

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑪

622 888

⑮ Gesuchsnummer: 13966/77

⑳ Anmeldungsdatum: 15.11.1977

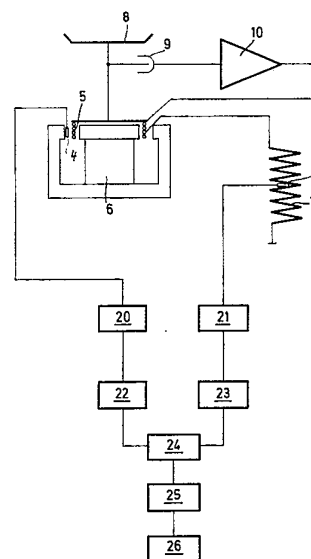
㉓ Priorität(en): 23.12.1976 DE 2658628

㉕ Patent erteilt: 30.04.1981

㉗ Patentschrift
veröffentlicht: 30.04.1981㉚ Inhaber:
Sartorius-Werke GmbH (und vormals Göttinger
Präzisionswaagenfabrik GmbH), Göttingen (DE)㉛ Erfinder:
Erich Knothe, Bovenden 1 (DE)
Dr. Christoph Berg, Göttingen (DE)㉜ Vertreter:
A. Braun, Braun, Héritier, Eschmann AG,
Patentanwälte, Basel**⑤④ Elektromagnetisch kompensierende Wäge- oder Kraftmessvorrichtung.**

⑤⑦ Die elektromagnetisch kompensierende Kraftmess- oder Wägevorrückung umfasst eine Arbeitsspule (5), die im Luftspalt einer ortsfesten Magnetanordnung (6) beweglich und durch die zu messende Last beaufschlagbar ist. Die Arbeitsspule (5) wird durch das Ausgangssignal eines Regelverstärkers gespeist und in die Nullage gebracht. Ausserdem liegt zu der Arbeitsspule (5) eine Spule (1) elektrisch in Serie, deren Magnetfeld durch eine erste Messsonde (3) bestimmt wird. Mindestens eine weitere Messsonde (4) zur Bestimmung der magnetischen Kraftflussdichte (B) der Magnetanordnung (6) ist in deren Luftspalt angeordnet.

Das dem Strom in der Arbeitsspule (5) proportionale Ausgangssignal der Seriespule (1) wird über einen Resonanzoszillator (21) und einen Frequenzzähler in ein digitales Signal umgewandelt. Ebenso wird das der Kraftflussdichte (B) der Magnetanordnung (6) proportionale Signal der weiteren Messsonde (4) über einen Resonanzoszillator (20) und einen Frequenzzähler (22) in ein digitales Signal umgewandelt. Eine die beiden Digitalisignale verknüpfende, weiterverarbeitende und zur Anzeige bringende Schaltungsanordnung (24, 25, 26) liefert das Messergebnis in einer digitalen Anzeige.



PATENTANSPRÜCHE

$$F = B \cdot J \cdot n \cdot 2 \pi r$$

1. Elektromagnetisch kompensierende Kraftmess- oder Wägevorrichtungen mit einer im Luftspalt einer ortsfesten Magnetanordnung beweglichen, durch die zu messende Last beaufschlagten Arbeitsspule, mit einem Indikator für die Lage der Arbeitsspule, mit einem dem Indikator nachgeschalteten Regelverstärker, wobei die Arbeitsspule durch das Ausgangssignal des Regelverstärkers gespeist und in die Nullage gebracht wird, und mit einem elektrisch in Reihe zu der Arbeitsspule liegenden Wandler zur Bestimmung einer zu dem Spulenstrom proportionalen Grösse über ein elektromagnetisches Feld, wobei das Ausgangssignal dieses Wandlers ein Mass für die zu messende Last ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Wandler als Spule (1) ausgebildet ist, deren Magnetfeld durch eine Messsonde (3) bestimmt wird, dass im Luftspalt der Magnetanordnung (6) mindestens eine weitere Messsonde (4, 4a) zur Bestimmung der magnetischen Kraftflussdichte der Magnetanordnung (6) angeordnet ist, und dass eine Schaltungsanordnung (24, 25, 26) zur Bestimmung der zu messenden Last aus den Ausgangssignalen der ersten und der weiteren Messsonden (3; 4, 4a) vorgesehen ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Messsonde (3) im Innern der Spule (1) angeordnet ist.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwei weitere Messsonden (4, 4a) vorgesehen sind, die im Luftspalt der Magnetanordnung (6) an einander gegenüberliegenden Stellen angeordnet sind, und dass die Ausgangssignale dieser weiteren Messsonden (4, 4a) gemittelt werden.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die weiteren Messsonden (3, 4, 4a) nach dem Prinzip der magnetischen Kerndipolresonanz arbeiten.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die weiteren Messsonden (3, 4, 4a) nach dem Prinzip der Spinresonanz arbeiten.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchmesser der Spule (1) wesentlich kleiner als die Länge der Spule (1) ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Messsonde (3) etwa in der Mitte der Spule (1) angeordnet ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch eine weichmagnetische Abschirmung (17) für die Spule (1).

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch weichmagnetische Leitstücke (11), die in das Innere der Spule (1) reichen.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die weitere(n) Messsonde(n) (4, 4a) ortsfest im Luftspalt angebracht ist (sind).

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die weitere(n) Messsonde(n) (4, 4a) im Luftspalt an der Arbeitsspule (5) befestigt ist (sind).

Die Erfindung betrifft eine elektromagnetisch kompensierende Kraftmess- oder Wägevorrichtung der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Gattung.

Bei einer solchen elektromagnetischen Kraftkompensation wird die von der zu messenden Last beaufschlagte Arbeitsspule durch Regelung des durch die Spule fliessenden Stroms in einer Nullage gehalten, so dass der durch die Spule fliessende Strom J nach der Formel

ein Mass für die elektromagnetisch erzeugte Kraft F und damit für die zu messende Last darstellt; dabei bedeuten B = magnetische Kraftflussdichte der Magnetanordnung, J = Spulenstrom, n = Windungszahl der Arbeitsspule, und $2 \pi r$ = Länge einer Windung.

Dabei wird im allgemeinen vorausgesetzt, dass die magnetische Kraftflussdichte konstant ist, also der Spulenstrom direkt proportional zu der elektromagnetisch erzeugten Kraft ist.

Im allgemeinen wird der Spulenstrom J in einem Messwiderstand in eine Messspannung umgewandelt, die dann mittels eines Analog/Digital-Wandlers im Vergleich mit einer internen Referenzspannung in digitale Grössen umgesetzt wird. Als Magnetanordnung wird ein Permanentmagnet benutzt, während die Referenzspannung mittels einer Referenzdiode (Z-Diode) geliefert wird.

Bei einem solchen System treten folgende Schwierigkeiten auf:

1. Der Temperaturkoeffizient und die Alterung des Permanentmagneten verändern die von der Magnetanordnung gelieferte magnetische Kraftflussdichte und verfälschen damit das Messergebnis;

2. auch der Temperaturkoeffizient und die Alterung des Messwiderstandes verfälschen das Messergebnis. Der dadurch entstehende, systematische Fehler hat einen besonders starken negativen Einfluss auf die Messung, da zur Kompensation von wechselnden Lasten auch entsprechend variierende Ströme verwendet werden müssen, wodurch sich wiederum eine schwankende Wärmeerzeugung und damit unterschiedliche Temperaturerhöhungen ergeben;

3. auch der Temperaturkoeffizient der Referenzdiode und damit der Referenzspannung sowie die Alterung der Referenzdiode verfälschen das Messergebnis. Ausserdem lassen sich bei der Referenzdiode statistische Spannungssprünge nicht vermeiden, die ebenfalls die Messung in unkontrollierter Weise beeinflussen können.

Neben der einfachen Temperaturkompensation durch zusätzliche, temperaturabhängige Bauelemente sind verschiedene Möglichkeiten bekannt geworden, einzelne oder alle dieser Fehlermöglichkeiten systematisch auszuschliessen. Eine Möglichkeit stellt die sogenannte «Quotientenmessung» dar. Dabei wird gleichzeitig mit zwei herkömmlichen Systemen gearbeitet, wobei das erste System mit der zu messenden Last und das zweite System mit einer konstanten Masse beaufschlagt wird. Dabei ersetzt das zweite System also die Referenzdiode.

Bei der Ausführungsform nach der DE-PS 1 194 167 sind diese beiden Systeme in zwei Spalten eines Permanentmagneten angeordnet. Bei der aus der US-PS 3 322 222 bekannten Ausführungsform befinden sich diese beiden Systeme in dem selben Luftspalt.

Bei der Vorrichtung nach der CH-PS 521 575 wird mittels des zweiten Systems die magnetische Kraftflussdichte B nachgeregelt.

Weiterhin werden nach dem älteren Patent 25 35 758 der Anmelderin die beiden Systeme mit konzentrischen Zylindern mit Hilfe von Luftpolstern geführt.

Durch diesen Lösungsweg können die oben erwähnten Schwierigkeiten (1) und (3) überwunden werden, da diese Einflüsse auf die beiden Systeme in gleicher Weise einwirken und damit durch die Quotientenbildung eliminiert werden können. Die Schwierigkeiten nach Punkt 2 bleiben aber bestehen, da die Messwiderstände für beide Systeme getrennt sind. Ausserdem hat eine solche Vorrichtung einen sehr komplizierten Aufbau, da alle Einzelteile zweimal vorhanden sein müssen. Und schliesslich können Nullpunktänderungen des zweiten Systems

nicht erkannt oder gar erfasst werden, so dass sie das Messergebnis verfälschen können.

Bei einer Modifikation dieser Quotientenmessung wird zusätzlich eine Digitalisierung vorgenommen, indem der Tragstrom, d.h. der durch die Arbeitsspule fließende Strom J , in dem ersten System in Impulse aufgeteilt wird. Dabei ist bei der Ausgestaltung nach der DE-PS 1 194 167 Impulshäufigkeit proportional zur aufgelegten Masse, während bei der Modifikation nach der CH-PS 529 999 die Impulslänge proportional zur aufgelegten Masse ist.

Dadurch kann zwar auch die oben erwähnte Schwierigkeit (2) beseitigt werden, die gesamte Vorrichtung hat jedoch aufgrund der Verwendung des zweiten Systems einen sehr komplizierten Aufbau. Ausserdem können Nullpunktänderungen des zweiten Systems nicht erkannt oder erfasst werden und verfälschen damit das Ergebnis. Und schliesslich ist eine komplizierte und temperatur- und alterungsanfällige elektronische Schaltung erforderlich, um die Impulsform konstant zu halten. Insbesondere die Flankenform ändert sich stark bei geringen Änderungen der Bauteile. Wird die Impulsform nicht konstant gehalten, so ist keine genaue Messung mehr möglich.

Ausserdem kann noch gemäss DE-AS 2 511 103 eine Digitalisierung im Regelkreis vorgenommen werden. Dadurch können jedoch nur die Schwierigkeiten nach den oben erläuterten Punkten (1) und (2) beseitigt werden, während die Schwierigkeit (3) bestehen bleibt. Dies kann wiederum nur durch die Verwendung der Quotientenmessung umgangen werden, wodurch sich jedoch die oben erwähnten Nachteile ergeben würden. Ausserdem stellen die Kennlinie und die Hysterese des verwendeten weichmagnetischen Werkstoffes kritische Grössen dar.

Weiterhin ist aus der DE-OS 2 317 756 eine elektromagnetisch kompensierende Kraftmess- und Wägevorrichtung bekannt, mit der das folgende Problem gelöst werden soll: Der Strom J durch die Arbeitsspule beeinflusst im allgemeinen das Magnetfeld des Permanentmagneten, so dass für die Kraftflussdichte B im allgemeinen der folgende Ansatz gemacht wird:

$$B = B_0(1 - c \cdot J)$$

Die Konstante c hängt nur von der Geometrie der Magnetanordnung ab. Dadurch ergibt sich in der Gleichung für die Kraft F ein J^2 -Term:

$$F = B \cdot J \cdot n \cdot 2 \pi r = B_0 \cdot n \cdot 2 \pi r \cdot J - B_0 \cdot n \cdot 2 \pi r \cdot c \cdot J^2$$

Die Korrektur dieses J^2 -Terms erfolgt gemäss der DE-OS 2 317 756 mittels Korrekturspule um den aktiven Kern der Magnetanordnung; diese Korrekturspule wird vom Strom durch die Arbeitsspule durchflossen und ist so dimensioniert, dass sich die Wirkung der Arbeitsspule und der Korrekturspule auf die magnetische Kraftflussdichte B aufheben, also die magnetische Kraftflussdichte B nicht mehr von dem Strom J durch die Arbeitsspule abhängt.

Nachteilig ist bei einer solchen Lösung, dass ein weiteres, zusätzliches, wärmeempfindliches Bauelement verwendet werden muss.

Schliesslich ist aus der DE-PS 1 276 931 noch eine elektromagnetisch kompensierende Kraftmess- oder Wägevorrichtung der angegebenen Gattung bekannt. Dabei ist im magnetischen Kreis ein Hall-Generator angeordnet, dessen Betriebsgrössen zur Kraftmessung benutzt werden.

Dieser Hall-Generator dient also sowohl zur Überwachung des Magnetfeldes als auch zur Berechnung der Grösse $B \times J$, um auch bei veränderlicher magnetischer Kraftflussdichte die elektromagnetisch erzeugte Kraft zu ermitteln. Denn sowohl die Hall-Spannung als auch die Kraft auf eine Spule im Magnetfeld sind proportional zu dem Produkt aus magnetischer Feldstärke und Strom.

Bei Verwendung eines solchen Hall-Generators können sowohl die Fehler des Magnetsystems als auch die Fehler des Messwiderstands vermieden werden, so dass sich insoweit eine Verbesserung im Vergleich mit der oben erläuterten, herkömmlichen Kraftmess- oder Wägevorrichtung ergibt.

Andererseits müssen jedoch die Fehler eines Hall-Generators in Kauf genommen werden, insbesondere seine starke Temperaturabhängigkeit, die etwa in der gleichen Grössenordnung wie der Temperaturkoeffizient von AlNiCo, den üblicherweise für Wagen verwendeten, magnetischen Werkstoff, und der Temperaturkoeffizient von üblichen Messwiderständen, nämlich bei etwa 10^{-4} bis $10^{-5}/K$, liegt. Diese Ausschaltung der Temperaturstabilität des Messwiderstandes muss also durch die relativ hohe Temperaturempfindlichkeit des Hall-Generators erkauft werden, wodurch sich insgesamt eine ungünstige Beeinflussung der Genauigkeit ergibt.

Eine Erhöhung der Genauigkeit ist bei Verwendung von Hall-Generatoren nicht möglich, da die Eigenschaften der üblicherweise als Hall-Generatoren verwendeten Halbleitermaterialien zeitlich im allgemeinen nicht stabil sind; ausserdem hat die Hall-Spannung nur eine äusserst geringe Grösse, so dass die Auswertung und Erfassung sehr kompliziert ist; und schliesslich ändert sich die Temperatur des Hall-Generators ständig, da der Steuerstrom von der Belastung abhängt.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine elektromagnetisch kompensierende Kraftmess- oder Wägevorrichtung der angegebenen Gattung zu schaffen, die bei einfachem mechanischem Aufbau eine äusserst empfindliche, zeitlich stabile Messung der Last ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Zweckmässige Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen zusammengestellt.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile beruhen insbesondere darauf, dass die sonst übliche, mit den erwähnten Fehlern behaftete Ermittlung des durch die Arbeitsspule fließenden Stroms durch eine Magnetfeldmessung ersetzt wird, die eine zu dem Spulenstrom proportionale Grösse liefert. Für eine solche Magnetfeldmessung stehen sehr genaue, langzeitstabile Messmethoden zur Verfügung, insbesondere die Kerndipolresonanz oder die Spinresonanz. Bei diesen Verfahren kann die Messung und ihre Auswertung auf atomare Konstanten zurückgeführt werden, so dass sich eine mit anderen Verfahren im allgemeinen nicht zu erreichende Genauigkeit ergibt.

Weiterhin wird auch der komplizierte mechanische Aufbau vermieden, wie er bei einigen herkömmlichen Kraftmess- oder Wägevorrichtungen eingesetzt wird.

Ausserdem wird mit diesem Verfahren die magnetische Kraftflussdichte B direkt gemessen, so dass die oben erwähnte Kompensation des J^2 -Terms mittels einer Korrekturspule nicht mehr erforderlich ist. Auch dies führt also zu einer Vereinfachung des Messaufbaus unter gleichzeitiger Genauigkeitssteigerung.

Und schliesslich kann durch die weitere, im Luftspalt der Magnetanordnung vorgesehene Messsonde auch eine etwaige Änderung des Magnetfeldes des Permanentmagneten erfasst und bei der Messung berücksichtigt werden, wodurch sich eine weitere Erhöhung der Genauigkeit ergibt.

Zweckmässigerweise wird die Messsonde für die Magnetfeldmessung im Innern der Spule angeordnet, wo sie weitgehend gegen äussere Einflüsse geschützt ist.

Um eine Mittelung über den Gesamtverlauf des Magnetfeldes zu erreichen, können im Luftspalt zwei Messsonden vorgesehen sein, deren Ergebnisse gemittelt werden.

Auch dadurch ergibt sich eine Verbesserung der Genauigkeit.

Damit im Innern der Spule ein etwa homogenes Magnet-

feld entsteht, sollte der Durchmesser der Spule, mit deren Hilfe der Spulenstrom J bestimmt wird, kleiner als ihre Länge sein.

Um die Beeinflussung durch Fremdfelder so gering wie möglich zu halten, sollte diese Spule weiterhin durch eine weichmagnetische Abschirmung umgeben sein.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform kann das Magnetfeld in der Spule durch weichmagnetische Leitstücke verstärkt sein, die in das Innere der weiteren Spule reichen. Dabei sollte das Material eine lineare Magnetisierungskennlinie haben und keine Hysterese aufweisen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beiliegenden, schematischen Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipskizze des magnetischen Kreises einer erfindungsgemässen elektromagnetisch kompensierten Wäge- oder Kraftmesseinrichtung, in welcher der mechanische Teil nur schematisch angedeutet ist;

Fig. 2 einen Schnitt längs der angedeuteten Pfeile A und B durch die Magnetanordnung und die Arbeitsspule;

Fig. 3 einen Schnitt durch die weitere Spule und die Messsonde;

Fig. 4 eine Ausführungsform der weichmagnetischen Leitstücke und der Abschirmung; und

Fig. 5 ein Blockschaltbild des elektromagnetischen Teils der Vorrichtung.

Wie sich insbesondere aus den Fig. 1 und 5 ergibt, weist die elektromagnetisch kompensierende Wäge- oder Kraftmessvorrichtung nach der Erfindung eine Magnetanordnung 6 auf, die im allgemeinen durch eine Permanentmagneten gebildet wird. In dem Luftspalt 6a der Magnetanordnung 6 ist eine Arbeitsspule 5 angeordnet.

Wie in Fig. 1 und 5 schematisch angedeutet wird, ist die Arbeitsspule 5 über eine Führung 7 mit einer Waagschale 8 verbunden, auf welche die zu messende Masse gelegt werden kann.

Ausserdem ist mit Arbeitsspule 5 ein Lagenindikator 9 mechanisch verbunden, der anzeigt, ob sich die Arbeitsspule 5 in einer vorbestimmten Gleichgewichtslage in dem Luftspalt 6a der Magnetanordnung 6 befindet oder unter der Einwirkung der Kraft, die eine auf die Waagschale 8 gelegte Masse erzeugt, aus dieser Gleichgewichtslage ausgelenkt ist.

Wenn die Arbeitsspule 5 durch diese Kraft in dem Luftspalt 6a nach unten – gemäss der Darstellung in den Figuren – ausgelenkt wird, zeigt der Lagenindikator 9 diese Auslenkung an, d.h. er liefert ein Signal, das über eine Regelverstärker 10 den der Arbeitsspule 5 zugeführten Strom solange verändert, bis die Gleichgewichtslage wieder erreicht ist. Wie oben erläutert wurde, ist die dabei erzeugte elektromagnetische Kraft proportional zu dem Gewicht der auf die Waagschale 8 aufgelegten Masse, so dass der für die Erhaltung der Gleichgewichtslage notwendige Strom ein Mass für das zu messende Gewicht ist.

Wie in Fig. 5 dargestellt ist, liegt elektrisch in Reihe zu der Arbeitsspule 5 eine weitere Spule 1, so dass das Magnetfeld dieser Spule 1 proportional zu dem durch die Arbeitsspule 5 fließenden Strom ist.

Der Aufbau dieser Spule 1 ist im einzelnen in den Fig. 3 und 4 dargestellt. Im einfachsten Fall kann diese Spule 1 aus einem zylindrischen Hohlkörper 13 bestehen, der mit einer üblichen Wicklung 2 versehen ist. Der Durchmesser dieser Spule 1 ist

also wesentlich kleiner als ihre Länge.

In der Mitte des zylindrischen Hohlkörpers 13 befindet sich eine Messsonde 3, welche die Grösse des von der Spule 1 erzeugten Magnetfeldes, d.h. die magnetische Kraftflussdichte der Spule 1 ermitteln kann.

Die so gemessene Kraftflussdichte ist proportional zu den durch die Arbeitsspule 5 fließenden Strom, so dass aus dem gemessenen Wert für die Kraftflussdichte der Spule 1 anhand der oben angegebenen Formel das Gewicht der auf die Waagschale 8 aufgelegten Masse berechnet werden kann.

Bei der Ausführungsform nach Fig. 4 ist diese Spule 1 mit einer weichmagnetischen Abschirmung 17 gegen Fremdfelder sowie weichmagnetischen Leitstücken 11 zur Verstärkung des Magnetfeldes der Spule 1 versehen. Das Material für die magnetischen Leitstücke bzw. die magnetische Abschirmung soll eine lineare Magnetisierungskennlinie haben und keine Hysterese aufweisen.

Bei konstantem Wert für die magnetische Kraftflussdichte B der Magnetanordnung 5 kann mittels des gemessenen Magnetfeldes der Spule 1 anhand der angegebenen Formel die elektromagnetische Kraft ermittelt werden.

Um den Temperaturkoeffizienten sowie etwaige Alterungserscheinungen der Magnetanordnung 6 berücksichtigen zu können, sind in dem Luftspalt 6a der Magnetanordnung zwei weitere Messsonden 4 und 4a angeordnet, die, wie in Fig. 2 zu erkennen ist, sich auf einander gegenüberliegenden Punkten der kreisförmigen Magnetanordnung 6 befinden.

Mit Hilfe dieser Sonden 4 und 4a wird die magnetische Kraftflussdichte B der Magnetanordnung 6 gemessen.

Die von den beiden Messsonden 4 und 4a ermittelten Werte für die magnetische Kraftflussdichte der Magnetanordnung 6 werden gemittelt und auf die im folgenden zu erläuternde Weise weiterverarbeitet.

Die Messsonden 3, 4 und 4a können beispielsweise entweder nach dem Prinzip der magnetischen Kerndipolresonanz oder nach dem Prinzip der Spinresonanz arbeiten. Aufbau und Funktionsweise solcher Messsonden sind in dem Artikel «Ein Rb-Magnetometer für einen weiten Feldbereich und mit hoher Empfindlichkeit» in PTB-Mitteilungen 4/74, Seite 241 ff, sowie in dem Buch von Kohlrausch «Praktische Physik», Band 2, 1968, Seite 274, unter dem Titel «Kernresonanz» beschrieben.

Der prinzipielle Aufbau des elektronischen Teils der Vorrichtung ist in Fig. 5 dargestellt. Das die magnetische Kraftflussdichte B der Magnetanordnung 6 darstellende Ausgangssignal der Messsonde(n) 4 bzw. 4a wird über einen Resonanzoszillator 20 und einen Frequenzzähler 22 in ein digitales Signal umgewandelt, während das Ausgangssignal der Spule 1, das dem Spulenstrom J der Arbeitsspule 5 proportional ist, über einen Resonanzoszillator 21 und einen Frequenzzähler 23 ebenfalls in ein digitales Signal umgewandelt wird. Die beiden Frequenzzähler beziehen ihre Zeitbasis aus einem gemeinsamen Quarzoszillator 21. Die Verknüpfung der beiden elektrischen Signale aus den Frequenzzählern erfolgt in einem Multiplizierglied 24, das gemäss der Gleichung $F = \text{konst.} \cdot B \cdot J$ eine zu der elektromagnetischen Kraft proportionale Grösse bildet.

Das Ausgangssignal des Multipliziergliedes 24 wird in einer Einheit 25 auf die übliche Weise weiterverarbeitet, beispielsweise tariert, gemittelt usw., so dass schliesslich in einer Anzeigeeinrichtung 26 das Messergebnis dargestellt werden kann.

FIG. 1

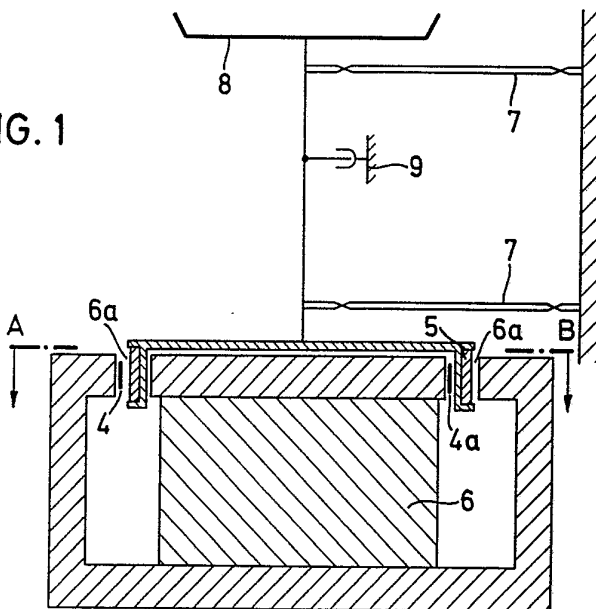


FIG. 2

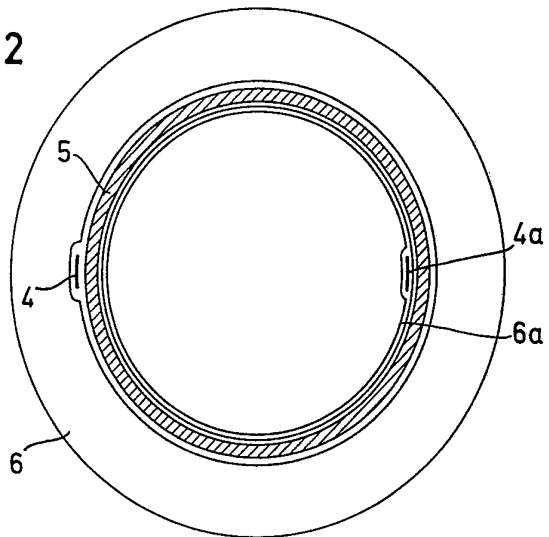


FIG. 3

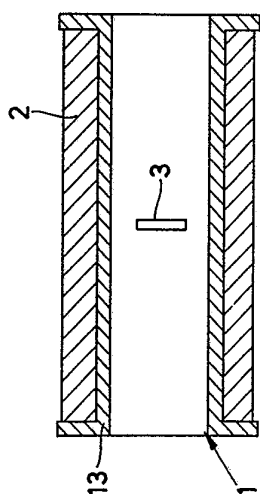


FIG. 4

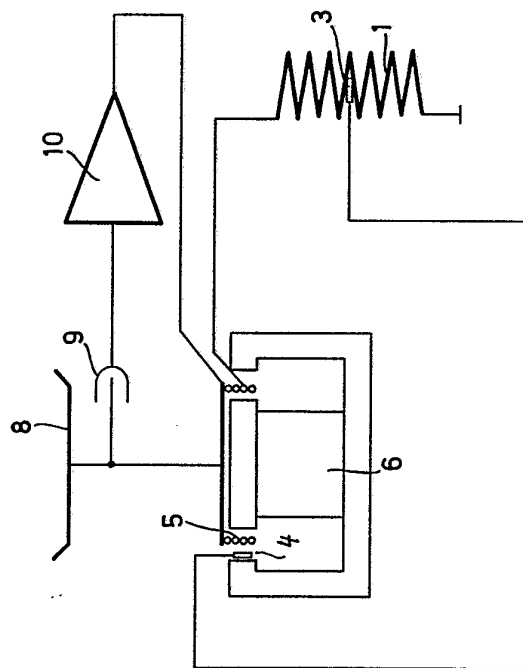
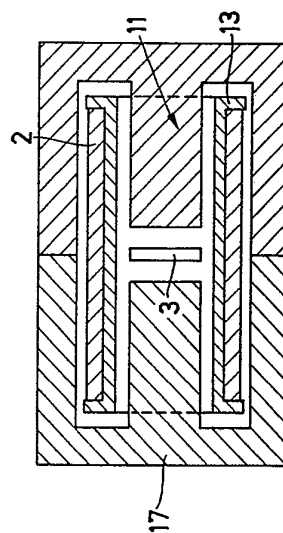


FIG. 5

