



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 52 862 B3** 2004.07.15

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 52 862.4**
(22) Anmeldetag: **12.11.2002**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **15.07.2004**

(51) Int Cl.7: **G01L 1/00**
G01L 5/16

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147 Köln, DE**

(72) Erfinder:
Gruber, Robin, Dipl.-Ing., 81371 München, DE

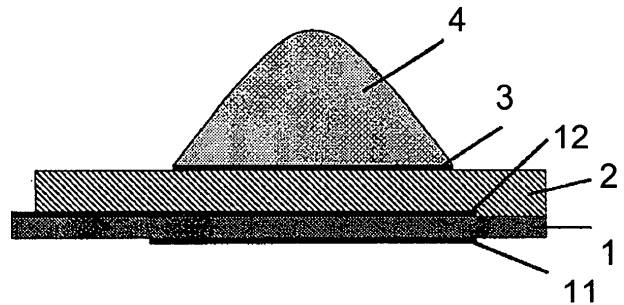
(74) Vertreter:
**von Kirschbaum, A., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 82110
Germering**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 44 20 691 C1
DE 195 39 482 A1

(54) Bezeichnung: **Einrichtung zum Messen einer Kraft**

(57) Zusammenfassung: Zum Messen eines Freiheitsgrades einer Kraft ist eine Sensorfolie aus dünnen Materiallagen (1 bis 3) vorgesehen, von denen nur eine dünne Materiallage (1) biegsam ist und die anderen Materiallagen biegsam und elastisch sind. Ferner weist mindestens ein Sensorelement oder jedes Sensorelement einer Anordnung von Sensorelementen zwei Spulen, nämlich eine Sendespule (11) und eine Empfangsspule (12), mit jeweils mindestens einer Windung auf, wobei eine der beiden Spulen (11, 12) auf der Oberseite und die andere auf der Unterseite der dünnen biegsamen Materiallage (1) aufgebracht ist.

Zum Messen von zwei Freiheitsgraden der Kraft ist die auf der Unterseite oder Oberseite der dünnen biegsamen Lage (1) aufgebrachte Empfangsspule (11) eines Sensorelements oder jedes Sensorelements einer Anordnung von Sensorelementen elektrisch in zwei Spulenhälften aufgeteilt, während zum Messen von drei Freiheitsgraden der Kraft jede der auf der Unterseite bzw. Oberseite der dünnen biegsamen Lage (1) aufgebrachten Spulen (11, 12) eines Sensorelements oder jedes Sensorelements einer Anordnung von Sensorelementen elektrisch in zwei Spulenhälften aufgeteilt ist.



Beschreibung

Aufgabenstellung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Messen einer Kraft mittels eines mehrlagigen taktilen Aufbaus.

Stand der Technik

[0002] Ein Prototyp eines mehrlagigen taktilen Sensors weist eine dünne PVDF(Polyvinyliden-Fluorid)-Folie auf, auf der eine dünne Gummischicht mit einer Noppenstruktur vorgesehen ist. Die beiden sensitiven Schichten sind durch eine weiche Schaumschicht voneinander getrennt, die ein Verbiegen der Noppen in eine lokale Dehnung der PVDF-Folie transformiert. Bei diesem Prototyp handelt es sich um einen kapazitiven Multikontaktsensor mit einem Freiheitsgrad (DOF) (Siehe J.Walter und H.Ritter, The Neuroinformatics Robot Laboratory, Technical Report SFB 360-TR-96-4, 5.25 bis 31, 26. September 1996).

[0003] In DE 44 20 691 C1 sind zur Verbesserung der Genauigkeit eines Wägesignals eine Kraftmesszelle mit einem elastisch verformbaren Kraftaufnehmer zur Aufnahme der Gewichtskraft und eine induktive Sensoranordnung zum Erfassen der Kraftaufnehmer-Verformung sowie deren Umwandlung in ein elektrisches Wägesignal vorgeschlagen. Hierbei weist die Sensoranordnung mindestens ein induktives Sensorelement auf, welches benachbart zum Kraffteinleitungsteil des Kraftaufnehmers gegenüber einem signalgebenden Teil so angeordnet ist, dass sich bei Belastung des Kraffteinleitungsteils mit einer Kraft eine von dieser Kraft abhängige Änderung des Abstands zwischen dem Sensorelement und dem signalgebenden Teil aufgrund der elastischen Verformung des Kraftaufnehmers ergibt. Hierbei wird von der Sensoranordnung eine Änderung der effektiven Permeabilität des Sensorelements und eine dadurch bewirkte Änderung der Impedanz in einer Sensorelement-Spule zur Erfassung der Kraftaufnehmer-Verformung genutzt.

[0004] In DE 195 23 482 A1 weist eine im Stauraum eines Fahrzeugs untergebrachte Vorrichtung einen ersten und einen zweiten elektrischen Leiter auf, wobei der zweite Leiter neben und im wesentlichen parallel zu dem ersten Leiter so angeordnet ist, dass bei dem zweiten Leiter im wesentlichen ein Durchbiegen verhindert ist. Ferner ist zwischen Abschnitten der beiden Leiter ein im wesentlichen nicht leitfähiges Material vorgesehen, durch welches die beiden Leiter in einem bestimmten Abstand voneinander gehalten sind und der erste elektrische Leiter auf den zweiten elektrischen Leiter zu entsprechend dem Gewicht eines im Stauraum festgestellten störenden Gegenstandes flexibel ist. Hierbei ist der erste Leiter auf einer ersten flexiblen Folie und der zweite Leiter auf einer zweiten Folie angebracht. Die Folien, die Leiter und die im wesentlichen nicht leitfähige Schicht bilden hierbei einen Sensor.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es, eine kaskadierbare Messeinrichtung zum Messen von Kräften mit bis zu drei Freiheitsgraden (DOF) anzugeben. Gemäß der Erfindung ist diese Aufgabe bei einer Einrichtung zum Messen einer Kraft mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 7.

[0006] Gemäß der Erfindung weist zum Messen mindestens eines Freiheitsgrades einer Kraft mindestens ein Sensorelement oder jedes Sensorelement einer Anordnung von Sensorelementen eine aus drei dünnen Materiallagen (**1** bis **3**) gebildete Sensorfolie, eine Noppe (**4**) und zwei Spulen, nämlich eine Sendespule (**11**) und eine Empfangsspule (**12**), mit jeweils mindestens einer Windung auf, wobei eine der beiden Spulen (**11**, **12**) auf der Oberseite und die andere auf der Unterseite der untersten Materiallage (**1**) aufgebracht ist.

[0007] Hierbei hat die dreilagige Sensorfolie als unterste Materiallage eine dünne, biegsame und nicht elastische Folie (**1**), unmittelbar darüber als zweite Materiallage eine biegsame und elastische Schicht (**2**), und auf dieser als dritte Materiallage eine etwa zentrisch nur über den auf der Unter- und Oberseite der biegsamen Folie (**1**) aufgebrachten Spulen (**11**, **12**) vorgesehene dünne Schicht (**3**) aus leitfähigem oder ferromagnetischem Material, deren Durchmesser etwas kleiner ist als derjenige der Spulen (**11**, **12**); die Noppe (**4**) ist in ihrer Abmessung der dritten Materiallage (**3**) der Sensorfolie entsprechend angepasst.

[0008] In Weiterentwicklung der Erfindung ist zum Messen von zwei Freiheitsgraden einer Kraft eine der auf der Unter- oder Oberseite der dünnen biegsamen Folie aufgebrachten Spulen eines Sensorelements oder jedes Sensorelements der Anordnung von Sensorelementen elektrisch in zwei Spulenhälften aufgeteilt. Zum Messen von drei Freiheitsgraden einer Kraft ist sowohl die auf der Unterseite als auch die auf der Oberseite der dünnen biegsamen Folie aufgebrachte Spule eines Sensorelements oder jedes Sensorelements einer Anordnung von Sensorelementen elektrisch in zwei Spulenhälften aufgeteilt, wobei die Spulenhälften der einen Spule gegenüber denjenigen der anderen Spule um 90° gedreht sind.

[0009] Gegebenenfalls kann optional als oberste vierte Materiallage wiederum eine elastische Schicht mit ebener Oberfläche vorgesehen werden.

[0010] Mittels einer auf die vorstehend beschriebene Weise aufgebauten Einrichtung kann zumindest ein Freiheitsgrad einer Kraft gemessen werden. Zum Messen von zwei bzw. drei Freiheitsgraden einer Kraft sind der Abmessung der dritten Schicht, d.h. etwa der Größe der auf der Unter- und/oder Oberseite der biegsamen Folie aufgebrachten Spulen entsprechend angepasste Noppen vorgesehen.

[0011] Aufgrund dieses Aufbaus kann eine erfindungsgemäß ausgeführte Sensorfolie auf ebenen

Flächen, insbesondere jedoch auch auf zylindrisch gewölbten Flächen aufgebracht werden, da die Sensorfolie in relativ kleinen Biegeradien aufgebracht werden kann, ohne dass hierbei große Spannungen in dem Material auftreten, was sich negativ auf die jeweilige Messung auswirken würde. Darüber hinaus können mit einer Sensorfolie mit einer Vielzahl von einzelnen Sensorelementen sowohl die Normalkomponenten als auch die Tangentialkomponenten von Kräften gemessen werden, welche auf eine Ebene oder auch auf eine mehr oder weniger stark gewölbte Fläche einwirken.

[0012] Zum Messen einer relativen Kraftverteilung besteht gemäß der Erfindung die biegsame und elastische Schicht aus inkompressiblem Material, während diese Schicht zum Messen einer absoluten Kraft aus kompressiblem Material besteht.

[0013] Ferner können gemäß der Erfindung eine Anzahl Sensorelemente wie Elemente einer Matrix in Zeilen nebeneinander und in Spalten untereinander angeordnet werden. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können die Sensorelemente beispielsweise in den ungeradzahligen Zeilen gegenüber Sensorelementen in geradzahligen Zeilen etwa um die Breite einer Spulenhälfte gegeneinander versetzt und auf diese Weise ineinander verschachtelt angeordnet sein.

[0014] Aufgrund dieser verschiedenen Anordnungsmöglichkeiten sind zahlreiche Variationen hinsichtlich der Anzahl an Sensorelementen gegeben, da grundsätzlich beliebig viele Sensorelemente in unterschiedlichen Anordnungen vorgesehen werden können, solange parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten nicht stören. Darüber hinaus besteht sowohl in der Art der Anordnung als auch in der Größe der Anordnung ein großer Spielraum, der von wenigen Millimetern bis einigen Metern reicht. Ferner steht durch die unterschiedliche Auslegung der Gesamtdicke der Sensorfolie und der Steifigkeit der elastischen Schicht auch ein großer Messbereich zur Verfügung.

[0015] Die zahlreichen Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten reichen von einer taktilen "Haut" für einen Robotergreifer über direkte Druckmessungen bei Strömungselementen bis zu einem Einsatz in orthopädischen Diagnosesystemen.

Ausführungsbeispiel

[0016] Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Zeichnungen im einzelnen erläutert. Es zeigen:

[0017] **Fig. 1** in einer Schnittansicht den Aufbau eines Sensorelements einer Sensorfolie;

[0018] **Fig. 2** in schematischer Darstellung den Spulenaufbau eines Sensorelements zum Messen eines Freiheitsgrades einer Kraft;

[0019] **Fig. 3** in schematischer Darstellung den Spulenaufbau eines Sensorelements zum Messen von zwei Freiheitsgraden einer Kraft;

[0020] **Fig. 4** in schematischer Darstellung den Spulenaufbau eines Sensorelements zum Messen

von drei Freiheitsgraden einer Kraft;

[0021] **Fig. 5** in schematischer Darstellung eine bevorzugte Anordnung von Einzelspulen zu einem Array;

[0022] **Fig. 6** ein Blockschaltbild einer Auswerteeinheit, und

[0023] **Fig. 7** eine vereinfachte Darstellung einer Auslegung von Synchrongleichrichtern.

[0024] In **Fig. 1** ist in einer schematischen Darstellung im Schnitt ein Teil einer Sensorfolie mit einem Sensorelement dargestellt. In **Fig. 1** ist die unterste Lage der Sensorfolie eine biegsame dünne Folie **1** auf deren Unterseite eine durch eine stark ausgezogene Linie angedeutete Sendespule **11** und auf deren Oberseite eine ebenfalls durch eine stark ausgezogene Linie angedeutete Empfangsspule **12** aufgebracht sind. Die auf der dünnen biegsamen Folie **1** aufbrachten Spulen, nämlich die Sendespule **11** und die Empfangsspule **12**, können auch vertauscht werden, so dass im Unterschied zu der Schnittdarstellung in **Fig. 1** die Empfangsspule **12** auf der Unterseite und die Sendespule **11** auf der Oberseite der dünnen biegsamen Folie **1** aufgebracht sind.

[0025] Über der dünnen biegsamen Folie **1** ist eine erheblich dickere elastische und biegsame Lage **2** vorgesehen. Auf der Oberseite der biegsamen und elastischen Lage **2** ist als dritte Materiallage etwa zentrisch über den auf der biegsamen dünnen Folie **1** aufbrachten Spule **11**, **12** eine entsprechend bemessene dünne Schicht **3** aus leitfähigem oder ferromagnetischem Material vorgesehen.

[0026] Als vierte Lage ist in **Fig. 1** über der dritten, etwa zentrisch über den Spulen **11**, **12** vorgesehenen Lage **3** eine noppenförmige Erhebung **4** vorgesehen, über welche eine zu messende Kraft eingeleitet werden kann. Im Falle einer Einrichtung zum Messen nur eines Freiheitsgrades einer Kraft kann anstelle der noppenförmigen Erhebung **4** optional eine dünne elastische Schicht mit ebener Oberfläche vorgesehen werden.

[0027] Über die Steifigkeit oder über die elektrischen Eigenschaften der dritten, dünnen elastischen, leitenden oder ferromagnetischen Schicht kann die Empfindlichkeit des oder der Sensorelemente eingestellt werden. Soll die relative Kraft gemessen und anschließend bestimmt werden, wird für die dritte dünne elastische Lage **3** inkompressibles leitendes oder ferromagnetisches Material verwendet, während zum Messen und anschließenden Bestimmen einer absoluten Kraftmessung bei der dritten Lage kompressibles Material vorgesehen ist.

[0028] In **Fig. 2** ist schematisch ein Sensorelement mit zwei aus mindestens je einer Windung bestehenden Spulen, nämlich einer Sendespule **11** und einer Empfangsspule **12** dargestellt. Hierbei sind jeweils die in der Darstellung etwa rautenförmig ausgebildete, mindestens eine Windung der Sendespule **11** durch eine ausgezogene Linie und diejenige der Empfangsspule **12** durch eine gestrichelt schraffiert wiedergegebene Linie angedeutet.

[0029] In **Fig. 3** entspricht die Darstellung der Sendespule **11** derjenigen in **Fig. 2**, während die Empfangsspule **12** in zwei ebenfalls wieder gestrichelt, schraffiert wiedergegebene Spulenhälften aufgeteilt ist.

[0030] In **Fig. 4** ist sowohl die durch eine ausgezogene Linie wiedergegebene Sendespule **11** als auch die gestrichelt schraffiert wiedergegebene Empfangsspule **12** in zwei Hälften aufgeteilt, wobei die Spulenhälften der einen Spule gegenüber denjenigen der anderen Spule um 90° gedreht sind. Die eine Hälfte der Sendespule **11** ist im oberen Teil der Darstellung in **Fig. 4** und die andere Hälfte ist im unteren Teil in **Fig. 4** angedeutet. Um 90° hierzu gedreht, ist dann die eine Spulenhälfte der Empfangsspule **12** links und deren andere Spulenhälfte rechts in der Darstellung in **Fig. 4** wiedergegeben.

[0031] Mit dem Spulenaufbau gemäß **Fig. 3** können zwei Freiheitsgrade einer Kraft gemessen werden, während mit dem Spulenaufbau gemäß **Fig. 4** drei Freiheitsgrade einer Kraft gemessen werden können. Zum Messen von einem Freiheitsgrad bzw. von zwei Freiheitsgraden einer Kraft wird, wie **Fig. 2** und **3** zu entnehmen ist, die ungeteilte Windung der Sendespule **11** angeregt, was durch das Wort "Anregung" zum Ausdruck gebracht ist. Zum Messen von drei Freiheitsgraden müssen in **Fig. 4** die beiden Hälften der Sendespule **11** gesondert angeregt werden, was in **Fig. 4** durch "Anregung a" bzw. "Anregung b" zum Ausdruck gebracht ist.

[0032] Entsprechend der/n Anregung/en der Sendespule **11** bzw. der Sendespulenhälften wird in **Fig. 2** beim Messen eines Freiheitsgrades einer Kraft ein Signal bzw. werden zum Messen von zwei und drei Freiheitsgraden einer Kraft in **Fig. 3** bzw. in **Fig. 4** jeweils zwei Signale c, d abgenommen/empfangen. In **Fig. 2** bis **4** ist die dünne biegsame Schicht **1** nicht dargestellt, auf deren Unter- oder Oberseite entweder die Sendespule bzw. die Sendespulenhälften oder die Empfangsspule bzw. die Empfangsspulenhälften aufgebracht sind.

[0033] In **Fig. 5** ist eine vorteilhafte sehr dicht gepackte Anordnung von Sensorelementen dargestellt. In **Fig. 5** sind die in den geradzahligen Zeilen, nämlich der zweiten, vierten und sechsten Zeile, angeordneten Sende- und Empfangsspulen bzw. deren Spulenhälften um etwas mehr als die halbe Breite der Sende- und Empfangsspulen bzw. der Spulenhälften gegenüber denjenigen in den ungeradzahligen Zeilen, nämlich der ersten, dritten und fünften Zeile, nach rechts versetzt.

[0034] Die Betriebsfrequenz liegt so niedrig, maximal bei einigen MHz, dass beispielsweise das Sensorarray in **Fig. 5** noch als konzentriert zu bezeichnen ist; dies bedeutet, es werden keine parasitären Leitungskapazitäten relevant, welche einen Dadurch ist eine sehr große Packungsdichte erreicht, da der Abstand zwischen den einzelnen Sensorelementen der jeweiligen Zeilen und Spalten sehr klein gewählt werden kann. Bei einer entsprechenden Beschaltung

ist es sogar möglich, dass sich zwei Sensorelemente Leitungen teilen.

[0035] Ferner zeichnet sich die in **Fig. 5** wiedergegebene Anordnung auch dadurch aus, dass direkt nebeneinander liegende, in Spalten angeordnete Empfangsspulen von in unterschiedlichen Zeilen angeordneten Sendespulen angeregt werden, wodurch eine störende magnetische Kopplung benachbarter Sensorelemente unterbunden ist.

[0036] Anhand von **Fig. 4** wird nunmehr die Auswertung eines Signals zum Messen von drei Freiheitsgraden einer Kraft erläutert. Hierbei wird zunächst nur ein Sensorelement in Betracht gezogen.

[0037] Es soll wiederum, wie in Verbindung mit **Fig. 4** beschrieben, auf der Unterseite der biegsamen Folie **1** eine Sendespule **11** aufgebracht sein, welche, auf die Darstellung in **Fig. 4** bezogen, in eine untere und eine obere Spulenhälfte aufgeteilt ist. Auf der Oberseite der biegsamen Folie **1** ist die Empfangsspule **12** aufgebracht, die – ebenfalls wieder bezogen auf die Darstellung in **Fig. 4** – in eine linke und eine rechte Spulenhälfte aufgeteilt ist.

[0038] Die Betriebsfrequenz liegt so niedrig, maximal bei einigen MHz, dass beispielsweise das Sensorarray in **Fig. 5** noch als konzentriert zu bezeichnen ist; dies bedeutet, es werden keine parasitären Leitungskapazitäten relevant, welche einen gleichmäßigen Stromfluss durch die Sensorelement-Anordnung verhindern würden.

[0039] Während eines Messzyklus wird abwechselnd die in **Fig. 4** obere bzw. untere Hälfte **11** der Sendespule sinus- oder pulsformig bestromt. Das von der einen oder anderen Sendespulenhälfte erzeugte Wechsellmagnetfeld induziert in den beiden Hälften der Empfangsspule **12** jeweils eine Spannung.

[0040] Wie in dem Blockschaltbild von **Fig. 6** schematisch dargestellt, werden erfindungsgemäß die in den beiden Spulenhälften der Empfangsspule **11** erzeugten Spannungen in Verstärkern **5**, **6** verstärkt, mit Hilfe von Synchrongleichrichtern **7**, **8** und eines als Integrator wirkenden Tiefpasses **9** in ein Gleichspannungssignal überführt. Hierbei werden in einer Auswerteschaltung die Signale aller linken Empfangsspulenhälften gemultiplext, zunächst durch einen Klasse A Verstärker vorverstärkt und dann durch einen voll-differentiellen Verstärker symmetriert. Ebenso werden die Signale der rechten Empfangsspulenhälften gemultiplext, verstärkt und symmetriert.

[0041] Die so generierten vier Signale werden Anlogschaltern zugeführt, welche so, wie in **Fig. 7** schematisch dargestellt, gesteuert werden. Deren Ausgänge werden zusammen auf einen Verstärker mit Tiefpassverhalten gelegt. Das so erhaltene Signal stellt bereits ein Maß für die entsprechende Kraft dar und kann ohne großen Rechenaufwand von einem Microcontroller mit AD-Wandler weiterverarbeitet werden.

[0042] Wird nun Druck in Normalrichtung auf die

Noppe **4** eines Sensorelements ausgeübt, wird die elastische Zwischenlage **2** zusammengedrückt. Dadurch nähert sich die leitfähige bzw. ferromagnetische dritte Lage der Spulenanordnung; das Feld wird aufgrund der entstehenden Wirbelströme gedämpft bzw. aufgrund des im Magnetfeld befindlichen ferromagnetischen Materials verstärkt. Die durch den höheren bzw. niedrigeren magnetischen Fluss entstehende Änderung in den Ausgangsspannungen, was in **Fig. 4** mit "Signal c" bzw. "Signal d" bezeichnet ist, stellt somit ein Maß für die aufgebrachte Kraft dar.

[0043] Ein tangenciales Aufbringen einer Kraft führt dazu, dass die Noppe **4** über dem jeweiligen Sensorelement verschoben und gekippt wird. Dies führt jeweils in Abhängigkeit von der Richtung der aufgebrachten Kraft dazu, dass sich Unterschiede in der induzierten Spannung zwischen den linken und den rechten Spulenhälften der Empfangsspule **12** ergeben; mit anderen Worten, die in den beiden Spulenhälften der Empfangsspule **12** induzierten Spannungen sind unterschiedlich, je nachdem ob sie durch Bestromung der oberen oder der unteren Spulenhälfte der Sendespule **11** erzeugt wurde. Die Differenzen zwischen den beiden induzierten Spannungen stellen dann ein Maß für die tangential auftretenden Kräfte dar. Durch einen entsprechenden Aufbau der Verstärker sowie der Synchrongleichrichter kann die erforderliche Differenzbildung bereits hier erfolgen.

[0044] In **Fig. 7** ist schematisiert die Steuerung durch die Synchrongleichrichter **7, 8** (**Fig. 6**) dargestellt, je nachdem welche Kraftkomponente gemessen werden soll. Hierbei ist in **Fig. 7** in den beiden oberen Zeilen jeweils die Anregung der in **Fig. 4** oberen bzw. unteren Sendespulenhälfte angedeutet. In den beiden unteren Zeilen sind die zur Steuerung erforderlichen Impulse der Synchrongleichrichter für die linke bzw. rechte Empfängerspulenhälfte dargestellt. Hierbei ist in dem linken Teil von **Fig. 7** die Messung der y-Verschiebung, im mittleren Teil von **Fig. 7** die Messung der x-Verschiebung und im rechten Teil von **Fig. 7** die Messung der z-Verschiebung schematisch dargestellt.

[0045] Bei einer Anordnung der Sensorelemente in Form eines Arrays wie in **Fig. 8** wird jeweils eine ganze Zeile der seriell geschalteten Sendespulen gemeinsam bestromt. Dabei können auch alle Spalten von seriell geschalteten Empfangsspulen bzw. Empfängerspulenhälften gleichzeitig ausgelesen werden. Da hierbei nur in jeweils einer der Empfängerspulenhälften einer ganzen Spalte eine Spannung induziert wird, ist die Spannung dieser Spalte gleich der Spannung des einzelnen Elements. Allerdings ist es hierzu erforderlich, dass die Eingangsimpedanzen der Verstärker **5, 6** (**Fig. 6**) für die Empfangsspulen bzw. Empfängerspulenhälften relativ hoch sind, um einen Stromfluss zu verhindern, der sonst seinerseits in anderen Spulen ungewollte Spannungen induzieren würde.

[0046] Statt eines gleichzeitigen Auslesens der Empfangsspulenspalten können diese natürlich auch

durch Analogschalter gemultiplext werden, wodurch der elektronische Aufwand klein gehalten ist. Bei der Anregungsfrequenz von 2MHz ist ein Auslesetak von 20kHz möglich. Dies stellt eine ausreichende Bandbreite dar, um auch die durch Rutschen eines Objekts auf einer Sensorfolie entstehenden Vibrationen messen zu können.

[0047] Bei einem Aufbau in Form beispielsweise des Arrays in **Fig. 5** kann eine große Anzahl von Einzelsensoren mit relativ geringem elektronischem Aufwand ausgewertet werden. Die erzeugten magnetischen Wechselfelder sind nach außen hin durch die leitfähige Schicht oder das ferromagnetische Material gut abgeschirmt. Ebenso können äußere Störeinflüsse durch die ferromagnetische bzw. leitfähige Schicht gedämpft werden. Um abgestrahlte Leistung auf ein größeres Frequenzband zu verteilen, kann die Anordnung auch mit einem schmalbandigen Rauschen getaktet werden, was zu einer besseren elektromagnetischen Verträglichkeit führt.

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Messen einer Kraft mittels eines mehrlagigen taktilen Aufbaus, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Messen mindestens eines Freiheitsgrades einer Kraft mindestens ein Sensorelement oder jedes Sensorelement einer Anordnung von Sensorelementen eine aus drei dünnen Materiallagen (**1 bis 3**) gebildete Sensorfolie, eine Noppe (**4**) und zwei Spulen, nämlich eine Sendespule (**11**) und eine Empfangsspule (**12**), mit jeweils mindestens einer Windung aufweist, wobei eine der beiden Spulen (**11, 12**) auf der Oberseite und die andere auf der Unterseite der untersten Materiallage (**1**) aufgebracht ist, wobei

die dreilagige Sensorfolie als unterste Materiallage eine dünne, biegsame und nicht elastische Folie (**1**), unmittelbar darüber als zweite Materiallage eine biegsame und elastische Schicht (**2**), und auf dieser als dritte Materiallage eine etwa zentrisch nur über den auf der Unter- und Oberseite der biegsamen Folie (**1**) aufgebrachten Spulen (**11, 12**) vorgesehene dünne Schicht (**3**) aus leitfähigem oder ferromagnetischem Material hat, deren Durchmesser etwas kleiner ist als derjenige der Spulen (**11, 12**) und die Noppe (**4**) in ihrer Abmessung der dritten Materiallage (**3**) der Sensorfolie entsprechend angepasst ist.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum Messen nur eines Freiheitsgrades einer Kraft anstelle der Noppe (**4**) als vierte Materiallage eine weitere elastische Schicht mit ebener Oberfläche vorgesehen ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum Messen von zwei Freiheitsgraden der Kraft die auf der Unterseite oder Oberseite der dünnen biegsamen Lage (**1**) aufgebrachte

Empfangsspule (**11**) eines Sensorelements oder jedes Sensorelements einer Anordnung von Sensorelementen elektrisch in zwei Spulenhälften aufgeteilt ist.

4. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum Messen von drei Freiheitsgraden der Kraft jede der auf der Unterseite bzw. Oberseite der dünnen biegsamen Lage (**1**) aufgebrauchten Spulen (**11**, **12**) eines Sensorelements oder jedes Sensorelements einer Anordnung von Sensorelementen elektrisch in zwei Spulenhälften aufgeteilt ist, wobei die Spulenhälften der einen Spule gegenüber denjenigen der anderen Spule um 90° gedreht sind.

5. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die biegsame und elastische Schicht (**2**) zum Messen einer relativen Kraftverteilung aus inkompressiblem Material oder zum Messen einer absoluten Kraft aus kompressiblem Material besteht.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anzahl Sensorelemente wie Elemente einer Matrix in Zeilen nebeneinander und in Spalten untereinander angeordnet sind.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorelemente in den ungeradzahligen Zeilen einer Matrix gegenüber den Sensorelementen in den geradzahligen Zeilen der Matrix etwa um die Breite einer Spulenhälfte gegeneinander versetzt und ineinander verschachtelt angeordnet sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

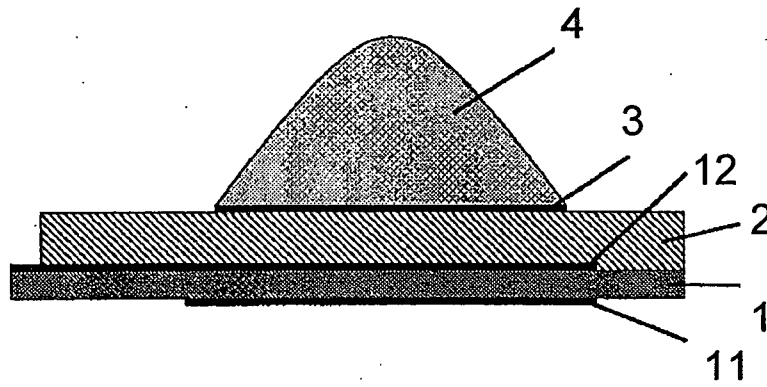


Fig.1

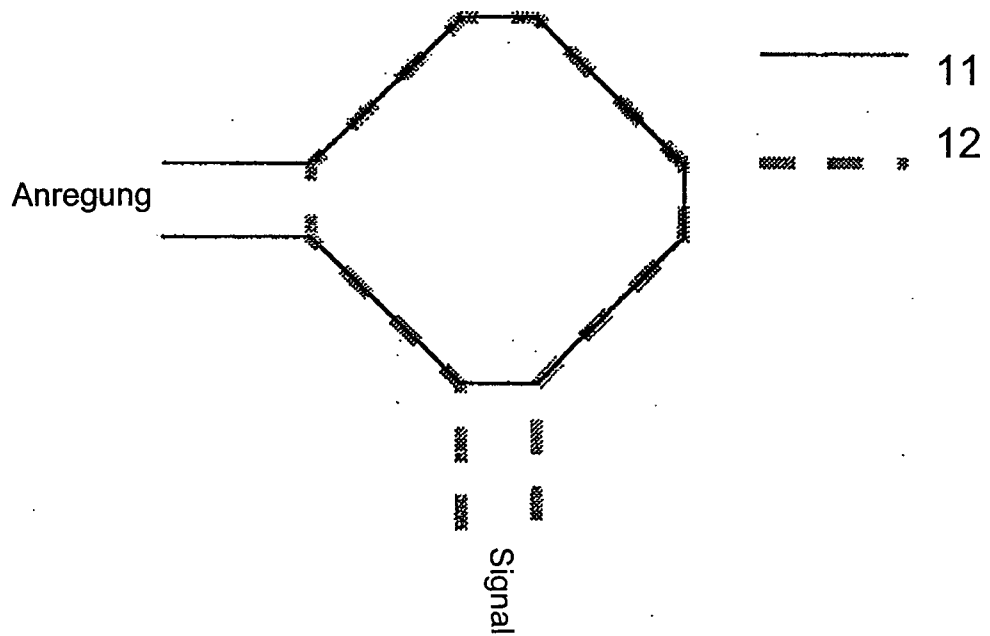


Fig.2

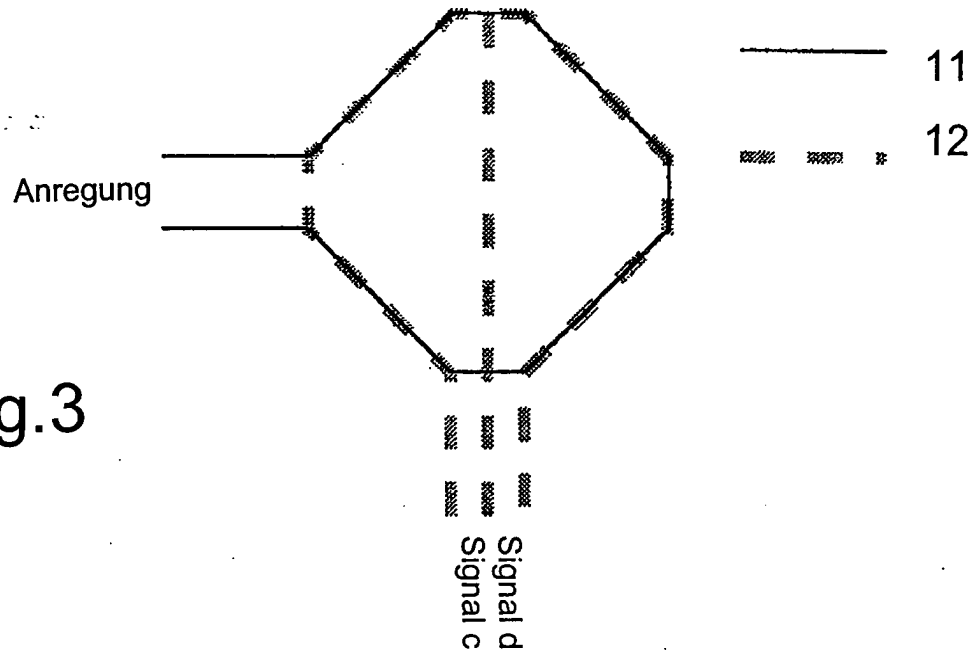


Fig.3

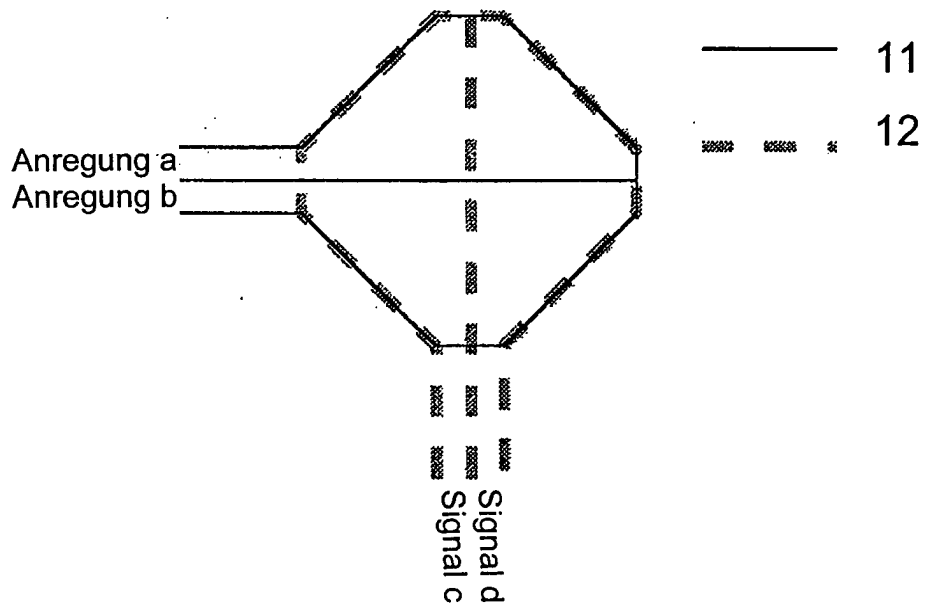


Fig.4

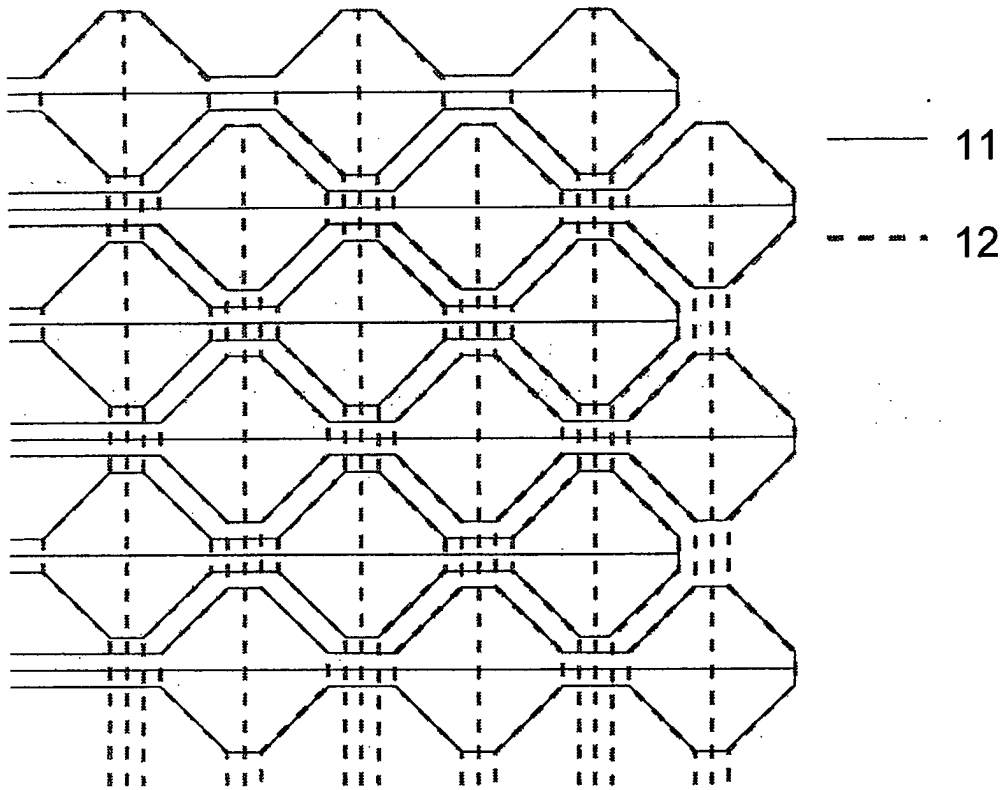


Fig.5

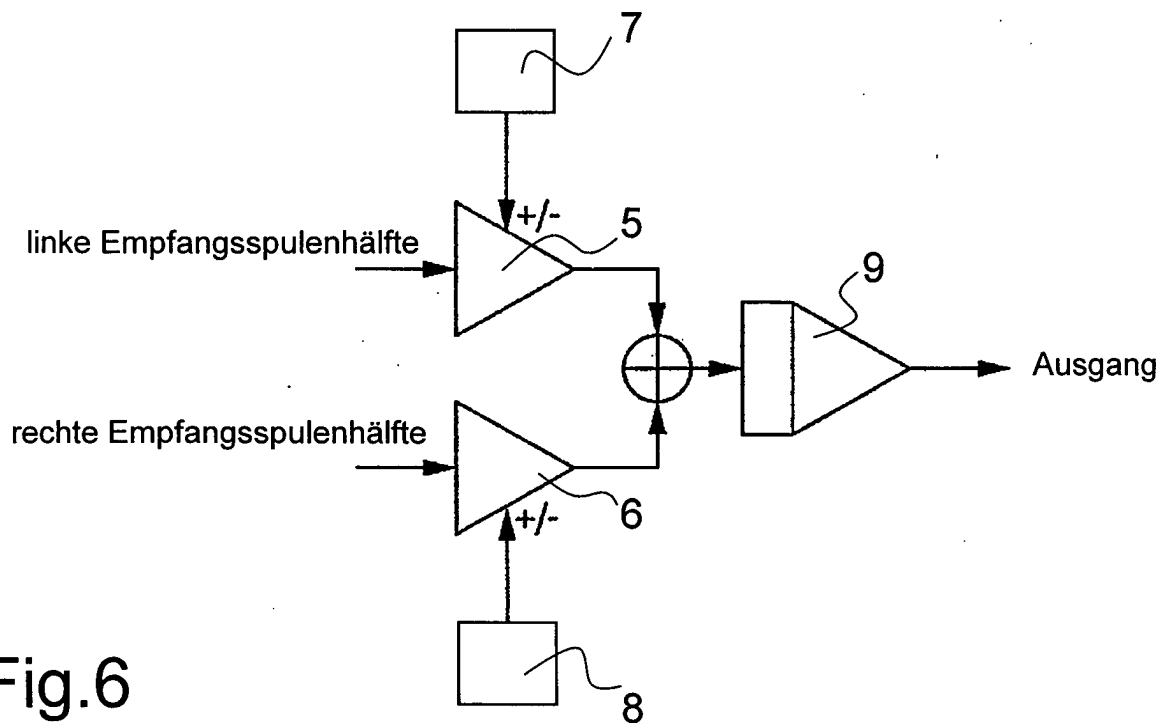


Fig.6

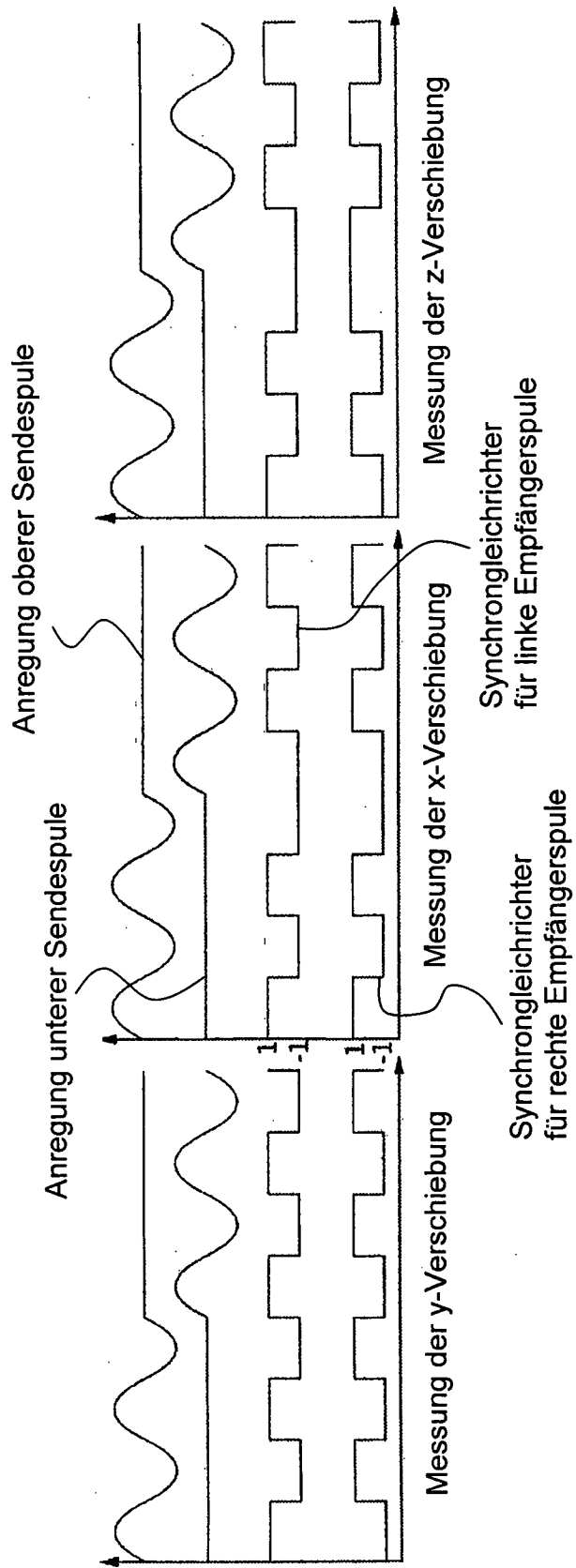


Fig.7