehmer praktisch keinem Verschleiß und ist daher relativ langlebig.

[0012] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist dem wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmer ein Temperaturkompensationselement zugeordnet. Dies hat den Vorteil, dass eine temperaturkompensierte Erfassung der abgegebenen oder aufgenommenen Kraft des Aktuators durchgeführt werden kann, was die Messgenauigkeit erhöht und den Überlastschutz temperaturunabhängig macht.

[0013] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer an einer Stirnseite eines Lagerelements angeordnet. So kann der Messaufnehmer z. B. an einem Außenring eines Kugellagers stirnseitig angeordnet sein, wobei hierbei von einer Anordnung ausgegangen wird, bei der der Innenring des Kugellagers dreht. Bei Anordnungen mit drehendem Außenring des Kugellagers wird vorteilhaft der piezoresistive Messaufnehmer an einer Stirnseite des Innenrings des Kugellagers angeordnet.

[0014] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung werden piezoresistive Messaufnehmer an gegenüberliegenden Stirnseiten des Lagerelements und/oder an gegenüberliegenden Stirnseiten des Gegenlagers angeordnet. Dies hat den Vorteil, dass die Kraftabgabe oder Kraftaufnahme des Aktuators in zwei entgegengesetzten Betätigungsrichtungen des Aktuators erfasst werden kann. Dies erlaubt eine Überlastsicherung in beiden Betätigungsrichtungen des Aktuators.

[0015] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der piezoresistive Messaufnehmer und/oder das Temperaturkompensationselement durch Beschichtung mit folgenden Schichten hergestellt ist:

- a) eine mit Kohlen-Wasserstoff gebildete piezoresistive Sensorschicht auf der Oberfläche des Gegenlagers und/oder des Lagerelements,
- b) wenigstens eine auf die piezoresistive Sensorschicht aufgebrauchte Elektrode und
- c) eine die piezoresistive Sensorschicht und die Elektrode abdeckende Isolations- und Verschleißschicht.

[0016] Dies erlaubt eine einfache und kostengünstige Herstellung des piezoresistiven Messaufnehmers und des Temperaturkompensationselements.

[0017] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung hat die Elektrode eine derartige Struktur, dass ein im Kraftfluss liegender abgerundeter Bereich und ein außerhalb des Kraftflusses liegender viereckiger Bereich angrenzend an den abgerundeten Bereich vorgesehen ist, wobei die Verkabelung der Messaufnehmer durch elektrisch leitende Verbindungen von Messleitungen mit dem viereckigen Bereich erfolgt.

[0018] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist eine Mehrzahl von piezoresistiven Messaufnehmern über den Umfang verteilt an dem Lagerelement und/oder an dem Gegenlager stirnseitig angeordnet. Vorteilhaft kann auch eine Mehrzahl von Temperaturkompensationselementen über den Umfang verteilt an dem Lagerelement und/oder an dem Gegenlager stirnseitig angeordnet sein.

[0019] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist ein durchgehender piezoresistiver Messaufnehmer mit einer im Kraftfluss liegenden kreisförmigen Sensorschicht stirnseitig auf dem Lagerelement und/oder dem Gegenlager angeordnet. Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist ein konzentrisch zu der kreisförmigen Sensorschicht angeordnetes Temperaturkompensationselement vorgesehen, das kreisringförmig ausgebildet und außerhalb des Kraftflusses angeordnet ist. Wie erkennbar ist, sind vorteilhaft auch Kombinationen aus verteilt am Umfang des Lagerelements und/oder des Gegenlagers angeordneten Messaufnehmern und kreisring-segmentförmigen piezoresistiven Messaufnehmern und/oder Temperaturkompensationselementen einsetzbar. So können beispielsweise zwei halbkreisringförmige Segmente auf einer Stirnseite des Lagers und/oder des Gegenlagers als piezoresistive Messaufnehmer und/oder als Temperaturkompensationselemente vorgesehen sein.

[0020] Ein vorteilhaftes Verfahren zur Steuerung eines Aktuators einer Einrichtung der zuvor beschriebenen Art weist folgende Schritte auf:

- a) Erfassen des Ausgangssignals des wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmers,
- b) Vergleichen des Ausgangssignals mit einem vorgegebenen Sollwert und/oder einem Grenzwert,
- c) Verändern des an den Aktuator abgegebenen Steuersignals derart, dass der Sollwert erreicht wird und/oder dass der Grenzwert nicht überschritten wird.

[0021] Vorteilhaft kann das Verfahren in der erfindungsgemäßen Einrichtung dadurch realisiert sein, dass ein Steuerprogramm der Steuereinrichtung zur Ausführung der genannten Verfahrensschritte eingerichtet ist.

[0022] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Verwendung von Zeichnungen näher erläutert.

[0023] Es zeigen

[0024] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Lageranordnung und

[0025] Fig. 2 eine schematische Darstellung einer möglichen Verteilung von piezoresistiven Messaufnehmern auf dem Umfang eines Lagerrings und

[0026] Fig. 3a ein Diagramm zur temperaturkompensierten Auswertung des Ausgangssignals eines piezoresistiven Messaufnehmers und

[0027] Fig. 3b ein Schaltbild einer Messschaltung und

[0028] Fig. 4 eine schematische Schnittansicht einer Messaufnehmer-Struktur und

[0029] Fig. 5 eine Einrichtung mit einem Aktuator und

[0030] Fig. 6 eine schematische Darstellung einer weiteren möglichen Anordnung von piezoresistiven Messaufnehmern an einem Lagerring und

[0031] Fig. 7 ein Funktionsdiagramm einer Aktuator-Steuerung und

[0032] Fig. 8 ein weites Funktionsdiagramm einer Aktuator-Steuerung.

[0033] In den Figuren werden gleiche Bezugszeichen für einander entsprechende Elemente verwendet.

[0034] Die Fig. 5 zeigt eine Einrichtung mit einem Aktuator **50** und einer Steuereinrichtung **11**. Der Aktuator **50** ist als elektromotorisch betriebener Drehspindel-Aktuator ausgebildet. Hierfür weist der Aktuator **50** einen Stator **51** mit einem Gehäuse und einer in dem Gehäuse angeordneten elektrischen Spulenordnung **60** auf. Innerhalb des Stators **51** ist ein Rotor **53** angeordnet, der im Bereich der Spulenordnung **60** mit Permanentmagneten bestückt ist. Der Rotor **53** weist in einem Bereich außerhalb der Spulenordnungen **60** einen Spindeltrieb **52** auf. Durch den Spindeltrieb **52** hindurch in einen Innenraum des Rotors **53** hinein erstreckt sich eine Spindel **54**. Die Spindel **54** ist außerhalb des Gehäuses des Aktuators **50** mit einer Befestigungsöse **56** verbunden. Auf der der Befestigungsöse **56** gegenüberliegenden Seite des Aktuators **50** ist eine weitere Befestigungsöse **57** vorgesehen, die mit dem Gehäuse des Aktuators **50** verbunden ist. Die Befestigungsö-

sen **56**, **57** dienen zur Befestigung des Aktuators **50** an durch den Aktuator **50** betätigbaren Bauteilen.

[0035] Der Rotor **53** ist beidseits jeweils in einem Kugellager **54**, **55** gegenüber dem Stator **51** des Aktuators **50** gelagert.

[0036] Der Stator **51** bildet zusammen mit der elektrischen Spulenordnung **60** und dem Rotor **53** einen bürstenlosen Elektromotor, der durch entsprechende Beaufschlagung verschiedener Wicklungen der Spulenordnung **60**, über die ein Drehfeld erzeugt wird, in der gewünschten Drehrichtung betätigt werden kann. Hierdurch wird der Rotor **53** zusammen mit dem Spindeltrieb **52** in eine Drehbewegung versetzt. Dies führt je nach Drehrichtung zu einem Einfahren oder Ausfahren der Spindel **54**. Zur Steuerung des Aktuators **50** ist die elektrische Spulenordnung **60** über elektrische Leitungen **21** mit einer elektronischen Steuereinrichtung **11** verbunden.

[0037] Die Fig. 5 zeigt ferner den jeweiligen Kraftfluss in dem Aktuator bei Zugbelastung (Einfahren der Spindel) und Druckbelastung (Ausfahren der Spindel). Zwischen den Befestigungsösen **56**, **57** ist der Kraftfluss entlang der Längsrichtung L des Aktuators **50** gerichtet. Die gestrichelte Linie **58** zeigt den Kraftfluss bei Zugbelastung. In diesem Fall ist das Kugellager **54** in Längsrichtung L kraftbelastet.

[0038] Die gestrichelte Linie **59** zeigt den Kraftfluss bei Druckbelastung. In diesem Fall ist das Kugellager **55** in Längsrichtung L kraftbelastet. Wie erkennbar ist, verläuft der Kraftfluss in beiden Belastungsrichtungen über eine jeweilige Stirnfläche eines äußeren Rings des Kugellagers **54** bzw. des Kugellagers **55**.

[0039] Die Fig. 1 zeigt als Ausschnitt **1** beispielhaft den in Fig. 5 links oben dargestellten Teil des Kugellagers **54** im Detail. Die nachfolgenden Erläuterungen gelten sinngemäß auch für das Kugellager **55**.

[0040] Fig. 1 lässt in schematischer Darstellung einen Abschnitt **2** des Spindeltriebs **52** und einen oberen Teil des Kugellagers **54**, nachfolgend zur Vereinfachung als Lager **3** bezeichnet, erkennen. Das Lager **3** hat eine rotierbare Läuferanordnung **4**, die durch einen Innenring **5** und eine Vielzahl auf den Umfang verteilt angeordnete Wälzkörper **6** hat. Die Wälzkörper **6** werden durch einen äußeren Umfang durch einen Außenring **7** umschlossen, so dass eine Relativbewegung zwischen Innenring **5** und Außenring **7** unter Abrollen der Wälzkörper **6** in den für die Wälzkörper **6** vorgesehen Mulden im Innen- und Außenring **5** und **7** möglich ist. Der Außenring **7** bildet ein Gegenlager zur rotierbaren Läuferanordnung **4**. Das Gegenlager bzw. der Außenring **7** ist in ein Gehäuse **8** fest eingebaut, so dass das Gegenlager in Bezug zur rotierbaren Läuferanordnung **4** statisch ist.

[0041] Hierbei sind der Spindeltrieb **52**, der Rotor **53**, die Läuferanordnung **4**, der Innenring **5** und die Wälzkörper **6** rotierbare Bauelemente. Der Außenring **7** und das Gehäuse **8** sind Teile der Lagerstelle der rotierbaren Bauelemente.

[0042] An mindestens einer Seitenwand des Außenrings, d. h. an einer Stirnseite, angrenzend an das Gehäuse **8** sind mehrere über den Umfang des Außenrings **7** verteilt angeordnete piezoresistive Messaufnehmer **9** angeordnet, die drahtlos oder mittels Kabel **10** mit der elektronischen Steuereinrichtung **11** verbunden sind. Die elektronische Steuereinrichtung **11** hat Signalauswertelogik, um charakteristische, bei der Rotation der Läuferanordnung **4** bestehend aus Wälzkörper **6** und Innenring **5** wiederkehrende Signalmuster der mehreren Sensorsignale der piezoresistiven Messaufnehmer **9** zu erfassen und in Abhängigkeit dieser erfassten Signalmuster die auf den Aktuator **50** einwirkende Last zu bestimmen.

[0043] Fig. 2 lässt eine mögliche Ausführungsform in einer schematischen Darstellung des Außenrings **7** als Aufsicht von der Seite erkennen. Deutlich wird, dass mehrere piezoresistive Messaufnehmer **9** über den Umfang verteilt ähnlich wie bei einer Inkrementscheibe angeordnet sind. Dabei sind die piezoresistiven Messaufnehmer **9** vorzugsweise äquidistant voneinander beabstandet.

[0044] Erkennbar ist, dass jeder piezoresistive Messaufnehmer **9** einen Bereich **12** hat, der im Lasteinflussbereich der rotierbaren Lageranordnung **4** liegt. Angrenzend an diesen im Kraftfluss liegenden Bereich **12** ist ein weiterer Bereich **13** vorgesehen, der außerhalb des Lasteinflussbereichs liegt und zur elektrischen Kontaktierung dient. Neben dem Bereich **13** ist ein weiterer Bereich **10** vorgesehen, der zur Temperaturkompensation dient. Die Bereiche **10**, **13** werden jeweils mittels Kabeln **20** mit der elektronischen Steuereinrichtung **11** verbunden. Die piezoresistiven Messaufnehmer **9** werden mittels einer geeigneten Konstantspannungsquelle mit Energie versorgt. Die eigentliche Temperaturkompensation der piezoresistiven Messaufnehmer **9** erfolgt über eine geeignete Verschaltung der Bereiche **10** und **13** z. B. mit einer Viertelbrücke.

[0045] Die piezoresistive Sensorschicht kann homogen auf einen Grundkörper, hier z. B. den Außenring **7**, aufgetragen werden. Zur Ausbildung einzelner piezoresistiver Messaufnehmer ist es notwendig, Bereiche zu definieren, in denen die eigentliche Messung der Kontaktkräfte stattfinden soll. Hierfür kann vorteilhaft eine leitfähige Beschichtung in dedizierten Bereichen des Grundkörpers vorgesehen werden, und zwar in Form der anhand der Fig. 2 dargestellten Bereiche **10**, **12**, **13**. Die Fig. 3a, die hinsichtlich der dort dargestellten elektronischen Schaltung später noch eingehender erläutert wird, zeigt ausschnittsweise ei-

nen Sektor des als Grundkörper verwendeten Außenrings **7** sowie darauf aufgebrachter Bereiche **10**, **12**, **13** mit elektrisch leitfähiger Beschichtung. Vorteilhaft besteht jeder Sensorbereich aus zwei Elektroden F, T. Die für die Kraftmessung ausgebildete Elektrode F ist als Kombination zwischen einem rechteckigem Bereich **13** und einem gerundeten Bereich **12** ausgestaltet, wobei der gerundete Bereich vorteilhaft in Form eines langgestreckten Ovals ausgebildet sein kann. Wie in Fig. 3a zu erkennen ist, befindet sich nur der ovale Bereich **12** innerhalb eines kraftbeaufschlagten Bereichs **30**, nämlich innerhalb eines Flächenbereichs, in dem die Flanke des Außenrings **7** am Gehäuse **8** anliegt. Die Bereiche **13**, **10** der Elektroden befinden sich in einem nicht kraftbeaufschlagten Bereich **31** des Außenrings **7**. Somit befindet sich von der gesamten Sensoranordnung nur der ovale Bereich **12** im Kraftfluss der mechanischen Konstruktion. Die zusätzlich neben der Elektrode F angeordnete rechteckförmige Elektrode T befindet sich vorteilhaft in unmittelbarer Nähe zur Elektrode F, ist mit dieser jedoch nicht leitfähig verbunden. Die rechteckförmigen Bereiche **10**, **13** der Elektroden dienen dabei der Kontaktierung der Anschlussdrähte zur Verbindung mit einer Messschaltung. Hierbei ist es vorteilhaft, dass der Bereich **10** der Elektrode T den gleichen Flächenbereich einnimmt wie die Bereiche **12**, **13** der Elektrode F zusammen. Hierdurch ist mittels der Elektrode T eine optimale Temperaturkompensation möglich.

[0046] Die Fig. 3a und Fig. 3b zeigen eine Skizze mit einem Schalt diagramm zur temperaturkompensierten Lastmessung mit einem Schaltbild einer Viertelbrücke zur Temperaturkompensation.

[0047] In der Skizze gemäß Fig. 3a ist ein Sektor **30**, **31** des Außenrings **7** mit dem ersten im Kraftfluss liegenden Bereich **12** und dem zweiten außerhalb des Kraftflusses der rotierbaren Lageranordnung **6**, **7** liegenden Bereich **13** mit den dort gebildeten piezoresistiven Strukturen zu erkennen. Der Außenring **7** ist auf Basispotential, zum Beispiel Masse gelegt. Die Schaltung wird mit einer Konstantspannungsquelle U mit einer konstanten Spannung versorgt. Die eigentliche Temperaturkompensation der piezoresistiven Messaufnehmer erfolgt über eine geeignete Verschaltung der Elektroden F, T z. B. mit einer Brückenschaltung.

[0048] Wie in der Fig. 3a ebenfalls erkennbar ist, ist der Außenring **7** als metallischer Grundkörper eine elektrische Referenz für die Erfassung der Sensorsignale. Der Außenring **7** liegt dabei beispielsweise auf Massepotential. Die Elektroden F, T werden über eine Messschaltung mit einer Spannungsquelle verbunden, deren Potenzial höher liegt als das der elektrischen Masse des Außenrings **7**. Hierdurch bildet sich ein Stromfluss aus, bei dem die Ladungsträger zunächst über eine Verbindungsstelle in die Elektro-

den T, F fließen und von dort durch die Sensorschicht zur elektrischen Masse, d. h. über den metallischen Grundkörper des Außenrings 7 zur Masse der Spannungsversorgung. Für die Funktion als Messaufnehmer kommen die Bereiche der Anordnung in Frage, in denen ein Stromfluss durch die piezoresistive Beschichtung fließt und eine Widerstandsänderung der Beschichtung messtechnisch erfasst werden kann. Die piezoresistive Sensorschicht ist prinzipbedingt sehr hochohmig. Aus diesem Grund kommt es nicht zu einem relevanten Stromfluss von einer Elektrode zur anderen, d. h. die Messungen an den einzelnen Elektroden beeinflussen sich gegenseitig nicht. Aufgrund des hohen spezifischen Widerstands der piezoresistiven Sensorschicht fließen die Ladungsträger, sozusagen nach dem Prinzip des Wegs des geringsten Widerstands, von einer Elektrode durch die relativ dünne Sensorschicht zur elektrischen Masse des Grundkörpers. Ein Stromfluss über den wesentlich hochohmigeren Weg über benachbarte Elektroden ist vernachlässigbar. Daher kann jede Elektrode als ein separater, veränderlicher ohmscher Widerstand betrachtet werden.

[0049] Kommt es durch den Einfluss von Druck bzw. Kraft oder Temperatur zu einer Veränderung des elektrischen Widerstands der Sensorschicht, kann dieser lokal im Bereich der Elektroden erfasst werden, da er den Stromfluss dort direkt beeinflusst. Für die Anwendung zur Lastmessung besteht ein Bedarf daran, dass die Messung nicht durch Temperatureinflüsse ungenau wird. Es ist daher eine temperaturstabilisierte Messung anzustreben. Zu diesem Zweck wird eine Messschaltung gemäß Fig. 3a bzw. Fig. 3b verwendet. Bei dieser Messschaltung wird in Reihe zu jeder Elektrode ein externer Widerstand geschaltet. Ergänzt mit einer Spannungsquelle kann dann eine Brückenschaltung aufgebaut werden. Die Querspannung U_b der Brückenschaltung steht dabei in folgendem Zusammenhang mit den übrigen Größen der Messschaltung:

$$U_b = U \left[\frac{1}{1 + \frac{R_F}{R_{trimm}}} - \frac{1}{1 + \frac{R_T}{R_e}} \right]$$

[0050] Eine Änderung der Schichtwiderstände in der Sensorschicht macht sich daher in einer Änderung der Querspannung bemerkbar. Man kann erkennen, dass durch Anpassen des externen Widerstands R_{trimm} die Größenverhältnisse so eingestellt werden können, dass die Querspannung zwischen den Brückenzweigen zu Null wird. Ein solcher Abgleich kann einmalig erfolgen, z. B. im unbelasteten Zustand des Lagers. Kommt es nun zu einer Krafteinwirkung auf die Elektrode F, reduziert sich an dieser Stelle der elektrische Widerstand der Sensorschicht. An der Elektrode T kann dies nicht erfolgen, da sie sich nicht

innerhalb des Kontaktbereichs des Außenrings befindet. Die Elektrode T verändert daher ihren Widerstand kraftbedingt nicht. Beide Elektroden F, T unterliegen aber zusätzlich einer temperaturbedingten Widerstandsänderung. Durch in etwa flächenmäßig gleich große Ausbildung der Bereiche 10 und 12 + 13 und die Anordnung der Bereiche 10, 13 nah beieinander kann eine effiziente Temperaturkompensation erfolgen.

[0051] Als Folge der Kraftbeaufschlagung des Bereichs 12 ändert sich der Widerstand der darunter befindlichen Sensorschicht. Hierdurch sind die Widerstandsverhältnisse der Brückenschaltung nicht mehr so abgestimmt, dass die Querspannung U_b den Wert Null hat. Es ergibt sich somit eine von Null verschiedene Querspannung. Dieser Spannungswert ist dann ein Maß für die einwirkende Kraft auf die Elektrode F, was von einer angeschlossenen Messeinheit bzw. der elektronischen Steuereinrichtung 11 erfasst und verarbeitet werden kann.

[0052] Kommt es zu einer Temperaturveränderung im Bereich der Sensoren, wirkt sich diese Temperaturveränderung auf die gesamte Sensorschicht in diesem Bereich aus. Entsprechend ändert sich der Widerstand der Sensorschicht in diesem Bereich. Durch die identische Größe der Bereiche 10 und 12 + 13 der Elektroden kommt es dabei nicht zu einem Ungleichgewicht in der Messung, sondern zu einer Kompensation innerhalb der Brückenschaltung. Es bleibt das Widerstandsverhältnis in den Brückenzweigen gleich, so dass es auch nicht zu einer temperaturbedingten Änderung der Querspannung kommt. Die Schaltung ist somit automatisch temperaturkompensiert.

[0053] Deutlich wird, dass die Signale der beiden piezoresistiven Strukturen jeweils an die elektronische Steuereinrichtung 11 geführt werden. Die piezoresistiven Strukturen sind zudem über elektrische Widerstände R_{trimm} und R_e an die Konstantspannungsquelle U angeschlossen. Statt einer Konstantspannungsquelle kann auch eine Konstantstromquelle verwendet werden. Eine Konstantstromquelle bietet verschiedene Vorteile bei der Übertragung der Messsignale in die Messschaltung, wie z. B. die Möglichkeit zur Erkennung von Leitungsbrüchen oder ausgefallenen Sensoren.

[0054] Fig. 3b lässt mit dem Schaltdiagramm erkennen, dass die durch die piezoresistiven Strukturen gebildeten Elektroden T, F mit den Widerständen R_{trimm} und R_e in einer Brückenschaltung (Wheatstone-Brücke) verschaltet sind. Hierbei entspricht der dargestellte Widerstand R_F dem Widerstand der Elektrode F, der Widerstand R_T entspricht dem Widerstand der Elektrode T.

[0055] Hiermit wird eine Temperaturkompensation der Messung erreicht, die notwendig ist, da die Temperatur im Einsatzbereich des Messsystems in der Regel beträchtlichen Schwankungen unterworfen sein kann.

[0056] Die im Kraftfluss der rotierbaren Lageranordnung **6, 7** liegende piezoresistive Struktur mit R_F ist dem Einfluss von Kraft und Temperatur unterworfen. Die zweite, außerhalb des Kraftflusses liegende piezoresistive Struktur mit der Elektrode R_F ist hingegen nur gegenüber Temperaturänderungen empfindlich. Die Temperaturkompensation der Messung wird durch die Anwendung einer Viertelbrückenschaltung realisiert. Hierbei werden die elektrischen Widerstände R_T und R_F des jeweiligen Sensorpunktes durch zwei externe Widerstände R_{trimm} und R_E ergänzt, die in einem separaten Modul zusammen mit der zur Signalerfassung und -auswertung notwendigen Elektronik untergebracht sind und unter anderem auch die Abstimmung der Brückenspannung ermöglichen. Bei dieser Art der Temperaturkompensation wird davon ausgegangen, dass sowohl die externen Widerstände R_{trimm} und R_E wie auch die Strukturen des Sensorpunktes jeweils ein weitgehend identisches Temperaturverhalten zeigen und auch gleichen Temperaturen ausgesetzt sind. Auf diese Weise bleibt die Brückenspannung auch bei Änderung der Temperatur entweder im Elektronikmodul oder am Wälzlager konstant. Neben der Temperaturkompensation ist die Störuneempfindlichkeit dieser Schaltung ein weiterer Vorteil. Insbesondere Störungen im Massepotential koppeln durch den Aufbau als Brückenschaltung als Gleichtaktstörungen in beide Brückenarme synchron ein und verfälschen so nicht die gemessene Brückenspannung. Ein geringfügiger Nachteil hingegen ist die nicht lineare Kraft-Spannungs-Kennlinie. Der Linearitätsverlust beträgt je nach Schaltung circa 10%. Dieser kann jedoch elektronisch oder, nach erfolgter Analog-Digital-Wandlung des Messsignals, softwareseitig korrigiert werden, um eine lineare Kennlinie zu erhalten.

[0057] Der Stromfluss in dieser Viertelbrückenschaltung ist derart, dass an den piezoresistiven Sensorstrukturen der Strom durch die Kontaktstellen in die piezoresistive Schicht eintritt, diese durchdringt und über den metallischen Außenring **7**, der als elektrische Masse dient, wieder abfließt. Da sich der Strom hierbei bedingt durch das Prinzip des geringsten Widerstands den kürzesten Weg, das heißt senkrecht durch die Schicht, sucht, kommt es trotz der homogen auf den Außenring **7** aufgetragenen piezoresistiven Sensorschicht nicht zu einer gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Sensorstrukturen.

[0058] Jeder piezoresistive Messaufnehmer, bestehend aus dem durch die Elektroden F, T gebildeten Sensorpaar, liefert eine temperaturkompensierte Messung der an der Messstelle herrschenden Kon-

taktkraft zwischen dem Kugellager **7** und dem Gegenlager **6**. Die auf dem piezoresistiven Messprinzip beruhende Widerstandsänderung wird über die elektrische Spannung an jedem Sensorpaar gemessen, die als Maß für die einwirkende Kraft dient. Die Kontaktkraft wird durch die an den piezoresistiven Messaufnehmern vorbeierollenden Wälzkörper beeinflusst. Die aus der Pressung der Wälzkörper gegen den Lager-Außenring resultierende, lokale Verformung des Außenrings führt zu einem charakteristischen, drehrichtungsabhängigen Kontaktkraftverlauf.

[0059] Der Aufbau der piezoresistiven Messaufnehmer **12, 13** ist in der **Fig. 4** skizziert. Die Temperaturkompensationsbereiche **10** sind gleichermaßen aufgebaut. Die äußere stirnseitige Oberfläche **30** des Außenrings **7** dient als Substrat für eine flächig aufgebrachte piezoresistive Sensorschicht **14** bestehend aus einer dotierten oder undotierten Kohlenwasserstoffschicht. Als Dotierungsmaterialien kommen beispielsweise Metalle, wie Wolfram, Chrom, Silber, Titan, Gold, Platin etc. in Frage. Als Material für die Sensorschicht **14** sind auch reine oder amorphe Kohlenstoffschichten möglich.

[0060] Auf die piezoresistive Sensorschicht **14** sind strukturierte Elektroden **15** zur Kraftmessung und zur Temperaturkompensation aufgebracht. Diese strukturierten Elektroden **15** bestehen aus einer dünnen Metallschicht, wie z. B. Chrom, Titan, Chrom-Nickel-Verbindungen etc. Die strukturierten Elektroden haben die in **Fig. 3** gezeigte und diskutierte Form und bilden den ovalen Bereich **12** und den viereckigen Bereich **13** aus.

[0061] Die piezoresistive Sensorschicht **14** sowie die strukturierten Elektroden **15** sind mit einer Isolations- und Verschleißschicht **16** abgedeckt, die z. B. aus einer siliziumdotierten Kohlenwasserstoffschicht gebildet ist. Denkbar ist auch die Verwendung von Silizium-Sauerstoff-, Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid-dotierten Kohlenwasserstoffschichten.

[0062] Bei dem dargestellten Schichtsystem haben alle Sensorstrukturen der piezoelektrischen Messaufnehmer dieselbe Masse, für die das metallische Ringsubstrat verwendet wird.

[0063] Ein piezoresistiver Dünnschichtsensor bestehend aus einer auf einem Träger angeordneten Kohlenwasserstoffschicht mit piezoresistiven Eigenschaften und Elektrodenstrukturen auf der piezoresistiven Sensorschicht ist zudem aus der DE 10 2006 019 942 A1 bekannt.

[0064] Die **Fig. 6** zeigt den Außenring **7** des Kugellagers **54**. Auf dem Außenring **7** ist stirnseitig ein piezoresistiver Messaufnehmer mit einem kreisringförmig ausgebildeten Sensierbereich **61** angeordnet, der im Kraftfluss angeordnet ist. Des Weiteren ist eine pie-

zoresistive Beschichtung als innerer konzentrischer Kreisring vorgesehen, die als Temperaturkompensationselement **62** dient.

[0065] Die Fig. 7 zeigt die prinzipielle Signalverarbeitung bei Verwendung nur eines piezoresistiven Messaufnehmers, z. B. wie anhand der Fig. 6 dargestellt. Von einem piezoresistiven Messaufnehmer **70** wird ein Ausgangssignal an eine Messschaltung **71** abgegeben, wie z. B. anhand der Fig. 3 beschrieben. Die Messschaltung **71** weist zudem einen Analog/Digital-Wandler auf, dessen Ausgangssignal in einen Mikroprozessor eingelesen wird. In einem Block **72** wird eine Signalkonditionierung durchgeführt, z. B. durch digitale Signalverarbeitung in dem Mikroprozessor. Von dem Mikroprozessor wird ein Steuersignal an eine Motoransteuerungseinheit **74** abgegeben. Zudem wird von einer Soll-Wert-Vorgabeeinheit **73** ein Steuersignal an die Motoransteuerungseinheit **74** abgegeben. Durch das Steuersignal erfolgt die Betätigung des Elektromotors des Aktuators **50** im jeweiligen Einsatzfall. Der Elektromotor wird in den Fig. 7 und durch einen Block **75** symbolisiert. In der Motoransteuerungseinheit **74** werden das Steuersignal und das von der Signalkonditionierung im Block **72** kommende Signal ausgewertet. Sofern die Auswertung ergibt, dass ein Kraftabgabe- oder Kraftaufnahme-Grenzwert des Aktuators noch nicht überschritten ist, bewirkt die Motoransteuerung eine Betätigung des Elektromotors **75** derart, dass die durch das Steuersignal gewünschte Position des Aktuators eingestellt wird. Sofern der Grenzwert erreicht oder überschritten ist, begrenzt die Motoransteuerungseinheit **74** die Betätigung des Elektromotors **75** derart, dass der Grenzwert nicht überschritten wird und der Aktuator damit vor Überlast geschützt betrieben wird.

[0066] Die Fig. 8 zeigt eine vergleichbare Signalverarbeitung wie Fig. 7, jedoch für den Fall der Verwendung einer Mehrzahl piezoresistiver Messaufnehmer, wie z. B. anhand der Fig. 2 dargestellt. Die Mehrzahl der piezoresistiven Messaufnehmer wird durch einen ersten Messaufnehmer **80** sowie einen n-ten Messaufnehmer **83** symbolisiert, wobei durch die dazwischen dargestellten Punkte eine Mehrzahl von Messaufnehmern symbolisiert wird. Der erste Messaufnehmer **80** gibt sein Ausgangssignal an eine Messschaltung **81** ab, die wiederum ein Ausgangssignal an eine Signalkonditionierung **82** abgibt. Analog dazu gibt der n-te Messaufnehmer **83** sein Ausgangssignal an eine Messschaltung **84** ab, die wiederum ein Ausgangssignal an eine Signalkonditionierung **85** abgibt. Die Signalkonditionierungen **82**, **85** sowie die durch die Punkte symbolisierten weiteren Signalkonditionierungen der übrigen Messaufnehmer geben ihre Ausgangssignale an einen Block **86** ab, der zur Zusammenführung der Ausgangssignale dient. In dem Block **86** wird z. B. der Mittelwert der zugeführten Ausgangssignale bestimmt. Vom Block **86** wird ein

gemeinsames Ausgangssignal bei Bedarf einer weiteren Signalkonditionierung **72** und dann der Motoransteuerungseinheit **74** zugeführt. Die weitere Signalverarbeitung des Steuersignals **73** in der Motoransteuerungseinheit **74** zu dem Ansteuersignal für den Motor **75** entspricht dem anhand von Fig. 7 beschriebenen Ablauf.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102006019942 A1 [0063]

Patentansprüche

1. Einrichtung mit einem Aktuator (50) zur Abgabe einer mechanischen Abgabegröße, insbesondere einer Kraft und/oder eines Wegs, und einer Steuereinrichtung (11) zur Steuerung der Abgabegröße des Aktuators (50), wobei die Steuereinrichtung (11) mit dem Aktuator zur Zuführung eines Steuersignals verbunden ist, und wobei der Aktuator (50) wenigstens einen im Kraftfluss angeordneten, die abgegebene oder aufgenommene Kraft des Aktuators erfassenden piezoresistiven Messaufnehmer (9) aufweist, wobei der Steuereinrichtung (11) ein Ausgangssignal (U_b) des wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmers (9) zugeführt ist und die Steuereinrichtung (11) dazu eingerichtet ist, den Aktuator (50) in Abhängigkeit von dem Ausgangssignal (U_b) zu steuern.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (11) dazu eingerichtet ist, die Kraftabgabe oder Kraftaufnahme des Aktuators (50) zu reduzieren, wenn das Ausgangssignal (U_b) einen vorgegebenen Grenzwert erreicht oder überschreitet.

3. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer (9) durch Beschichtung wenigstens eines im Kraftfluss liegenden Lagerelements (7, 54, 55) und/oder eines Gegenlagers (8) des Lagerelements in Dünnschichttechnik hergestellt ist.

4. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine piezoresistive Messaufnehmer (9) in das Gegenlager (8) und/oder das Lagerelement (7, 54, 55) integriert angeordnet ist.

5. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein piezoresistiver Messaufnehmer (9) ein zugeordnetes Temperaturkompensationselement (10, 62) aufweist.

6. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass piezoresistive Messaufnehmer (9) an gegenüberliegenden Stirnseiten des Lagerelements (7, 54, 55) und/oder an gegenüberliegenden Stirnseiten des Gegenlagers (8) angeordnet sind.

7. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der piezoresistive Messaufnehmer (9) und/oder das Temperaturkompensationselement (10, 62) durch Beschichtung mit folgenden Schichten hergestellt ist:

a) eine mit dotiertem oder undotiertem Kohlenwasserstoff oder reinem Kohlenstoff gebildete piezoresis-

tive Sensorschicht (14) auf der Oberfläche des Gegenlagers und/oder des Lagerelements,

b) wenigstens eine auf die piezoresistive Sensorschicht (14) aufgebrachte Elektrode (15) und

c) eine die piezoresistive Sensorschicht (14) und die Elektrode (15) abdeckende Isolations- und Verschleißschutzschicht (16).

8. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrode (15) eine derartige Struktur hat, dass ein im Kraftfluss liegender abgerundeter Bereich (12) und ein außerhalb des Kraftflusses liegender viereckiger Bereich (13) angrenzend an den abgerundeten Bereich (12) vorgesehen ist, wobei die Verkabelung der Messaufnehmer (9) durch elektrisch leitende Verbindungen von Messleitungen (20) mit dem viereckigen Bereich (13) erfolgt.

9. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass über den Umfang des Lagerelements (7, 54, 55) verteilt eine Mehrzahl von piezoresistiven Messaufnehmern (9) angeordnet ist.

10. Verfahren zur Steuerung eines Aktuators einer Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

a) Erfassen des Ausgangssignals (U_b) des wenigstens einen piezoresistiven Messaufnehmers (9),

b) Vergleichen des Ausgangssignals (U_b) mit einem vorgegebenen Sollwert und/oder einem Grenzwert,

c) Verändern des an den Aktuator (50) abgegebenen Steuersignals derart, dass der Sollwert erreicht wird und/oder dass der Grenzwert nicht überschritten wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangssignal (U_b) temperaturkompensiert ist oder temperaturkompensiert wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

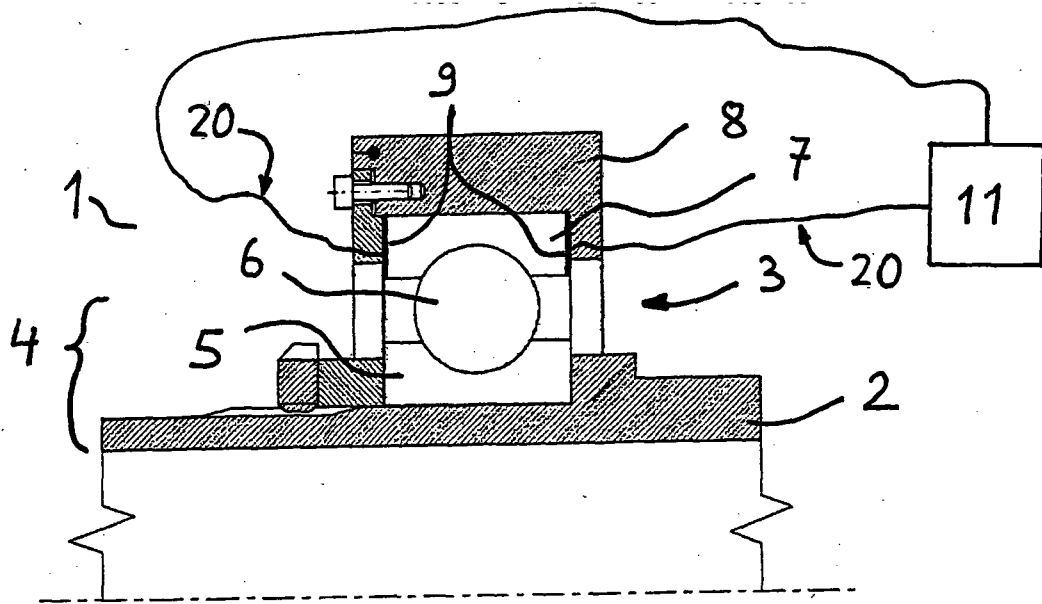


Fig. 1

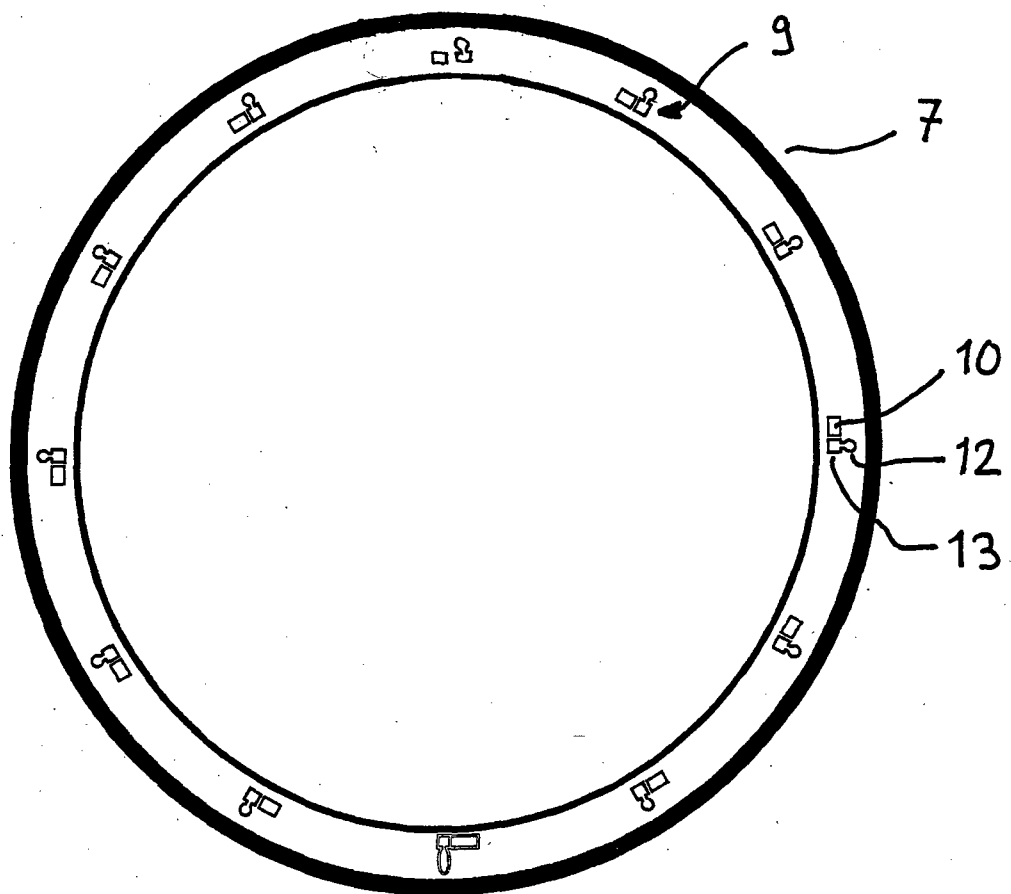


Fig. 2

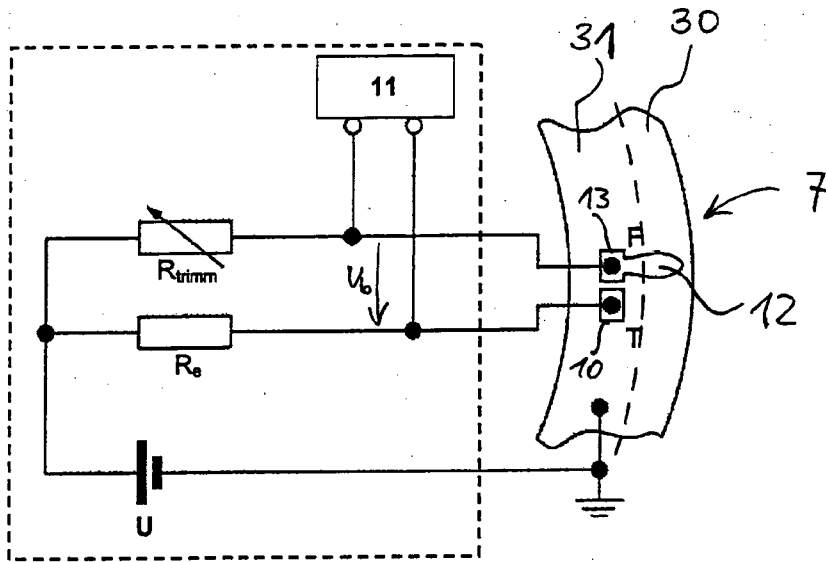


Fig. 3 a

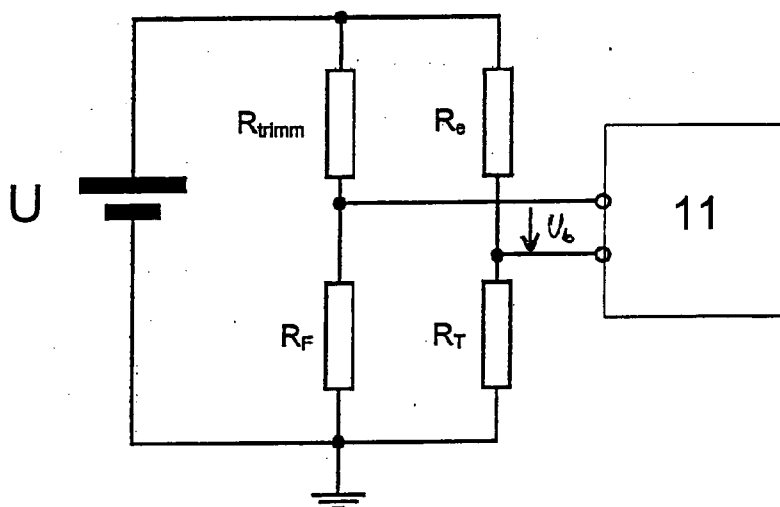


Fig. 3 b

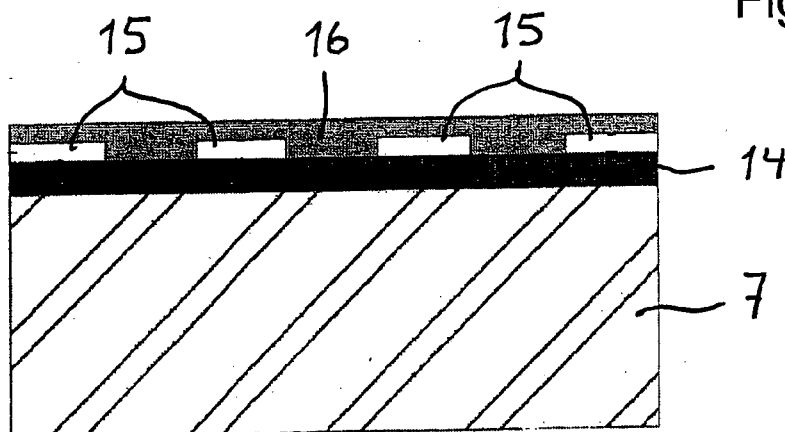


Fig. 4

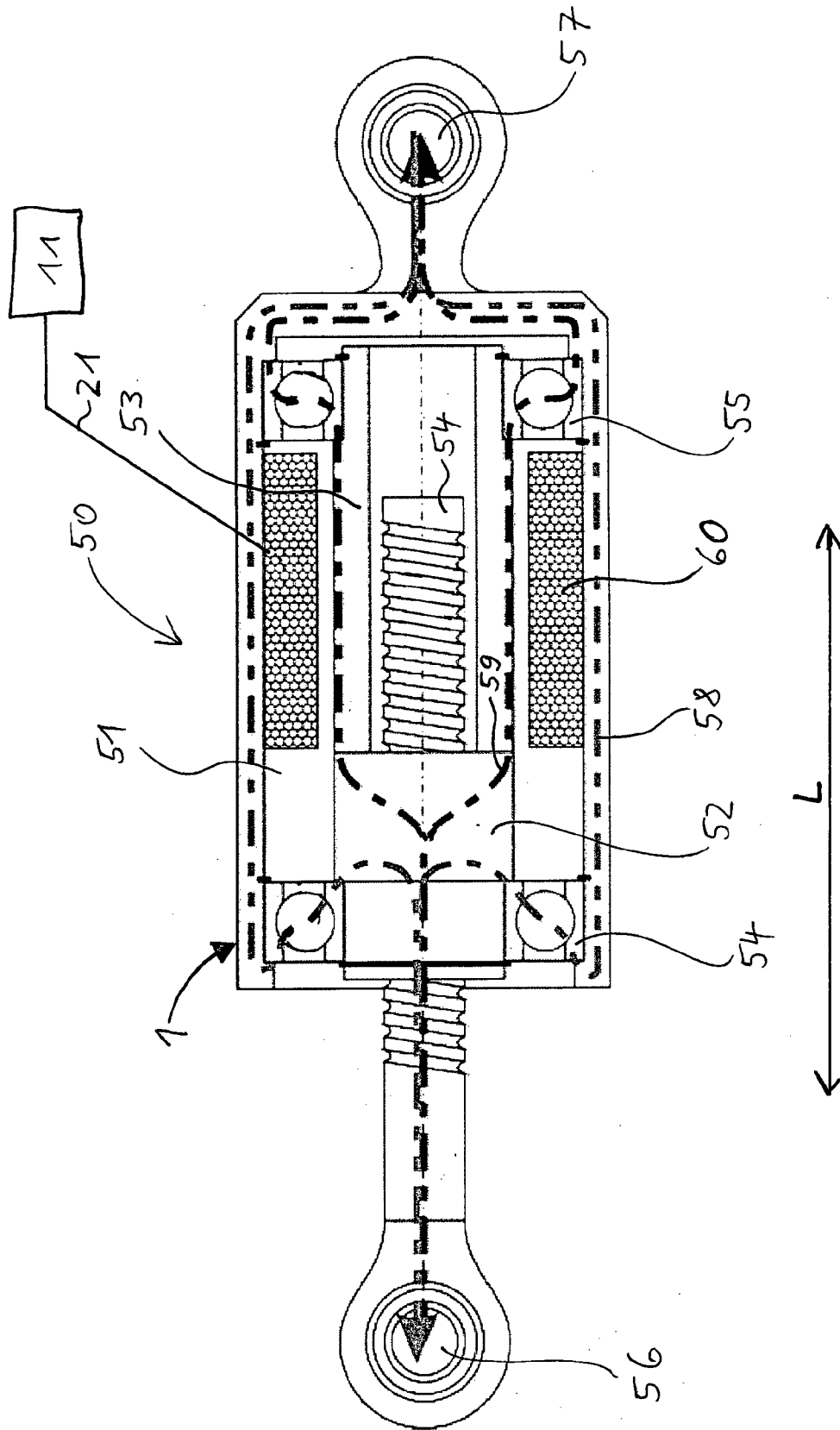


Fig. 5

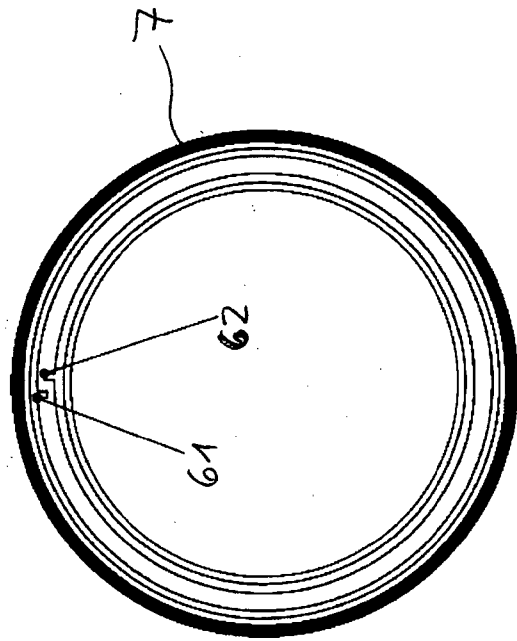


Fig. 6

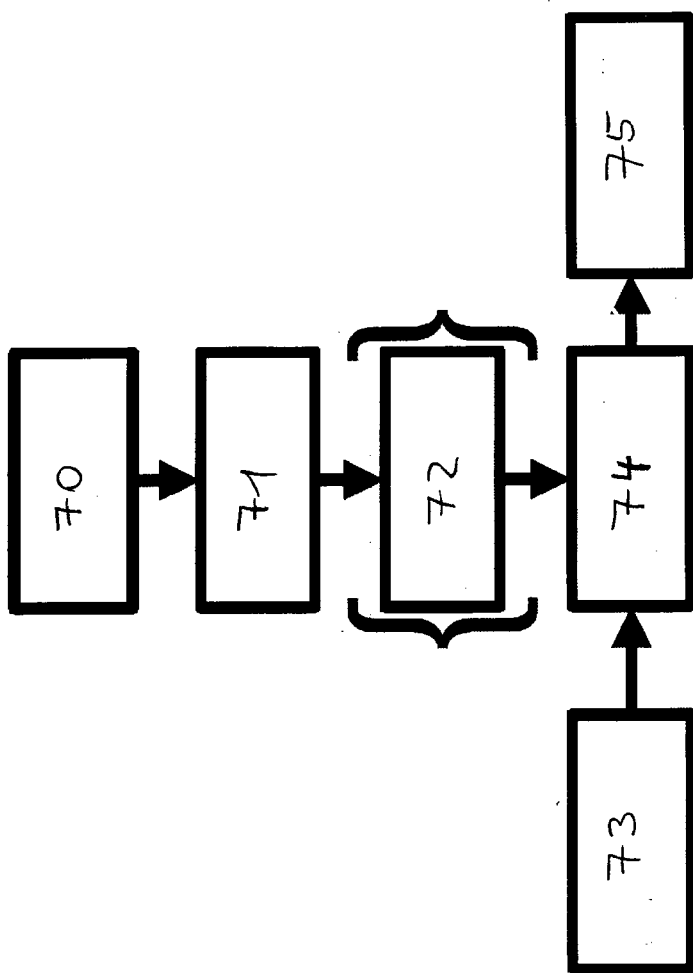


Fig. 7

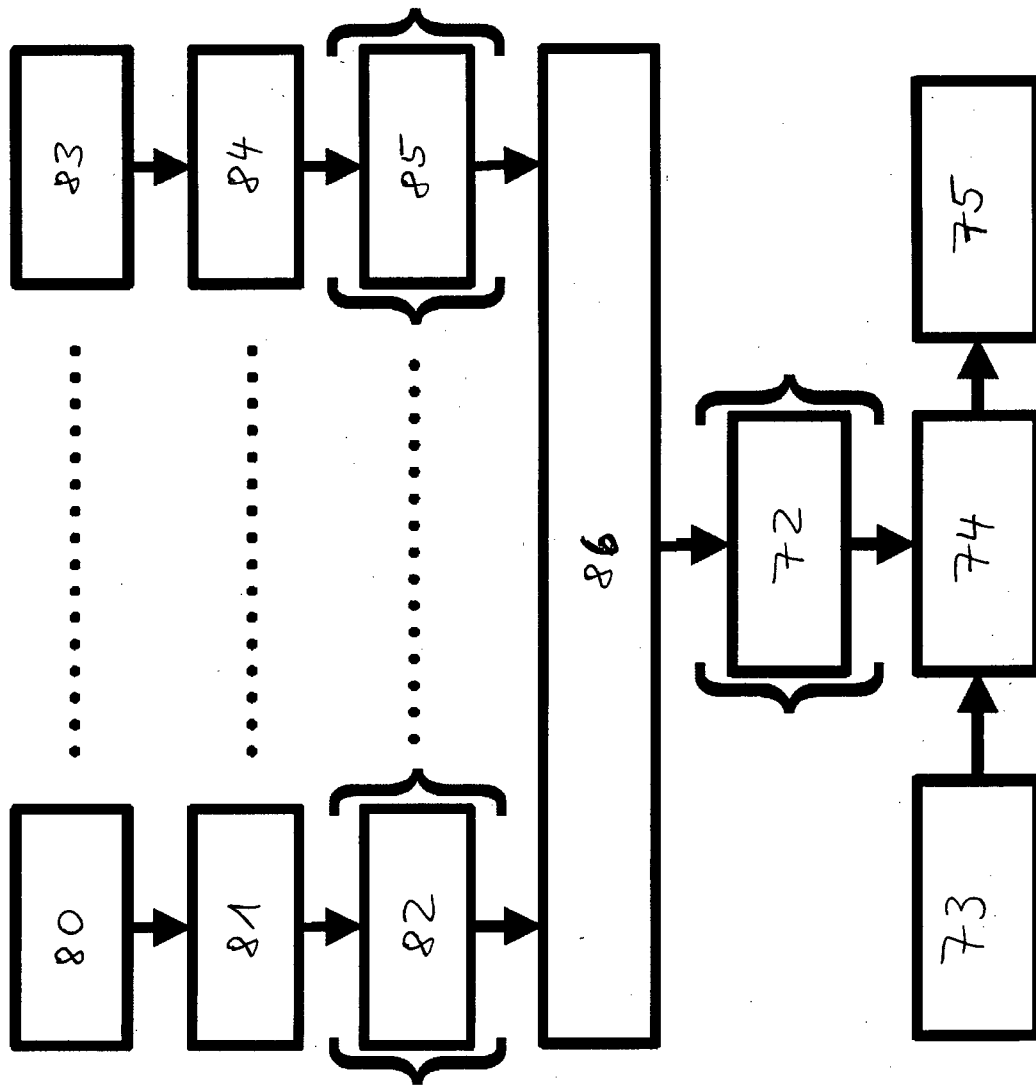


Fig. 8