

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50100/2013
(22) Anmeldetag: 08.02.2013
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2013

(51) Int. Cl. : **G01L 1/12** (2006.01)
G01L 9/14 (2006.01)

(30) Priorität:
09.02.2012 DE 102012101081.1 beansprucht.

(73) Patentanmelder:
Faculty of Electrical Engineering - University of
Ljubljana
1000 Ljubljana (SI)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Krafterfassung

(57) Verfahren zur Messung von Kraft und davon abgeleitete Größen, wie Druck, Drehmoment, Beschleunigung oder Gewicht sowie Sensor basierend auf diesem Verfahren. Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren, bei welchem zumindest zwei einander gegenüberliegend angeordnete Magnete aufgrund der Wechselwirkung der Magnetfelder aufeinander in Kraftwirkung stehen. Gegen diese Kraftwirkung wirkt eine mechanisch aufgebrachte Kraft derart, dass die magnetische Kraft kompensiert wird. Somit führt die mechanische Kraft aufgrund der linearen Abhängigkeit der magnetischen Feldstärke vom Luftspalt zwischen den gegenüberliegend angeordneten Magneten über einen magnetischen Feldstärkensensor zu einem eindeutigen elektrischen Ausgangssignal. Ein geeigneter Sensor ist vorzugsweise ein Hallsensor oder einen GMR-Sensor. Bei einer Änderung der Umgebungs-Temperatur ändert sich die magnetische Wirkung, dadurch ändert sich der Abstand im Kraftgleichgewichtsfall. Die gemessene magnetische Feldstärke entspricht jedoch wieder der Amplitude der mechanischen Gegenkraft. Dadurch ergibt sich eine sehr geringe Temperaturabhängigkeit. Die Temperatur kann zudem durch Kalibrierung der Abstandsverhältnisse als zusätzliches Ausgangssignal ebenfalls anhand einer Abstandserfassung ermittelt werden.

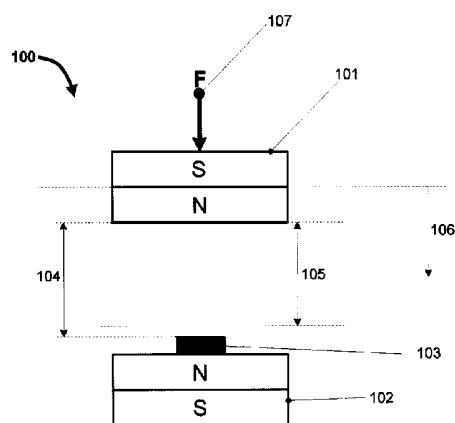


Fig. 1

Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zur Krafterfassung

Verfahren zur Messung von Kraft und davon abgeleitete Größen, wie Druck, Drehmoment, Beschleunigung oder Gewicht sowie Sensor basierend auf diesem Verfahren.

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren, bei welchem zumindest zwei einander gegenüberliegend angeordnete Magnete aufgrund der Wechselwirkung der Magnetfelder aufeinander in Kraftwirkung stehen. Gegen diese Kraftwirkung wirkt eine mechanisch aufgebrachte Kraft derart, dass die magnetische Kraft kompensiert wird. Somit führt die mechanische Kraft aufgrund der linearen Abhängigkeit der magnetischen Feldstärke vom Luftspalt zwischen den gegenüberliegend angeordneten Magneten über einen magnetischen Feldstärkensor zu einem eindeutigen elektrischen Ausgangssignal. Ein geeigneter Sensor ist vorzugsweise ein Hallsensor oder einen GMR-Sensor. Bei einer Änderung der Umgebungs-Temperatur ändert sich die magnetische Wirkung, dadurch ändert sich der Abstand im Kraftgleichgewichtsfall. Die gemessene magnetische Feldstärke entspricht jedoch wieder der Amplitude der mechanischen Gegenkraft. Dadurch ergibt sich eine sehr geringe Temperaturabhängigkeit. Die Temperatur kann zudem durch Kalibrierung der Abstandsverhältnisse als zusätzliches Ausgangssignal ebenfalls anhand einer Abstandserfassung ermittelt werden.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Krafterfassung

Durch geeignete Anordnung von Magneten und magnetischen Feldsensoren, sowie durch die Auswertung der aufgeprägten Kräfte im Gleichgewichtsfall mittels Feldmessung bietet diese Erfindung für viele Krafterfassungs-Anwendungen eine praktische Alternative zu herkömmlichen Methoden, beispielsweise gegenüber Piezo-Sensorik.

Stand der Technik

In der Literatur findet man unterschiedliche Anwendungen, die Magnete kombiniert in abstoßender oder anziehender Wirkrichtung einsetzen und entweder induktive Sensoren, magnetfeldabhängige Widerstände oder Hallsensoren verwenden, um Informationen über die Relativbewegung des Sensorelementes innerhalb des magnetischen Feldes oder über die Relativbewegung von den Magneten zueinander zu erhalten:

Das Patent US 6670805 offenbart einen Abstandssensor, der die Position von zwei Magneten relativ zu einem eingebetteten Magnetsensor erfasst. Entweder wird ein Magnet gegenüber dem anderen in seinem Abstand verändert, oder es wird die relative Position des Sensors innerhalb eines konstanten Spaltes verändert. Der Erfinder dieser Vorrichtung verwendet zwei Magnete und einen Sensor. Die Magnete sind axial N-S voneinander abstoßend ausgerichtet. Einige Merkmale sind dabei ähnlich wie in der vorgestellten Erfindung. Eine genannte Feder dient nur als unterstützendes

Element um einen Minimalabstand zwischen den Magneten nicht zu unterschreiten. Die abstoßende Kraft vergrößert den Abstand der Magnete. Die Entfernung derselben voneinander wird gemessen. Der Bewegungsspielraum wird durch einen Stopper beschränkt. Dieser dient dazu den Maximalabstand, der durch die abstoßenden Kräfte der Magnete verursacht wird, vorzugeben. Der Minimalabstand, der durch zugeführte Beschleunigung des Magneten erreicht wird, wird durch eine Feder auf der anderen Seite beschränkt. Kraft ist erforderlich, um den beweglichen Teil gegen das Magnetfeld zu bewegen. Die Relativposition der Magnete zueinander spiegelt die erforderliche Kraft wider, die zum Halten der Position gegen die Feder und gegen die Kraft aufgrund des Magnetfeldes erforderlich ist (Gleichgewicht). Folglich ist der Abstand auch ein Indikator für die angewandte Kraft. Dieses System misst eine Entfernung in einer nichtlinearen Übertragungsfunktion und mit hoher Temperaturabhängigkeit. Zusätzlicher Aufwand ist für Linearisierung und Temperatur-Abhängigkeitskompensation erforderlich.

Das Gebrauchsmuster DE 8120655 U zeigt einen Drucksensor. In diesem Beispiel wird der Sensor innerhalb von einem Magnetpaar bewegt. Der Sensor ist auf einer Membran angeordnet, dessen Auslenkungen gemessen werden. Der zweite Magnet kann in der Position verändert werden, um die Überertragungscharakteristik einzustellen. Der Abstand zwischen den Magneten bleibt

unverändert und es erfolgt keine Erfassung einer Magnet-Bewegung.

Der Aufprall-Sensor im Patent JP2218965 zeigt eine Anordnung von einem Hallsensor und Magneten.

Im Aufprall-Erfassungssensor in US5723789 wird ein Magnet in beweglicher Anordnung von einer Spule sensorisch erfasst.

Die deutsche Veröffentlichungsschrift DE3809887 (ein Sensor für mechanische Bewegungserfassung) zeigt eine weitere Sensor-Magnetanordnung. Insbesondere zeigen Fig.4a und Fig.4b einen magnetabhängigen Widerstandssensor, der in der Nähe eines Spalts zwischen zwei Magneten angeordnet ist.

Aufgabe der Erfindung

Die vorgestellte Erfindung soll eine geeignete Alternative zu gängigen Piezo-Sensor basierten Kraftmessern sein.

Eine geschickte Sensor-Magnet-Anordnung wurde gesucht, die zum Messen von Kraft oder Druck geeignet ist und geringe Temperaturabhängigkeit und hohe Linearität aufweist. Diese Anordnung soll geringen bis keinen Kalibrier-, Korrektur- oder Signalkonditionier-Aufwand erfordern, wobei ein erkanntes und nachgewiesenes lineares Abhängigkeitsverhältnis einer Übertragungsfunktion genutzt werden soll. Das Verfahren und die Vorrichtung zur Ausführung dieses Verfahrens soll einschrittig zielgerichtet funktionieren und nicht wie bei bekannten Methoden zwei oder mehr Schritte benötigen, wie im Beispiel einer Veränderung des

Abstandes durch Anwenden einer Kraft gegen eine nicht magnetische Gegenkraft um dann das kraftabhängige Abstands-Mess-Signal eines Magnetfeld-Sensors gegenüber einem Magneten in das Kraftsignal umzurechnen. Während bekannte Sensoren meist in einem ersten Schritt die Bewegung eines Magnetes gegen eine Feder erfassen, wodurch sich die Kraft in einem zweiten Schritt aufgrund des bekannten Verhältnisses aus der Federverformung und dem dadurch verbundenen Abstand zwischen Sensor und Magnet oder zwischen zwei Magneten berechnen lässt, ermöglicht der vorgeschlagene Sensor jenes Magnetfeld zu erfassen, das einen linearen Zusammenhang zur abstoßenden oder alternativ zur anziehenden Gegenkraft aufweist, einer Kraft die zur Feldstärke direkt proportional ist. Ziel ist es ein System zu definieren, bei dem die Kraftänderung direkt die Magnetfeldstärke am Schaltkreis verändert.

Lösung der Aufgabe

Erfindungsgemäß wird die Aufgabenstellung durch ein Verfahren gelöst, das die Aufgabenstellung einer Messung von Kraft oder davon abgeleitete Größen, wie Druck, Drehmoment, Beschleunigung oder Gewicht hat. Dazu sind entsprechend ähnlicher bekannter Anordnungen zumindest zwei Permanentmagnete paarweise angeordnet und zwar so, dass sie in einer Vorzugsrichtung relativ zueinander beweglich sind. Diese Richtung entspricht zumindest einer Vektorkomponente der zwischen den Permanentmagneten wirkenden magnetischen und vom Abstand abhängigen Kraft. Idealerweise ist es im

Wesentlichen die Hauptrichtung der Kraftwirkung oder, entsprechend, die Hauptrichtung der Kraft bedingt durch die abgeleitete Größe. Zwischen jedem Magnetpaar bildet sich dadurch ein Spalt, dessen Größe vom Verhältnis aus Kraft und magnetischer Gegenkraft abhängt.

Erfindungsgemäß wird zumindest einer der Permanentmagneten jedes Permanentmagnetpaares von mit der zu messenden entgegengesetzt wirkenden Kraft oder davon abgeleiteten entgegengesetzt wirkenden Größe den Spalt verändernd in jenen Abstand relativ zum zugeordneten zweiten Magneten des Permanentmagnetpaares übergeführt, für den die Summe der durch die zwischen den Permanentmagnetpaaren wirkenden magnetischen Kräfte und der mechanisch aufgebrachtten Gegenkräfte oder davon abgeleiteten Größen in Richtung der Beweglichkeit gleich null wird. Die von der Messgröße abhängige magnetische Feldstärke wird über zumindest einen Magnetfeldsensor innerhalb jedes durch dieses Verfahren gebildeten und bedingten Spalts als direkt proportionale Größe erfasst und durch den Sensor in das Ausgangs-Signal für die zu messenden Größe als elektrisches Signal in eine geeignete Signalverarbeitungs-, Ausgabe- und/oder Anzeigevorrichtung geleitet.

Zur Durchführung des Verfahrens wird des weiteren erfindungsgemäß eine Vorrichtung vorgestellt, die zumindest ein Permanentmagneten-Paar aufweist, deren Magnete im Abstand gegenüber angeordnet sind und deren magnetische Polflächen zumindest näherungsweise parallel einander gegenüberstehen und in einer

Orientierungslage sind, in welcher die größten Anziehungskräfte zwischen den Permanentmagneten wirken. Dazu ist eine Distanzier-Vorrichtung zur Wahrung eines Minimalabstandes zwischen den Polflächen in zumindest einer Ausführung aus der Gruppe Distanzplatte, Distanzhülse, Hohlführung mit zumindest einer Innennase, eine Distanz-Feder vorzugsweise eine Blatt-, eine Kegel-, eine Teller-, Membran-, Evolut-, oder Schraubfeder angeordnet sowie ein Magnetfeldsensor zwischen den einander gegenüberstehenden magnetischen Polflächen, dessen elektrisches Ausgangssignal von den magnetischen Feldern der Magnete beeinflusst wird.

Andererseits ist vorteilhaft, wenn eine solche Vorrichtung zumindest ein Permanentmagnet-Paar aufweist, deren Magnete im Abstand gegenüber angeordnet sind, und deren magnetische Polflächen zumindest näherungsweise parallel durch Führungs- und Begrenzungseinrichtungen einander gegenüber gehalten werden und in einer Orientierungslage sind, in welcher die größten Abstoßungskräfte zwischen den Permanentmagneten wirken. Auch in dieser Ausführung ist vorgesehen, dass ein Magnetfeldsensor zwischen den einander gegenüberstehenden magnetischen Polflächen angeordnet ist, und dass sich an zumindest einem Permanentmagneten eine Vorrichtung zur Gegenkraft-Aufbringung vorzugsweise in Form eines Hebels oder eines hydraulischen oder pneumatischen Druckraumes befindet.

Bei solchen Vorrichtungen ist es besonders vorteilhaft, wenn der Magnetfeld-Sensor als

Integrierter Schaltkreis ausgeführt ist, vorzugsweise mit zumindest einem Hall-Sensor, oder zumindest einem magnetfeldabhängigem Widerstand vorzugsweise aus Wismut oder einer GMR (Giantmagnetoresistor-)Struktur und vorzugsweise zusammen mit einer Auswerteschaltung gebildet ist.

Dazu ist es von Vorteil, wenn die Magnete und der Integrierte Schaltkreis in einem Gehäuse untergebracht sind, indem die integrierte Schaltung von zumindest einem Permanentmagnetenpaar eingebettet ist, und wenn für die Vorrichtung zur Aufbringung der Gegenkraft zumindest eine Anschlussschnittstelle am Gehäuse vorgesehen ist.

Vorteilhaft können die Magnete als flächige Anbringungen auf mikromechanischen Strukturen (MEMS) ausgebildet sein und dabei oberhalb und unterhalb des Integrierten Schaltkreises angeordnet sein. Dazu sind die magnetischen Polflächen größer als die Magnetfeldsensoren und sollten eine maximale Ausdehnung von 5mm, vorzugsweise von maximal 1mm aufweisen. Idealerweise liegt die Ausdehnung der Polflächen in einem Bereich von 10µm bis 100µm.

Günstig ist es, wenn die Vorrichtung zumindest zwei Polpaare von zumindest drei Permanent-Magneten aufweist, die in entgegengesetzter Wirkrichtung die magnetischen Kräfte ausüben, zum Beispiel ein Magnet zentral zieht zwei äußere Magnete an.

In manchen Anwendungen ist es vorteilhaft wenn eine solche erfindungsgemäße Vorrichtung ein Bestandteil einer zwei oder dreidimensionalen Sensormatrix ist.

Die Erfindung wird anhand nachfolgender Ausführungsbeispiele erläutert. Es zeigen:

Fig.1 zeigt die grundsätzliche Anordnung **100** von zwei Permanentmagneten **101,102** und einem Magnetfeld-Sensor **103**. Dabei wirkt Abstoßung aufgrund der Magnetorientierung gegen eine über die Außenseite der beiden Magnete aufgebrachte Zusammenpress-Kraft **107**, wodurch der eine Magnet in Richtung **106** in eine ausbalancierte Position **104** in Bezug auf die Oberfläche des Sensors gebracht wird. Der Minimalabstand ist als Differenz des Maximalabstandes **104** von der Frontseite des beweglichen Magnetes zur Oberseite des Sensors abzüglich dem maximalem erlaubten Bereich **105** für den Stellweg definiert.

Fig.2 zeigt die nichtlineare Kennlinie der magnetischen Kraftabhängigkeit F_m (Abnahme) vom Abstand x innerhalb des Bereiches x_{min} bis x_{max} zwischen den Polflächen mit der gleichen Polarität in einer Anordnung wie sie **Fig.1** zeigt. **Fig.2a** zeigt das Ergebnis der Messung eines ersten Prototyps mit bestimmten Dimensionen. Dieser diente dem Nachweis der Wirkungsweise, wobei zwei AlNiCo-Zylindermagnete mit einer Höhe von 1mm und

einem Durchmesser von 3 mm verwendet worden sind. Die verursachte Kraftabstoßung wurde mechanisch gemessen und das damit verbundene Magnetfeld wurde durch integrierte Hallsensoren erfasst. Der Sensor wurde ca. 1 mm oberhalb des einen Magneten fixiert. Der zweite beweglich gelagerte Magnet wurde dem gegenüber im Abstand von 0.5 bis 4.5 mm zum Sensor bewegt. Dabei war der Minimalabstand der effektiven Sensorfläche in einem Gehäuse zur Außenfläche des Gehäuses war dabei 0.5 mm.

Fig.3 und **Fig.3a** zeigen die Kennlinien der Magnetfeldsensors-Ausgangssignale, die linear abnehmenden Abhängigkeiten vom Kraftgleichgewicht innerhalb der Messgrenzen F_{min} und F_{max} zeigen. Dabei sind die externen Zusammenpress-Kräfte und die magnetischen Abstoßkräfte im Gleichgewicht wie in **Fig.1** gezeigt. **Fig.3a** spiegelt die Daten für die Prototypenanordnung wider, wie sie in der Beschreibung zu **Fig.2a** vorgestellt ist.

Fig.4 zeigt das nichtlineare Signal **out** des Sensors als Funktion der ausbalancierten Abstands-Position x der Magnete bei Kräftegleichgewicht entsprechend der Anordnung wie in **Fig.1** innerhalb des Messbereiches von x_{min} bis x_{max} . **Fig.4a** zeigt wieder die gemessenen Ergebnisse mit der oben beschriebenen Prototyp-Anordnung.

Fig.5 zeigt die zweite grundsätzliche Anordnung **200** zweier Permanent-Magnete **201,202** mit einem Magnetfeldsensor **203**. Dabei wirkt Anziehung aufgrund der Magnet-Orientierung gegen zumindest an der Außenseite mindestens eines Magneten wirkende Zugkraft **207**, wodurch der Magnet in Richtung **206** in eine ausbalancierte Position **204** bezogen auf die Sensor-Oberfläche gebracht wird. Der maximale Abstand **205** ist festgelegt, wobei hier das Sensorsignal einen Minimalwert des Systems ergibt.

Fig.6 zeigt die nichtlineare Kennlinie der magnetischen Kraftabhängigkeit F_m in abnehmender Abhängigkeit vom Abstand x zwischen den magnetischen unterschiedlich orientierten Pol-Gebieten entsprechend zu **Fig.5**.

Fig.7 zeigt die linear ansteigende Kennlinie als Ausgangssignal des Magnetfeldsensors in Abhängigkeit vom Kräfte-Gleichgewicht innerhalb der Grenzen F_{min} und F_{max} , wobei die außen angreifenden Sog- oder Zugkräfte und die magnetische anziehende Kraft F_m sich im Gleichgewicht.

Fig.8 veranschaulicht das sich ergebende nichtlineare Signal **out** des Sensors als Funktion der balancierten Position x der Magnete bei Kräftegleichgewicht innerhalb des Messbereiches von x_{min} bis x_{max} .

Die Abbildungen **Fig. 6a**, **7a** und **8a** zeigen die korrespondierenden Prototyp Mess-Ergebnisse die beim Prototyp mit Zylindermagneten aus AlNiCo mit den Abmessungen: 3 mm Durchmesser und 1mm Höhe und mit einer Integrierten Hallsensor-Schaltung entsprechend der Anordnung von **Fig. 5** erhalten wurden. Dabei stimmen die Kennlinien prinzipiell mit den Annahmen bzw. Simulationsdaten entsprechend den Abbildungen in **Fig. 6**, **7** und **8** überein. Die Erfindung ist jedoch nicht auf dieses Ausführungsbeispiel beschränkt.

Die **Fig. 9**, **9a** zeigen eine jeweils eine grobe Skizze eines integrierten Kraft-Sensors und zwar in zwei verschiedenen Positionen der Magnete in einander abstoßender Anordnung.

Fig. 10, **10a** zeigen eine grobe Skizze von einem integrierten Kraft-Sensor und zwar in zwei verschiedenen Positionen der Magnete in einander anziehender Anordnung.

Vergleicht man die zwei unterschiedlichen Anordnungen gezeigt in **Fig. 1** und **Fig. 5** erhält man unterschiedliche Aspekte.

Die Magnete können jeweils verschiedene Grundform haben, vorzugsweise sind sie kubisch, zylindrisch (scheibenförmig) oder kubisch oder quaderförmig. Material, Dimensionierung und Formgebung richten sich nach dem zu messenden Messbereich (für die Kraft oder den Druck oder dazu abgeleiteten Größen, der

Messumgebung und nach der gewünschten Gehäuseform (auch Design). Die bevorzugte Form für die Magnete ist zylindrisch. Symmetrie in der Magnetformgebung ist nicht notwendig.

Günstig in einer Anwendung mit anziehenden Magnetkraftwirkung (vgl. **Fig.5**) erweist sich das Selbstausrichtungs-Verhalten.

In der Umgebung eines magnetischen Mess-Systems kann magnetisches und metallisches Material, insbesondere magnetisierbares Material einen Fehler verursachen. Da der Sensor jedoch zwischen sehr nahe angeordneten Magneten eingebettet ist, wirken sich magnetische oder metallische Objekte in der vergleichsweise größeren Entfernung vernachlässigbar aus, sofern der kleinste Signalausgang innerhalb des Mess-Weg-Bereiches noch immer groß ist im Vergleich zu jenem Signal, das durch die Störgrößen erzeugt werden könnte. Auch Feldverzerrungen sollten geringer sein damit der Fehler kleiner wird als der maximal zulässige Fehler.

Da die Magnete **101**, **102** in **Fig.1** in einander abstoßender Orientierung zueinander angeordnet sind, verursacht das magnetische Feld Kräfte und ein Drehmoment auf den frei beweglichen Magneten **101** wenn der andere Magnet **102** gegenüber der Umgebung als fixiert betrachtet wird. Diese Kräfte oder dieses Drehmoment könnte den Magneten **101** in eine für den anderen Magneten anziehende Position bringen oder zumindest in eine Position außerhalb der Symmetrieachse. Eine mechanische Führung soll solch ein

Verhalten unterbinden. Die Anordnung in **Fig.1** sollte folglich in ein Gehäuse eingebracht werden, wodurch sich neue Kräfte aufgrund der Reibung ergeben können. Durch geeignete Oberflächen-Paarung kann Reibung vermieden oder stark verringert werden. Luft oder Gas innerhalb des Spaltes benötigt Ab- bzw. Zuströmwege, um nicht zusammengedrückt oder gedehnt zu werden, wenn die Messzyklen in rascher Abfolge stattfinden. Die Anordnung gemäß **Fig.1** ist geeignet für Kräfte oder davon hergeleitete Größen, die gegen die Oberfläche drücken, wie Gasdruck in einer Kolbenpumpe, oder für eine Waage unter Verwendung von Gravitation $G=m \cdot g$ wobei m eine kleine Masse bestimmter Größe ist und g die Gravitationskonstante ist.

Eine weitere Anwendung könnte eine berührungsempfindliche Fläche sein, wie in einem taktilen Sensor eines Roboter-Fingers. Zu beachten: Höhere Kräfte in der **Fig.1** bewirken kleinere Ausgangssignale am Sensor als niedrigere Kräfte: $out = K_{10} - K_{11} \cdot x$, wobei K_{10} und K_{11} material- und formabhängige Konstanten sind.

Die Anordnung von **Fig.5** hat den Vorteil der Selbstausrichtung, Selbstzentrierung. Dabei neigen die Magnete dazu in die Position der geringsten potentiellen Energie zu gelangen. In diesem Fall müssen die Magnete voneinander gezogen werden, entgegen der Anziehungskraft der Magnete. Prinzipiell könnte einer der Magnete **201,202** auch durch ein anziehbares Material wie Eisen, Kupfer oder anderes ferromagnetisches Material ersetzt sein.

Die Magnetanordnung mit anziehender Kraftwirkung zwischen den Magneten eignet sich für Unterdrucksensoren, Vakuum-Sensoren oder Fluid-Strömungsmesser. Wird ein Halter an den beweglichen Magneten befestigt, ermöglicht ein Hebel, oder ein Rad, die zu messenden Kräfte auch in eine andere auch gegensätzliche Richtung umzuleiten. Unterschiedlich lange Hebelarme, von der Drehachse des Hebels gemessen, könnten auch das Weg-Kraftverhältnis hin zu anderer Übersetzung ändern.

Zu beachten: Höhere Kraft verursacht in der Konfiguration von **Fig.5** ein größeres Ausgangssignal als kleinere Kraft: $out = K_{20} + K_{21} \cdot x$, wobei K_{20} und K_{21} Konstanten in Abhängigkeit von Material und Form sind.

Ein großer Vorteil der Konfiguration in **Fig.5** verglichen mit der von **Fig.1** ist, dass in **Fig.5** Führungsvorrichtungen nicht erforderlich sind, um ein Driften der Magnete von ihrer optimalen Position aufgrund von Lateralkräften zu verhindern. Dafür ist der Nachteil die Instabilität des Gleichgewichtes.

Sind die anziehenden Magnete einander zu nahe und die Messkraft zu gering um eine vollständige Kompensation zu erreichen, dann wird der bewegliche Magnet unweigerlich zur nahest möglichen Position angezogen. Wenn jedoch der Abstand zu groß ist um die Gegenwirkung durch die Magnetkräfte zu erzielen, dann könnte der Magnet durch die externe Kraft sofort in die maximale Entfernungsposition gezogen werden, weit weg von der Gleichgewichtsposition der Kräfte.

Um diesen Nachteil zu umgehen wurde eine trickreiche Methode gefunden, wobei Federn eingesetzt werden, die das Wegdriften des Magneten vom Anziehungsbereich oder auch das Driften zum korrespondierenden Magneten verhindern.

Eine Feder wird mithilfe der magnetischen Anziehungskraft entweder zusammengedrückt oder auseinander gedehnt. Dabei entsteht ein Gleichgewicht Federkraft-Magnetkraft, wobei die Federkraft gleich groß ist wie die Anziehungskraft, jedoch in gegensätzlicher Wirkrichtung. Dann wird die zu messende Kraft hinzugefügt, wobei diese gegen die Federkraft zusätzlich wirkt:

$F + F_m = F_{\text{Spring}}$. Die Federkraft F_{Spring} stellt eine Linearfunktion zur Wegänderung dar. Das Ergebnis für die Kraft $F = F_{\text{Spring_compressed}} - F_m = k_{\text{Spring_compressed}} \cdot (l_1 - d) - F_m$ oder $F = F_{\text{Spring_expanded}} - F_m = k_{\text{Spring_expanded}} \cdot d - F_m$, wobei $F_{\text{Spring_compressed}}$ die Federkraft im komprimierten Zustand ist, F_m die magnetische Kraft an dieser Stelle ist und F die gesuchte Kraftkomponente darstellt.

Die Anordnungen in **Fig.9**, 9a, 10 und 10a zeigen zwei Magnete **1**, **2** mit der Polorientierung N (Norden), S (Süden). Der Sensor (hier ein integrierter Hallsensor) **3** befindet sich in der Mitte einer Integrierten Schaltung **9**, die vorzugsweise durch einen Silizium Halbleiter-Prozess hergestellt wird. Der Magnet **1** ist hier durch eine Fixierplatte **11** mit Ausnehmung für den Magneten positioniert. Dabei muss der Magnet genau unter dem Sensor **3** angeordnet werden. Eine Versiegelung **16** kann als Schutz für die Schaltung **9** mit dem

Sensorelement vorgesehen sein. Diese Versiegelung kann ein Epoxidharz beispielsweise SU-8 sein und könnte sogar die Bonddrähte **12** bedecken. Die Versiegelung verursacht einen Minimal-Abstand zum Sensor. Der Minimalabstand zwischen den Magneten **1, 2** wird weiter vergrößert durch ein Distanzierteil **19**, welcher ein Schwamm oder ein flexibles Dämpfungsmaterial sein kann. Das Gehäuse **10** der integrierten Schaltung **9** und das mikromechanische System bestehend aus den Magneten und einer Membran **6** zusammen mit dem Membranhalter **20** bilden zwei Kammern **7** and **8**. Diese können direkt mit einer Gasumgebung von unterschiedlichem Gasdruck in Verbindung stehen.

Um Gasdruckdifferenzen aufzubringen können zwei Verbindungsrohre **4** and **17** angedockt sein. Gas könnte durch Rohr **4** oder den Pfad **18** geführt werden. Die elektrischen Signale für die Versorgung des Sensors und zur Herausführung der Sensorsignale werden über Bonddrähte **12** mit den Anschluss-Beinen **13** am Gehäuse verbunden. Abhängig von der Orientierung der Magnete zueinander, ergibt sich entweder anziehende oder abstoßende Magnetkraft **14**. Im Gleichgewicht ist die Magnetkraft **14** gleich groß wie die aufgebrachte mechanische Kraft **15**. Durch das Verwenden beispielsweise eines Kolbens **5**, kann Kraft auf einen beweglichen Magneten übertragen werden. Auch kann ein Hebel dazu genutzt werden um die Kraftrichtung umzudrehen.

Die Anordnungen in **Fig.9** und **Fig.9a** befinden sich in einem stabilen Gleichgewicht. Das ist daran

ersichtlich, dass die Kraftvektoren bei unterschiedlichen Abständen der Magneten in gleicher Änderung mitgehen. Größerer Abstand bewirkt kleinere Abstoßkräfte, kleinerer Abstand bewirkt größere Abstoßkräfte. Das Rohr **4** ermöglicht eine Führung zusammen mit dem Kolben darin, sodass laterale Kräfte auf den abgestossenen Magneten verhindert werden.

Die Anordnungen in Form der **Fig.10** und **Fig.10a** sind gleichgewichts-instabil. Zum Verbessern der Stabilität muss eine Feder eingebaut werden. Dann muss die externe Kraft zusätzlich gegen die Federkraft wirken. Die externe Kraft wird unterstützt durch die magnetische Kraft. Das so bestimmte Messsignal am Sensor dient dann der Messwertbestimmung.

Eine mögliche Ausführung der Feder könnte eine Membrane sein, wobei der Kolben **5** gegen die zunehmende Kraft wirken muss. Beim Kraftmaximum reduziert die Anziehungskraft der Magneten den linearen Federkraftanstieg bei der Membran. Das Ausgangssignal des Sensors muss um den Membrananteil korrigiert werden. Die Übertragungsfunktion der Membranauslenkung gegenüber der Kraft kann entweder genau bekanntes Verhalten besitzen oder einmal messtechnisch erfasst werden und zur Kalibrierung in der integrierten Schaltung gespeichert werden. Anstelle einer Membrane können andere Federn auch als Stabilisierelemente eingesetzt werden. Indem Federn mit definierten Kräften in Designs entsprechend **Fig.10**, **10a** hinzugefügt werden, kann dieses Beispiel noch stabilisiert werden. In diesem Fall sind die Kräfte unterschiedlich in der

Größe wie bei den skizzierten Pfeilen (Vektoren) angedeutet.

Zur Anmerkung: Der Kolben und der Hebel müssen nicht verwendet werden, wenn Gasdruck anstelle mechanischer Kräfte zum Einsatz kommt. Die hier gezeigten Beispiele sollen nicht die Anzahl möglicher Anwendungen im Bezug auf die Erfindung einschränken.

Jegliche Temperatur-Änderung würde das Gleichgewicht insofern beeinflussen, dass sich ein anderer Abstand x ergibt. Die dazugehörige magnetische Feldstärke aufgrund dieses veränderten Abstandes ändert sich ebenfalls aber in entgegengesetzter Weise. Höhere Temperatur verursacht niedrigere Feldstärke. Zu einer gegebenen Kraft zum Zusammendrücken der einander abstoßenden Magnete, ergibt sich ein kleinerer Abstand, aber der Sensor zeigt den gleichen Wert auch bei zunehmender Temperatur. Im anderen Beispiel wirkt gegen die mechanische Kraft zum Auseinanderziehen der Magnete die magnetische Anziehungskraft; der Abstand muss verringert werden um die gleiche Amplitude zu erreichen, die dann infolge das gleiche Ausgangssignal wie bei der tieferen Temperatur generiert, sofern das Temperaturverhalten des Sensors unberücksichtigt bleibt.

Für das Gehäuse können Plastik oder Keramik-Materialien verwendet werden. AlNiCo Permanentmagnete können auf einer Silizium-Membrane angebracht sein. Zur Miniaturisierung kann ein integrierter anwendungsspezifischer Mikro-System-Schaltkreis bestehend aus Magneten, einer Silizium-Membran und

einem integrierten Schaltkreis mit integrierten Hallsensoren gebildet werden. So eine Konstruktion ermöglicht die ressourcenschonende Massenproduktion kostengünstiger Sensoren in großen Mengen bei geringstem Einsatz von unterschiedlichem Materialien und Materialmengen.

Typische Anwendungen für den Sensor sind: Wasserstandsfühler in Waschmaschinen, Geschirrspülern oder anderen Geräten, Messeinrichtungen in der Produktion zur Erfassung von Kraft oder Druck und Sensoranwendungen in Automobilen. Verglichen mit Sensoren, die einen Magneten, eine Feder und einen Sensor verwenden ist das vorgestellte System wesentlich robuster und erreicht Linearitätsfehler kleiner als 1%.

Der maximale Abstandsbereich sollte bis 5mm oder sogar mehr betragen. Der maximale Druck oder Kraftbereich und der maximale Messweg hängt von der Magnetisierung, dem verwendeten Material und der Größe und Anzahl der Permanentmagneten sowie von der verwendeten Feder für die Nullposition ab.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung von Kraft oder davon abgeleitete Größen, wie Druck, Drehmoment, Beschleunigung oder Gewicht, wobei zumindest zwei Permanentmagnete, welche in Richtung einer Vektorkomponente, insbesondere im Wesentlichen in der Hauptrichtung der zwischen Ihnen wirkenden magnetischen und vom Abstand abhängigen Kraft oder in Richtung einer Vektorkomponente, insbesondere im Wesentlichen in der Hauptrichtung der davon abhängigen Größe relativ zueinander beweglich angeordnet sind und wobei sich dabei mindestens zwei magnetische Pole einen Spalt bildend im Abstand gegenüberstehen, **dadurch gekennzeichnet, dass,**
 - i) zumindest einer der Permanentmagneten jedes solcherart angeordneter Permanentmagnetpaares von mit der zu messenden entgegengesetzt wirkenden Kraft oder von einer zu messenden davon abgeleiteten entgegengesetzt wirkenden Größe den Spalt verändernd in jenen Abstand relativ zum zugeordneten zweiten Magneten des Permanentmagnetpaares übergeführt wird, für den die Summe der durch die zwischen den Permanentmagnetpaaren wirkenden magnetischen Kräfte und der mechanisch aufgebrauchten Gegenkräfte oder davon abgeleiteten Größen in Richtung der Beweglichkeit gleich null wird, und
 - ii) dass die von der Messgröße abhängige

magnetische Feldstärke aufgrund des Abstandes zwischen den Magneten jedes Permanentmagnetpaares im Gleichgewicht über zumindest einen Magnetfeldsensor innerhalb jedes durch dieses Verfahren gebildeten Spalts als direkt proportionale elektrische Größe erfasst wird, und **iii)** dass das Ausgangs-Signal jedes für die Bestimmung der zur messenden Größe erforderlichen Magnetfeldsensors in eine für das Ausgangs-Signal geeignete Signalverarbeitungs-, Ausgabe- und/oder Anzeigevorrichtung geleitet wird.

2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**, sie
 - i)** zumindest ein Permanentmagnet-Paar aufweist, deren Magnete im Abstand gegenüber angeordnet sind und deren magnetische Polflächen zumindest näherungsweise parallel einander gegenüberstehen und in einer Orientierungslage sind, in welcher die größten Anziehungskräfte zwischen den Permanentmagneten wirken, und
 - ii)** eine Distanzier-Vorrichtung zur Wahrung eines Minimalabstandes zwischen den Polflächen in zumindest einer Ausführung aus der Gruppe Distanzplatte, Distanzhülse, Hohlführung mit zumindest einer Innennase, eine Distanz-Feder vorzugsweise eine Blatt-, eine Kegel-, eine Teller-, Membran-, Evolut-, oder Schraubfeder aufweist, und
 - iii)** einen Magnetfeldsensor zwischen den einander gegenüberstehenden magnetischen Polflächen aufweist

iv) an zumindest einem Permanentmagneten eine Vorrichtung zur Gegenkraft-Aufbringung vorzugsweise in Form eines Hebels oder eines hydraulischen oder pneumatischen Druckraumes vorgesehen ist.

3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**, sie
 - i) zumindest ein Permanentmagnet-Paar aufweist, deren Magnete im Abstand gegenüber angeordnet sind und deren magnetische Polflächen zumindest näherungsweise parallel durch Führungs- und Begrenzungseinrichtungen einander gegenüber gehalten werden und in einer Orientierungslage sind, in welcher die größten Abstoßungskräfte zwischen den Permanentmagneten wirken, und
 - ii) einen Magnetfeldsensor zwischen den einander gegenüberstehenden magnetischen Polflächen aufweist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Magnetfeld-Sensor in integrierter Bauform als Integrierter Schaltkreis ausgeführt ist, vorzugsweise mit zumindest einem Hall-Sensor, oder zumindest einem magnetfeldabhängigem Widerstand vorzugsweise aus Wismut oder einer GMR (Giantmagnetoresistor-)Struktur und vorzugsweise zusammen mit einer Auswerteschaltung gebildet ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnete und der

Integrierte Schaltkreis in einem Gehäuse untergebracht sind, indem die integrierte Schaltung von zumindest einem Permanentmagnetpaar eingebettet wird und wobei für die Vorrichtung zur Aufbringung der Gegenkraft zumindest eine Anschlusschnittstelle am Gehäuse vorgesehen ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Magnete als flächige Anbringungen auf mikromechanischen Strukturen (MEMS) vorzugsweise Membranen ausgebildet sind und oberhalb und unterhalb des Integrierten Schaltkreises angeordnet sind und dass die magnetischen Polflächen größer als die Magnetfeldsensoren sind, jedoch eine maximale Ausdehnung von 5mm, vorzugsweise von 1mm, vorzugsweise im Bereich von 10µm bis 100µm sind.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung zumindest zwei von einem Spalt getrennte jeweils einander gegenüberliegende Polpaare von zumindest drei Permanent-Magneten aufweist, die in entgegengesetzter Wirkrichtung magnetische Kräfte ausüben vorzugsweise zur Kompensation von Gleichfeldunterdrückung oder zur Kompensation von Fehlern aufgrund von Gravitationskräften.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie ein Bestandteil einer zwei oder dreidimensionalen Sensormatrix ist.

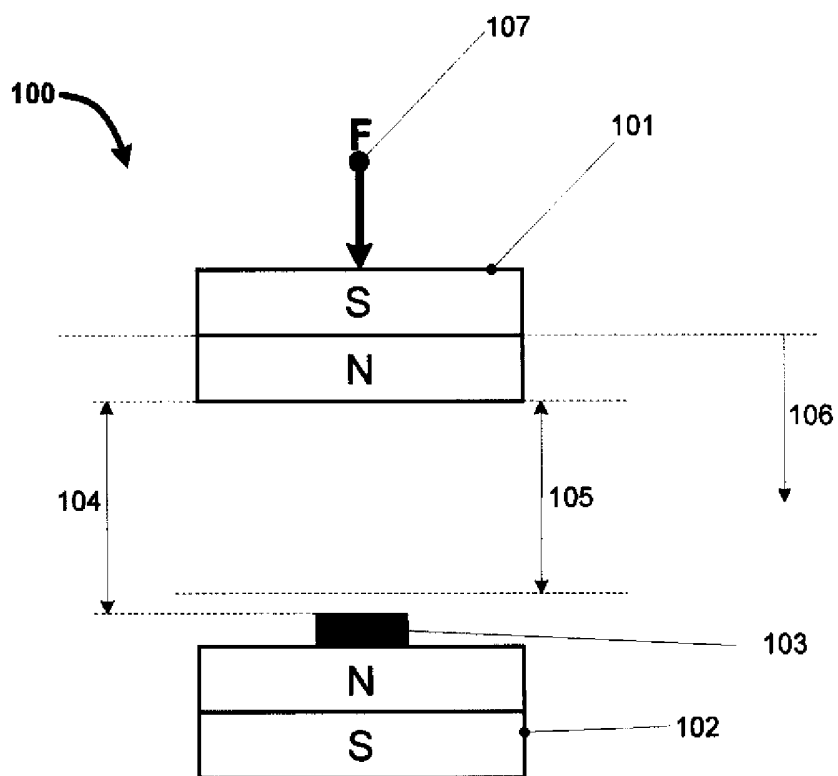


Fig. 1

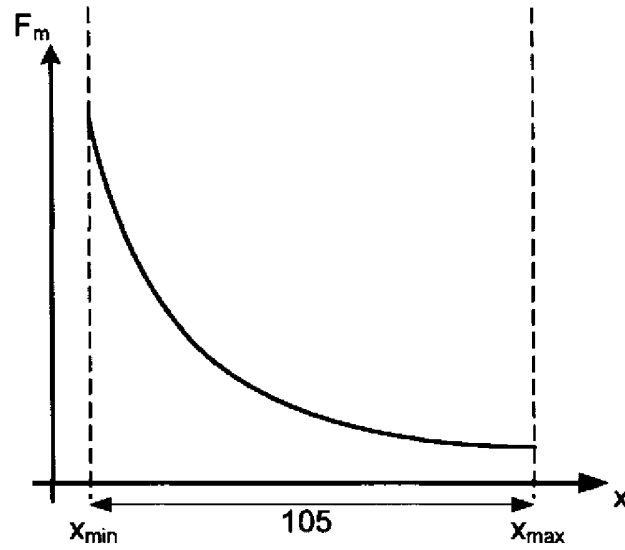


Fig. 2

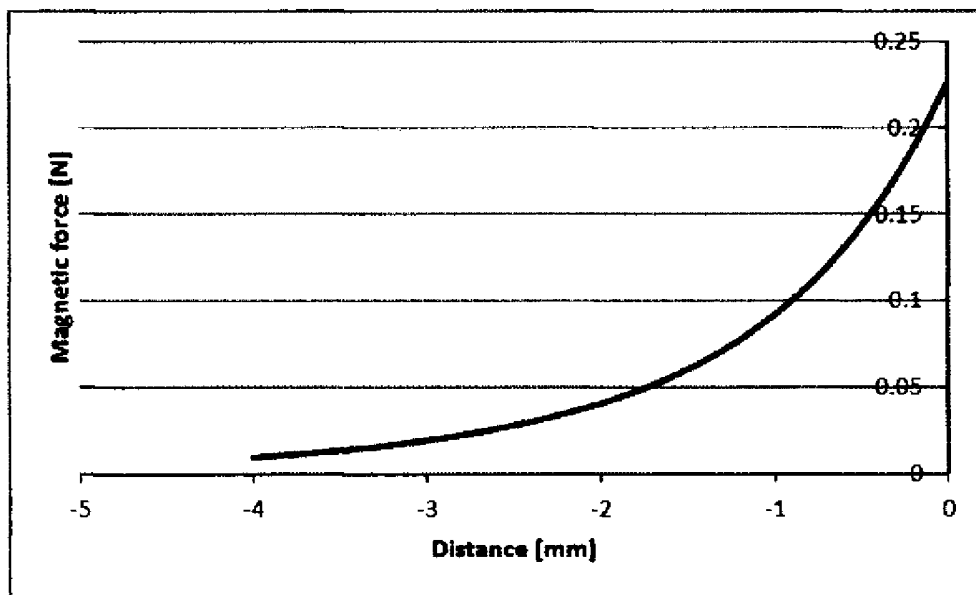


Fig. 2a

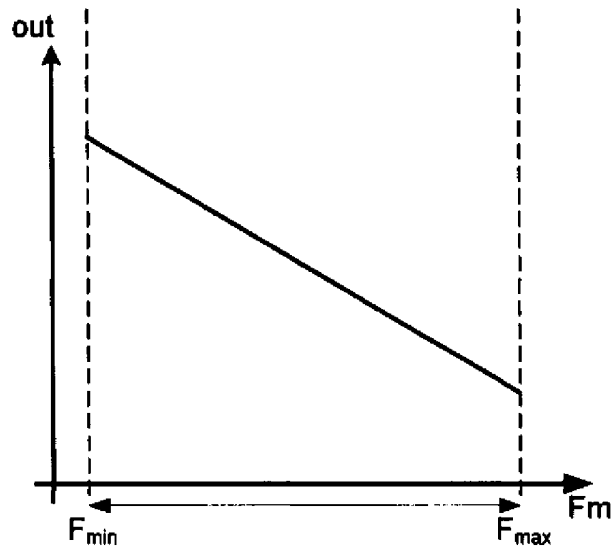


Fig. 3

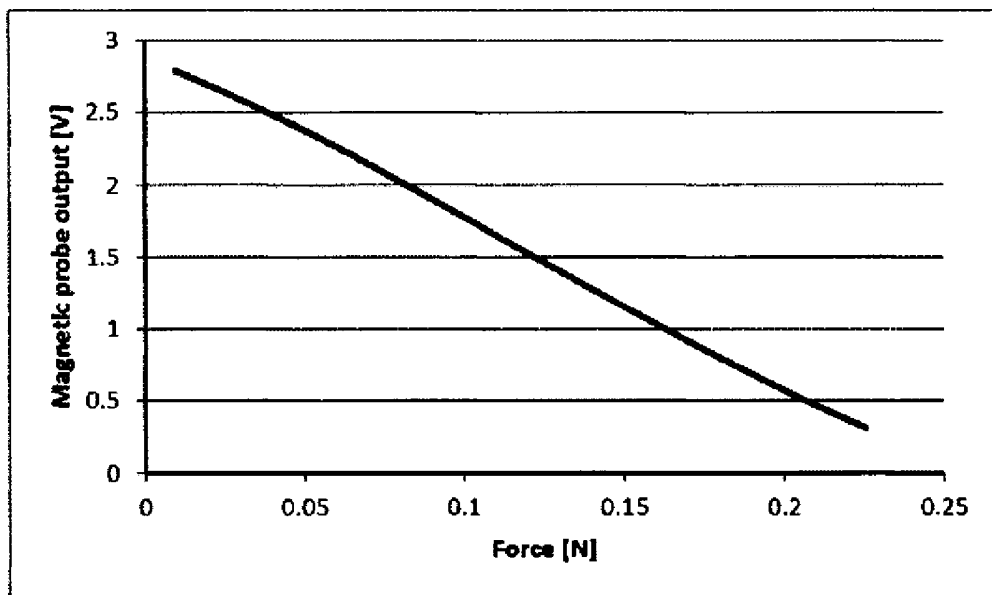


Fig. 3a

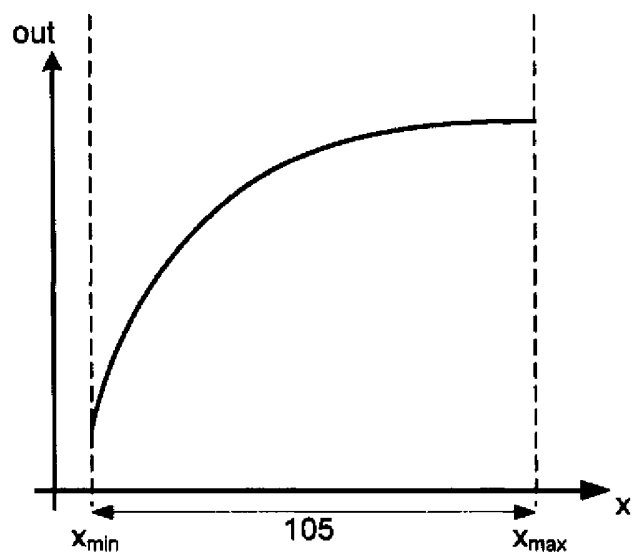


Fig. 4

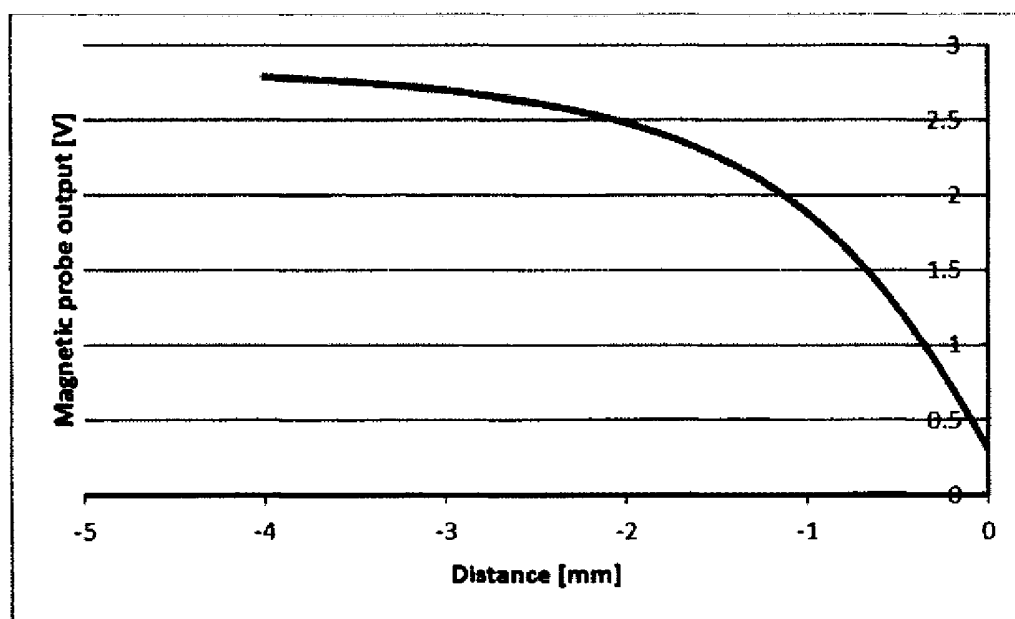


Fig. 4a

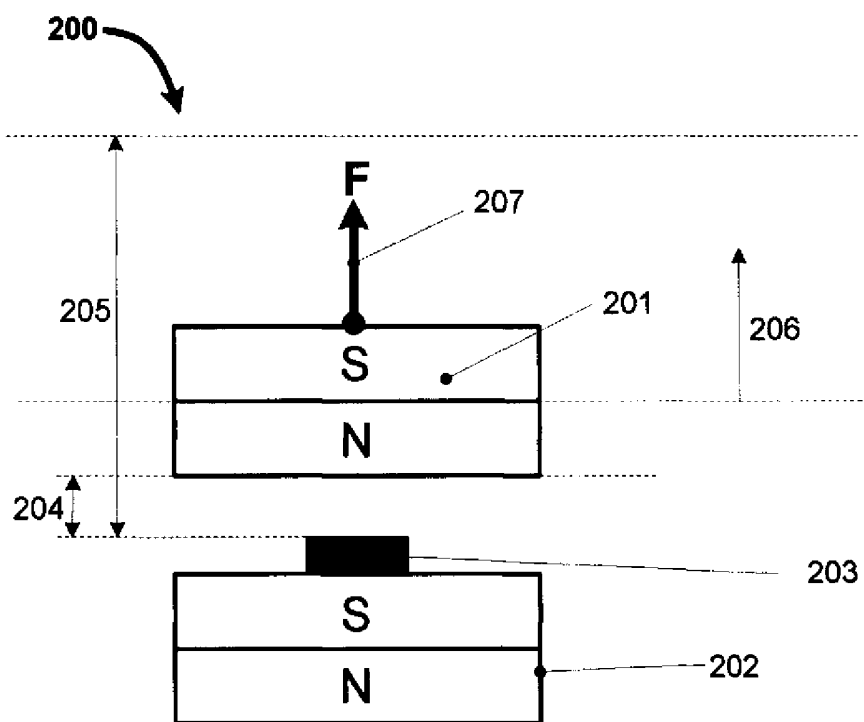


Fig. 5

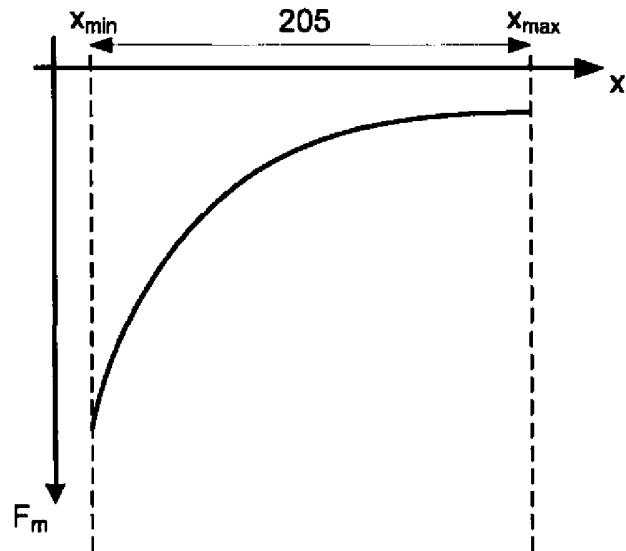


Fig. 6

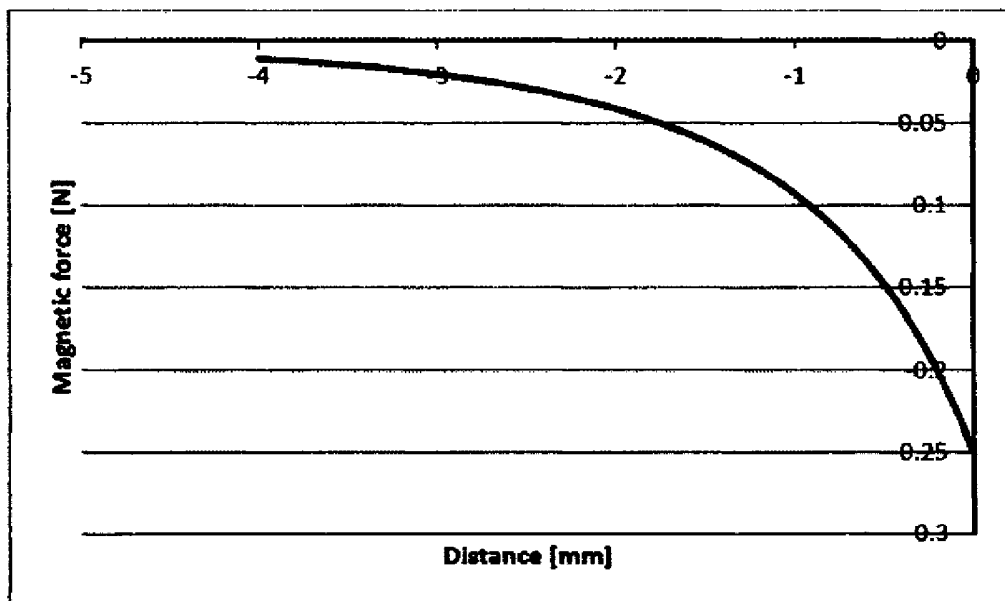


Fig. 6a

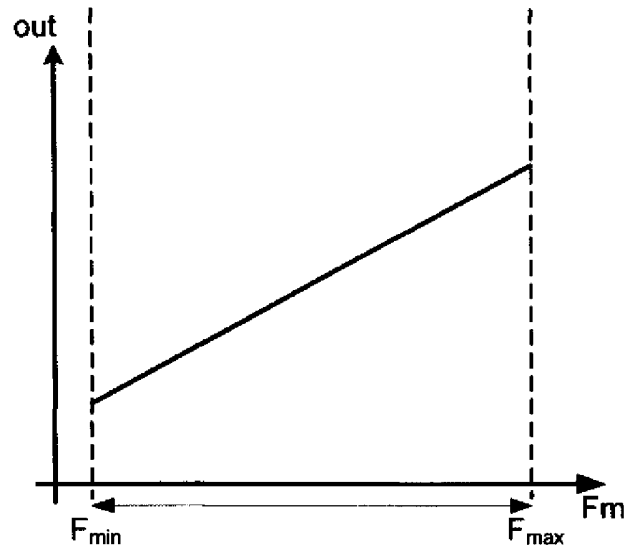


Fig. 7

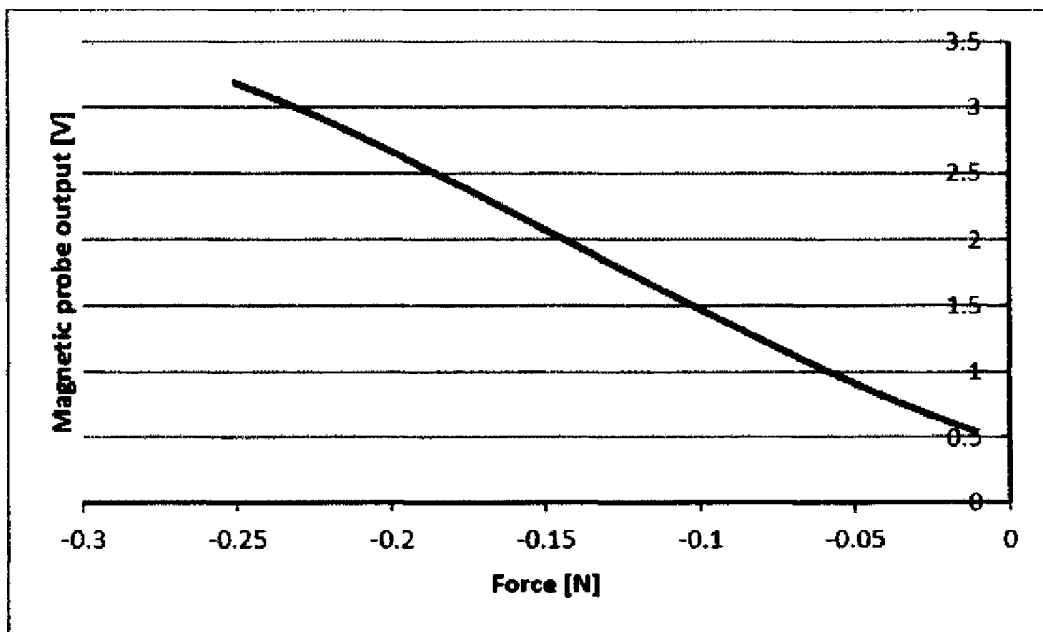


Fig. 7a

Seite 8 von 10

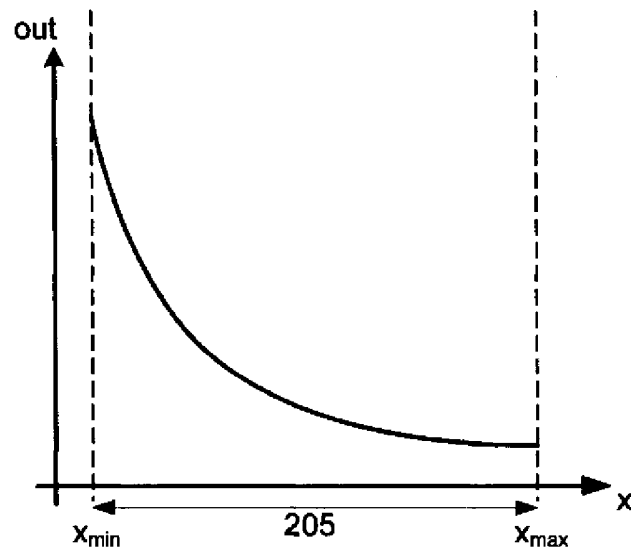


Fig. 8

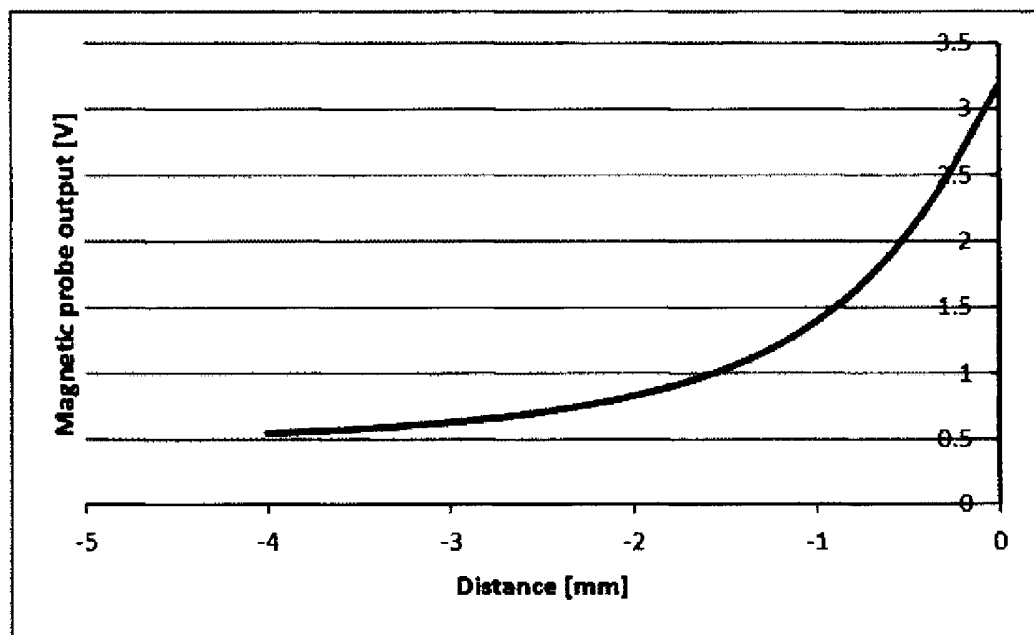


Fig. 8a

