



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 42 05 725 B4 2006.05.04**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **P 42 05 725.6**
 (22) Anmeldetag: **25.02.1992**
 (43) Offenlegungstag: **27.08.1992**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **04.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H02K 33/16 (2006.01)**
G01R 5/00 (2006.01)
G01R 1/02 (2006.01)
G01R 1/20 (2006.01)
G02B 26/10 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
660705 25.02.1991 US

(62) Teilung in:
P 42 45 021.7

(73) Patentinhaber:
General Scanning Inc., Watertown, Mass., US

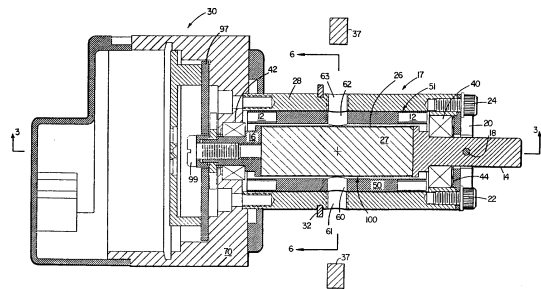
(74) Vertreter:
Wagner, K., Dipl.-Ing.; Geyer, U., Dipl.-Phys.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München

(72) Erfinder:
Montagu, Jean, Brookline, Mass., US

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 28 07 655 C2
DE-PS 14 88 442
DE 37 22 756 A1
DE-OS 17 63 500
US 49 42 322
US 45 33 891
US 43 02 720
US 40 90 112
US 40 76 988
US 34 34 082

(54) Bezeichnung: **Bewegungsmagnetgalvanometer**

(57) Hauptanspruch: Galvanometer (17), das folgendes aufweist:
 einen magnetischen Rotor (100), der geeignet ist zum Drehen um eine Mittelachse (79), und
 einen Stator (51), der den Rotor (100) konzentrisch umgibt und eine Wicklung (12), die zwei Spulen (75) mit jeweils axialen Wicklungsabschnitten (67) aufweist, und eine Hauptsymmetrieebene (73), die durch die Mittelachse (79) geht und die beiden Spulen (75) der Wicklung (12) trennt,
 wobei jede Spule (75) eine sich ändernde Wicklungsdichteverteilung hat, so dass jeder Wicklungsabschnitt (67) zur Hauptsymmetrieebene (73) hin eine geringere Wicklungsdichte aufweist als mit Abstand davon.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf Galvanometer oder Schwingmotoren mit begrenzter Drehung und insbesondere auf die Klasse, die ein signifikantes Drehmoment liefern kann (manchmal als Drehmomentmotoren bezeichnet).

[0002] Eine übliche Verwendung dieser Vorrichtungen ist es, optische Elemente, wie beispielsweise Spiegel, zu betätigen zu Zwecken der Führung von Lichtstrahlen. Diese Art von Vorrichtung wird oft Scanner genannt. Scanner haben einen weiten Drehwinkel von typischerweise mehr als 15 Grad.

[0003] Eines der Bedürfnisse der Industrie ist ein starker und genauer Hochfrequenzscanner zur Betätigung in verschiedenen elektro-optischen Vorrichtungen, wie beispielsweise solche, die zum Gravieren oder Laserbearbeiten von Präzisionswiderständen verwendet werden. Vorrichtungen mit höherer Frequenz gestatten schnellere und/oder präzisere Betätigung.

[0004] Es gibt eine Anzahl von Arten von bekannten Galvanometern. Übliche Arten umfassen die Drehspule oder sogenannte D'Arsonval-Galvanometer, das Dreheisen-Galvanometer und das Drehmagnet-Galvanometer. Jedes hat seine eigenen Eigenschaften und Beschränkungen. Die Erfindung bezieht sich auf die Dreh- oder Bewegungsmagnetbauart.

Stand der Technik

[0005] Drehmagnet-Drehmomentmotoren unterteilen sich in drei verschiedene Grundbauarten. Die erste ist eine Konstruktion mit eingebetteter Spule mit Beispielen in den US-Patenten 4 302 720 und 3 434 082. Sie sind typischerweise Vorrichtungen mit Luftspalt und hoher Induktivität, die gut für ALNICO-Magneten geeignet sind. Die zweite Bauart umfaßt eine Ringspule, die auf einen Metallkern gewickelt ist. Typisch für diese Bauart sind die Drehmomentmotoren von Aeroflex, Clifton and Harowe. Ihre Konstruktion beschränkt sie auf eine relativ geringe Beschleunigung. Typischerweise können sie nicht effizient gewickelt werden, wenn ihre Länge einen Bruchteil des Durchmessers überschreitet. Die dritte Bauart, beispielsweise die Konstruktion des US-Patents 4 076 988, hat eine Drehmagnetvorrichtung, wobei die Spule fest ist und der das Feld definierende Anker sich dreht. Die Erfindung bezieht sich auf diese letzte Klasse von Drehmomentmotoren.

[0006] Die Parameter, die die Leistung eines solchen Motors bestimmen, umfassen das Drehmoment-zu-Trägheit-Verhältnis, das die Beschleunigungsfähigkeit, die elektrische Zeitkonstante, die die Treiber-elektronik belastet, und die erste unkontrollierbare Resonanzfrequenz ausdrückt, welche die Stabilität eines den Motor einbeziehenden Servosystems begrenzt.

[0007] Frühere Konstruktionen von Drehmagnetgalvanometern verwendeten durchgehende Löcher durch das Magnetmaterial zum Klemmen der Wellen an den Magneten. Dies war notwendig, um ein starkes und festes Verhältnis der Wellen zu dem Magnetmaterial sicherzustellen, wenn der Magnet bewegt wird als ein Ergebnis davon, daß er einem sich ändernden Magnetfeld ausgesetzt ist.

[0008] Gewisse wünschenswerte Magnetmaterialien, wie beispielsweise Neodymeisenbor, neigen zu thermischen Ausdehnungskoeffizienten, die unterschiedlich sind entlang verschiedener Achsen des Materials. Deswegen und wegen der unterschiedlichen thermischen Umgebungen, denen diese Vorrichtungen oft ausgesetzt sind, kann sich ein Galvanometerrotormagnet aus dieser Art von Material signifikant in einer Richtung ausdehnen, während er sich signifikant in einer anderen Richtung zusammenzieht.

[0009] Aus US 4 090 112 A ist ein elektrischer Schwingmotor bekannt, bei dem die Spule stationär ist und der das Feld definierende Anker sich dreht. Die Spule ist mit konstanter Dichte gewickelt.

[0010] US 4 533 891 A lehrt, daß die Spulendichte eine Verteilung ähnlich einer Cosinus-Verteilung haben soll. Die Verteilung ist an der Symmetrieebene hinsichtlich der Dichte größer als mit Abstand davon. Schließlich soll eine im wesentlichen konstante Kraftabgabe erreicht werden.

Aufgabenstellung

[0011] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optimiertes Galvanometer vorzusehen, das die Nachteile des Standes der Technik vermeidet und bei dem das auf den Rotor aufgeprägte Drehmoment optimiert ist.

[0012] Diese Aufgabe wird gemäß der vorliegenden Erfindung gelöst durch ein Galvanometer mit den Merkmalen gemäß Anspruch 1. Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0013] Die Erfindung ist vorteilhaft, da sie einen Rotor vorsieht mit kleinem Durchmesser und geringer Trägheit, der schnell beschleunigt werden kann. Dadurch kann der Drehmomentmotor bei hohen Frequenzen betrieben werden, beispielsweise beim optischen Scannen. Ein großer Teil des Volumens innerhalb des Rotors kann aus magnetischem Material bestehen, was zu einem erhöhten Drehmoment bei einem gegebenen Volumen führt. Magnetmaterial mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten entlang verschiedener Achsen können aufgenommen werden. Da der erfindungsgemäße Spulenkörper fest in seiner Lage verankert ist, kann der Rotor schnell beschleunigen, ohne den Spulenkörper aus seiner Lage zubringen. Die Spule des Ständers hat ein Windungsdichtenprofil, das das durch den Motor gelieferte Drehmoment maximiert bei einer gegebenen elektrischen Leistung, da eine größere Menge Kupfer für eine gegebene Anzahl von Windungen verwendet werden kann. Der Spulenkörper kann wirksam auf einer Windungsmaschine gewickelt werden, und da keine Drähte um seine Innenseite gewickelt werden müssen, kann die Spule einen kleinen Durchmesser haben. Da der Lagewandler außerhalb des Raums zwischen den Lagern mit dem Rotor verbunden ist, können die Lager näher beieinander angeordnet werden, wodurch die erste Resonanzfrequenz der Vorrichtung erhöht wird.

Ausführungsbeispiel

[0014] Weitere Vorteile, Ziele und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung; in der Zeichnung zeigt:

[0015] [Fig. 1](#) eine schematische Ansicht eines in einem Laserscanningsystem verwendeten Galvanometers;

[0016] [Fig. 2](#) einen Längsschnitt des Galvanometers und Lagewandlers von [Fig. 1](#), wobei die zugehörigen Befestigungsmittel in einer entfernten Lage gezeigt sind;

[0017] [Fig. 3](#) einen Längsschnitt des Galvanometers und Lagewandlers von [Fig. 1](#) im rechten Winkel zu der Ansicht von [Fig. 2](#), entlang 3-3;

[0018] [Fig. 4](#) eine auseinandergezogene Ansicht des Rotors des Galvanometers der [Fig. 1-Fig. 3](#), wobei der Magnet in der Mitte seines Bewegungsbereichs für die Galvanometerausrichtung von [Fig. 3](#) gezeigt ist;

[0019] [Fig. 5](#) eine Endansicht des Galvanometers und Lagewandlers der [Fig. 1-Fig. 3](#), gesehen von 5-5 und ohne seine Stoppbolzen;

[0020] [Fig. 6](#) einen Querschnitt des Galvanometers der [Fig. 1-Fig. 3](#) entlang 6-6;

[0021] [Fig. 7](#) eine vertikale perspektivische Ansicht des Spulenkörpers des Drehmomentmotors der [Fig. 1-Fig. 3](#), wobei die erste Windung jedes Spulenabschnitts schematisch gezeigt ist und seine Verankerungslöcher weggelassen wurden;

[0022] [Fig. 8](#) eine teilweise vertikale perspektivische Ansicht der unteren Hälfte eines gewickelten Ständers des Drehmomentmotors der [Fig. 1-Fig. 3](#). Die obere Hälfte des Spulenkörpers ist angedeutet und seine Verankerungslöcher wurden weggelassen;

[0023] [Fig. 9](#) eine vertikale Ansicht des Spulenkörpers des Drehmomentmotors der [Fig. 1-Fig. 3](#), mit der unteren Hälfte seiner Wicklungen. Die Figur ist zweigeteilt durch eine Hauptsymmetrieebene und Einzelheiten hinter der Ebene sind gestrichelt gezeigt. Die Verankerungslöcher des Spulenkörpers wurden weggelassen.

[0024] [Fig. 10](#) eine horizontale perspektivische Ansicht des Spulenkörpers von [Fig. 7](#) mit seinen Verankerungslöchern;

[0025] [Fig. 11](#) eine horizontale perspektivische Ansicht eines anderen Ausführungsbeispiels des Spulenkörpers von [Fig. 10](#);

[0026] [Fig. 12](#) eine Endansicht des Spulenkörpers von [Fig. 11](#);

- [0027] [Fig. 13](#) eine isometrische schematische Ansicht einer Rotor- und Spulenanordnung gemäß der Erfindung;
- [0028] [Fig. 14](#) einen schematischen Aufriß des Endes der Anordnung von [Fig. 13](#) mit den Flußlinien (Feldlinien) auf Grund des Rotors;
- [0029] [Fig. 15](#) einen schematischen Aufriß des Endes der Anordnung von [Fig. 13](#) mit den Flußlinien auf Grund der betätigten Spule und des versetzten Rotors;
- [0030] [Fig. 16](#) eine isometrische schematische Ansicht des Rotors und Ständers von [Fig. 13](#);
- [0031] [Fig. 17](#) eine auseinandergezogene Ansicht einer Wicklungsbefestigung gemäß der Erfindung;
- [0032] [Fig. 18](#) ein Endaufriß der Körperteile der Wicklungsbefestigung von [Fig. 17](#);
- [0033] [Fig. 19](#) einen Seitenaufriß der Körperteile der Wicklungsbefestigung von [Fig. 17](#), wobei für beide Teile geltende Einzelheiten nur auf dem oberen Teil gezeigt sind;
- [0034] [Fig. 20](#) einen Seitenaufriß eines Kugelsteckerelements der Wicklungsbefestigung von [Fig. 17](#);
- [0035] [Fig. 21](#) einen Endaufriß einer Kugelsteckerelements der Wicklungsbefestigung von [Fig. 17](#);
- [0036] [Fig. 22](#) eine Reihe von Magnetisierungskurven für Neodymeisenbor;
- [0037] [Fig. 23](#) eine Reihe von Magnetisierungskurven für Samariumkobalt.
- [0038] Bezüglich [Fig. 1](#) umfaßt ein Abtastsystem **10** einen Lagewandler **30**, wie zum Beispiel einen Tachometer oder einen Lagefühler, und einen Drehmomentmotor (Galvanometer) **17**. Der Drehmomentmotor **17** umfaßt eine Abtriebswelle **14**, die an einem Spiegel **15** befestigt ist. Ein Subtraktionskreis **13** ist mit dem Rückkopplungsausgang des Lagewandlers sowie mit dem Eingang eines Verstärkerkreises **11** verbunden. Der Verstärkerkreis **11** hat einen Ausgang, der mit dem Drehmomentmotor **17** verbunden ist. Ein Signal **19** kann an das Subtrahierglied **13** angelegt werden, welches es mit dem Rückkopplungssignal vergleicht, das infolge der Drehbewegung gekoppelt mit dem Lagewandler erzeugt wird. Das sich ergebende Signal wird verarbeitet (z. B. verstärkt) und verwendet, um den Drehmomentmotor zu treiben. Der Drehmomentmotor dreht dann den Spiegel **15** und veranlaßt diesen, in unterschiedliche Richtungen zu reflektieren.
- [0039] Bezüglich der [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 6](#) umfaßt der Drehmomentmotor **17** ein magnetisch durchlässiges äußeres Gehäuse **28**, das einen Ständer **51** hält. Der Ständer ist aus einer Spule **12** aufgebaut, die aus einer großen Vielzahl von Windungen (oder Wicklungen) **31** besteht, die um einen Spulenkörper **50** gewickelt sind. Ein Befestigungsglied **37**, wie zum Beispiel ein Stift oder Bolzen, sitzt in einem Paar von Löchern **60**, **62** in dem Spulenkörper **50** (siehe auch [Fig. 10](#)) und entsprechenden Löchern **61**, **63** in dem äußeren Gehäuse **28**, um den Spulenkörper in seiner Lage zu verankern. Der Spulenkörper ist auch mit einem Kapsel- oder Bindematerial (z. B. einem Epoxidharz) gekapselt oder umgeben, das den Raum zwischen dem Spulenkörper und dem Gehäuse ausfüllt, um einen Wärmeleitpfad zum Ableiten der von der Spule erzeugten Wärme vorzusehen.
- [0040] Der Ständer umgibt einen Rotor **100**, der drehbar auf hinteren und vorderen (oder Abtriebs-) Lagern **42**, **40** befestigt ist, und zwar über seine hinteren bzw. vorderen (oder Abtriebs-) Wellen **16** bzw. **14**. Die Lager sind durch eine Druckscheibe **44** vorbelastet, welche gegen die vorderen Anschläge **20** anliegt. Der Rotor und der Ständer sind durch einen relativ engen Spalt getrennt.
- [0041] Bezüglich der [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 5](#) umfaßt die Abtriebswelle **14** des Rotors **100** einen sich bewegenden Anschlag **18**, der angeordnet ist, um mit den festen Anschlägen **20** in Eingriff zu kommen, um den Bereich der freien Drehung des Drehmomentmotors zu begrenzen. Die festen Anschläge **20** werden durch Bolzen **22**, **24** in ihrer Lage gehalten.
- [0042] Bezüglich der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) ist die hintere Welle **16** mit dem sich drehenden Teil **97** des Lagewandlers **30** verbunden, und zwar gegenüber des Rotors mit Bezug auf das hintere Lager. Die hintere Welle und der sich drehende Teil können durch eine Schraube **99** miteinander verbunden werden, die mit einem Gewinde der hinteren Welle in Eingriff steht.

[0043] Der Drehmomentmotor **17** wird üblicherweise mittels seines Gehäuses **28** eingebaut, wie durch die Schraffierung **23** angedeutet.

[0044] Dies gestattet Wärmeleitung weg von dem Gehäuse, welches typischerweise aus Stahl ist. Der Bezugsanschlag **32** hilft bei diesem Einbau. Der Drehmomentmotor **17** und der Lagewandler **30** können als eine Einheit eingebaut werden.

[0045] Bezüglich [Fig. 4](#) umfaßt der Rotor eine Hülse **26**, die einen Magneten **27** in seiner Lage hält. Die Hülse und der Magnet sind durch ein halb-flexibles Klebemittel zusammengehalten, wie zum Beispiel ein Silikonbindemittel oder Epoxidharz. Halb-flexible Klebemittel neigen zum Fließen unter langsamen Drücken, aber sind starr unter hoher Kraft. Die Wellen **14**, **16** sind in einem im wesentlichen anstoßenden Verhältnis mit der Hülse und dem Magneten. Die End- oder Verdickungsteile **21**, **25** der Wellen sind fest mit der Hülse verbunden (z. B. durch Punktschweißen, Nahtschweißen oder Laserschweißen).

[0046] Es sei bemerkt, daß es wichtiger ist, die Hülse fest mit der Abtriebswelle zu verbinden als sie an der hinteren Welle zu befestigen, da mehr Drehmoment an der Abtriebsverbindung entwickelt wird. Es ist daher möglich, die Hülse und die Abtriebswelle aus einem einzigen Stück herzustellen und die hintere Welle auf eine andere Art zu befestigen. Es ist auch möglich, eine teilweise Hülse zu verwenden, die nicht die gesamte Oberfläche des Magneten bedeckt.

[0047] Diese Rotorbauart mit einer dünnen Hülse hat mehrere Vorteile. Erstens erlaubt sie bei einem gegebenen Volumen innerhalb des Ständers eine große Menge von Magnetmaterial, da die Welle den Magneten nicht durchdringt. Dies ergibt ein stärkeres Feld, als wenn ein Teil des selben Magnetvolumens von einer ebenso wirksamen nicht-magnetischen Welle eingenommen würde. Anders herum kann ein Rotor mit einer gegebenen Feldstärke durch diese Technik kleiner gebaut werden.

[0048] Es ist insbesondere vorteilhaft, Motoren mit kleineren und längeren Rotoren für einen gegebenen Leistungsbedarf herzustellen. Der Grund dafür liegt darin, daß ein Motor mit einem kleinen Durchmesser und einem Rotor von großer Länge ein höheres Drehmoment-zu-Trägheitsmoment-Verhältnis hat als ein gleichwertiger Motor mit einem größeren Durchmesser. Daher kann der Rotor schneller beschleunigen und deshalb mit höheren Frequenzen betrieben werden.

[0049] Bezüglich [Fig. 6](#) ist der Magnet **27** magnetisiert, um allgemein halb-zyklindrische Nord- und Südpole aufzuweisen. Wenn der Rotor in der Mitte seines Bewegungsbereichs ist, wie in der Figur gezeigt, sind die Magnetpole ungefähr entlang einer Hauptsymmetrieebene **73** der Vorrichtung ausgerichtet, welche durch die Mittelachse **79** des Ständers geht. Diese Ebene **73** ist durch die Ausrichtung des Magnetmaterials definiert.

[0050] Da der Magnet mit der Hülse über ein halb-flexibles Klebemittel verbunden ist, können ungleiche thermische Koeffizienten der gewünschten Magnetmaterialien, wie etwa Neodymeisenbor, aufgenommen werden. Eine relativ große Fläche wird zur Verbindung verwendet, da große Kräfte an dieser Verbindung vorhanden sind. Diese Belastungen können ziemlich niedrig gehalten werden, da sie über die gesamte Außenoberfläche des Magneten verteilt werden im Gegensatz zu der kleineren verfügbaren Oberfläche, wenn der Magnet auf einer Achse angeordnet ist.

[0051] Die Hülse kann aus rostfreiem Stahl oder Titan sein und kann ungefähr 2 bis 10 Tausendstel eines Zolls (0,05 bis 0,25 mm) dick sein. Sie hat eine hohe Torsionssteifheit, während sie gleichzeitig einen geringen Teil (z. B. weniger als 10 %) des Trägheitsmoments des Rotors darstellt. Lange Rotoren mit ziemlich kleinem Durchmesser können auf diese Weise hergestellt werden (z. B. bis zu 3/16 eines Zolls (4,76 mm), was eine Bandbreite von mehr als 4 kHz ergibt). Der Rotor des bevorzugten Ausführungsbeispiels hat einen Durchmesser von 0,44 Zoll (11,2 mm) und eine Länge von 1,35 Zoll (34,3 mm), und seine Hülse ist 5 Tausendstel eines Zolls (0,127 mm) dick. Der Rotor wird in einer Zusammenbauvorrichtung zusammengesetzt.

[0052] Der Ständer **51** umgibt den Rotor **100** und umfaßt einen Spulenkörper **50**, der zwei sich axial erstreckende Wicklungshohlräume **71** bildet, wovon jeder definiert ist durch die Innenoberfläche des Gehäuses **28**, die äußere Wicklungsoberfläche **54** des Spulenkörpers **50** und die axialen Oberflächen **65** des Spulenkörpers. Jede aus einer Reihe von Windungen **31** ist durch jeden Wicklungshohlraum **71** geführt, um zwei Spulenteile **75** (siehe auch [Fig. 7-Fig. 9](#)) auf dem Spulenkörper **50** zu bilden.

[0053] Bezüglich der [Fig. 7-Fig. 10](#) umfaßt ein für die Verwendung in der Erfindung passender Spulenkörper einen inneren zylindrischen Teil **52** mit inneren und äußeren Oberflächen **54**, **56**. Zwei gegenüberliegende ab-

geschrägte zylindrische Wicklungsabschnitte **67** ragen aus der Außenoberfläche **54** des inneren zylindrischen Teils. Jeder Wicklungsabschnitt **67** hat radiale Oberflächen **65**, eine Außenoberfläche **57** und Stirnflächen **64**. Allgemein abgeschrägte Übergangsoberflächen **69** trennen die Stirnflächen **64** und die radialen Oberflächen **65**. Der Spulenkörper kann durch Spritzguß eines nicht-leitenden Kunststoffmaterials, wie Nylon, glasgefülltes Nylon, ABS oder ähnlichem hergestellt werden.

[0054] Bezüglich der [Fig. 6-Fig. 10](#) sind die Spulen jeweils auf die Wicklungsabschnitte **67** des Spulenkörpers **50** gewickelt. Dies wird bewerkstelligt durch Wickeln zuerst einer ersten Windung **33** um jeden Wicklungsabschnitt **67**, wie in [Fig. 7](#) gezeigt. Jede dieser Windungen umfaßt ein Paar von umfangsmäßig beabstandeten Schenkeln **93** und ein Paar von Endteilen **91** (siehe [Fig. 7](#)). Weitere ähnliche Windungen **31** werden um die erste Windung **33** gewickelt, um zwei Gruppen **95** von Schenkeln zu erhalten, die die Spulenteile **75** bilden (siehe [Fig. 8](#)).

[0055] Die sich ergebenden Spulenteile sind symmetrisch bezüglich einer Hauptsymmetrieebene **73**, wie in [Fig. 6](#) und [Fig. 9](#) gezeigt. Die zwei Spulenteile können in demselben Vorgang unter Verwendung desselben Drahtes gewickelt werden, oder sie können aufeinanderfolgend gewickelt werden und in Serie verbunden werden. Die Orientierung dieser Spule und die relative magnetische Orientierung des Rotors sind schematisch in [Fig. 13](#) gezeigt.

[0056] Beim Betrieb wird Strom durch die Spule **50** geleitet, der ein Magnetfeld erzeugt, das mit dem Feld des Rotormagneten **27** zusammenwirkt und dadurch ein Drehmoment auf den Rotor ausübt. Die Feldlinien auf Grund des Rotors allein sind in [Fig. 14](#) gezeigt, und die Feldlinien auf Grund der Wechselwirkung der Felder sind in [Fig. 15](#) gezeigt.

[0057] Es wird unten gezeigt, daß ein Drehmoment erzeugt wird, wenn der Magnet und die Spule in einem in den Figuren gezeigten Verhältnis stehen. Diese Beziehung steht in einem 90°-Winkel bezüglich der Ausrichtung, die in dem US-Patent 4 076 998 gezeigt ist. Die Größe des auf den Rotor **100** ausgeübten Drehmoments wird abhängen von der Größe des durch die Spule erzeugten Feldes. Mehr Windungen werden ein stärkeres Feld liefern und es ist daher vorteilhaft, Wicklungen in der gesamten umfangsmäßigen Ausdehnung des Wicklungshohlraums **71** anzuordnen. Wie auch unten gezeigt wird, optimiert ein Vorsehen einer variablen radialen Wicklungsdichte, wie in [Fig. 6](#), [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) gezeigt, weiter das Drehmoment für eine gegebene Hohlraumgeometrie.

[0058] Mit allgemeinem Bezug auf die [Fig. 13-Fig. 16](#) und [Fig. 22-Fig. 23](#) soll zuerst gezeigt werden, daß das Feld innerhalb des Spalts eines Permanentmagneten aus weitgehend anisotropem Material und eine Schale aus weichmagnetischem Material bezüglich der Pole des Magneten einen Wert:

$$B = K B_r \cos \theta \quad (1)$$

hat, der von dem Winkel θ zwischen der Achse der Magneten und dem Durchmesser, auf dem das Segment **47** liegt (d. h. 45°), abhängt. B_r ist eine konstante Restinduktivität des Magneten **26**, und K ist eine dimensionslose Konstante (typischerweise zwischen 0,5 und 1), die von der Geometrie und dem speziellen, ausgewählten magnetischen Material abhängt sowie auch von den Bedingungen der Schale (Gehäuse **28**).

[0059] Bezüglich insbesondere der [Fig. 16](#) und [Fig. 22](#) ist die Herleitung von Gleichung (1) wie folgt:

[0060] Die magnetischen Eigenschaften eines anisotropen Seltenerdsmagneten in einem typischen Betriebsbereich können angenähert werden durch

$$B_m = +H_m B_r / H_c + B_r \quad (2)$$

wobei B_m die Induktion ist, H_m die Feldstärke, B_r die Restinduktivität und H_c die Koerzitivkraft ist.

[0061] Die Anwendung von Ampere's Gesetz, $\int H \cdot dl = NI$ entlang des Pfades q-r-s-t von [Fig. 16](#), ergibt unter der Annahme, daß keine Ströme vorhanden sind:

$$H_a \cdot g + H_m \cdot d \cdot \cos \theta = 0 \quad (3)$$

wobei H_a die magnetische Feldstärke in dem Luftspalt **59** ist, d der Durchmesser des Magneten **27** und g die Breite des Spalts **59** ist.

[0062] Gauss's Gesetz $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{a} = 0$ kann angewendet werden auf die elementare Axialoberfläche des Volumens, das durch die Punkte a, a', p, p', n, n', e, e' definiert wird, und zwar dort, wo das Material ausreichend anisotrop ist, so daß das Feld nur die Grenzen der Oberfläche a a' p p' und der Oberfläche e e' n n' schneidet. Dies ergibt:

$$B_m \cdot dA_m = B_a \cdot dA_a \quad (4)$$

wobei der Index "a" beim Abschnitt n n', p p' sich auf den Luftspalt bezieht und der Index "m" sich auf das Magnetmaterial bezieht. Wegen $dA_m = dA_a \cdot \cos \theta$ wird Gleichung (4) zu

$$B_m \cdot \cos \theta = B_a \quad (5)$$

[0063] In dem Luftspalt gilt

$$B_a = \mu H_a \quad (6)$$

wobei μ die Permeabilität von Luft ist.

[0064] Gleichungen (2) und (5) ergeben zusammen:

$$B_a / \cos \theta = B_r (1 + H_m / H_c) \quad (7)$$

und Gleichungen (3) und (6) ergeben zusammen

$$2gB_a / \mu + H_m \cdot d \cos \theta = 0 \quad (8)$$

[0065] Gleichungen (7) und (8) werden vereinfacht zu

$$B_a = B_r \cos \theta / (1 + B_r / \mu H_c \cdot 2g/d) \quad (9)$$

[0066] Die meisten Seltenerdmetalle haben $B_r / \mu H_c = 1,1$ und wenn g/d klein ist, typischerweise weniger als 0,3, vereinfacht sich Gleichung (9) zu

$$B_a = K \cdot B_r \cos \theta \quad (10)$$

wobei $0,5 < K < 1$, was das gleiche ist wie die Gleichung (1) (siehe auch US-Patent No. 4 959 568 mit dem Titel "Dynamically Tunable Resonant Device with Electric Control").

[0067] Es folgt die Herleitung des Drehmoments, das auf den Magnetrotor bezüglich des Schalen-Ständers ausgeübt wird.

[0068] Zum Zwecke der Bestimmung des Drehmoments sei angenommen, daß der Magnet und die Schale stationär sind, und das Drehmoment auf einen einzigen Leiter, wie in [Fig. 13](#) gezeigt, wird berechnet. Das Drehmoment ist gegeben durch die Lorentz-Gleichung

$$T = BL i D/2 \quad (11)$$

wobei B das Magnetfeld ist an der Leiterstelle auf einem Basisdurchmesser D. Die aktive Länge des Magneten ist L.

[0069] Zu jedem Drehmoment gibt es eine gleiche und entgegengesetzte Gegenkraft. Wenn die Spule als Bezug benutzt wird, wirkt das gleiche Drehmoment auf die Magnet-Schalen-Kombination.

[0070] Da die Schale konzentrisch mit dem Magneten ist und sowohl unpolarisiert als auch isotrop, ist die winkelmäßige Lage des Magnetfelds allein durch den Magneten bestimmt. Alles Drehmoment wirkt zwischen der Spule und dem Magneten. Durch Anordnen der Spule an dem Gehäuse wirkt das Drehmoment zwischen dem Gehäuse und dem Magneten. Es ist notwendig, die Spule an der Schale richtig zu verankern und zu beachten, daß der Anker dem gesamten Drehmoment der Einrichtung ausgesetzt sein wird. Dieses feste Verankern wird durch die Befestigungsmittel **37** ausgeführt, die in den Löchern **60, 61, 62, 63** in dem Spulenkörper und dem Gehäuse angebracht sind.

[0071] Bei Betrachtung einer Spule mit gleichförmiger Dichte von Windungen, ausgedrückt als $N/2\alpha_0$, wobei N die Gesamtzahl der Windungen und α_0 der Halbwinkel des Wicklungshohlraums, wie in [Fig. 15](#) gezeigt ist, wird das gesamte Drehmoment auf den Rotor als das Integral des Drehmoments auf jeden Leiter abgeleitet.

[0072] Unter Beachtung, daß das Feld B für jeden Leiter an der Stelle α eine Funktion von γ und θ ist und daß für jede Winkelposition γ des Rotors die folgende Beziehung besteht;

$$\theta = \alpha - \gamma \quad (12)$$

wird das Drehmoment ausgedrückt als:

$$T = \frac{KBrLNiD}{2\alpha_0} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} \cos(\alpha - \gamma) d\alpha \quad (13)$$

welche vereinfacht wird zu:

$$T = KBrLNiD \frac{\sin\alpha_0}{\alpha_0} \cos\gamma \quad (14)$$

[0073] Es ist offensichtlich, daß $\sin \alpha_0/\alpha_0$ einen Maximalwert hat für ein kleines α_0 . Leider bewirkt dies, daß der Widerstand proportional für eine gegebene Anzahl von Windungen N ansteigt, da der Draht eine kleinere Abmessung haben muß, um in den kleinen Raum, der durch das kleine α_0 definiert ist, zu passen. Praktischerweise muß daher α_0 so groß wie möglich sein. Wenn α_0 zu 90° gemacht wird, ist $\sin \alpha_0/\alpha_0 = 0,82$. Bei $\alpha_0 = 60^\circ$ ist $\sin \alpha_0/\alpha_0 = 0,87$.

[0074] Mit einer veränderbaren Spulendichte ist es möglich, den $\sin \alpha_0/\alpha_0$ Term zu beseitigen ($\sin \alpha_0$ ist immer weniger als 1).

[0075] n sei die Windungsdichte und

$$2n = N/\alpha_0 \cos\alpha \quad (15)$$

[0076] Gleichung 13 wird zu

$$T = \frac{KBrLNiD}{2\alpha_0} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} [\cos(\alpha - \gamma) / \cos\alpha] d\alpha \quad (16)$$

was vereinfacht wird zu:

$$T = \frac{KBrLNiD}{\alpha_0} \cos\gamma \quad (17)$$

[0077] In der Praxis führt das dazu, eine Spule zu wickeln, bei der die Wicklungsdichte in der Mitte weniger ist als an den Rändern. Wenn sich die Windungen zwischen $\pm 45^\circ$ erstrecken, sollte die Mitte eine Dichte von 71 % der von den Rändern haben. Eine Konstruktion nach (17) mit $\alpha_0 = 45^\circ$ erzeugt ein Drehmoment, das ungefähr 40 % größer ist als das einer Spule mit gleichförmiger Dichte für einen gegebenen Leistungsverbrauch.

[0078] Diese variierte Dichte ist schematisch in [Fig. 6](#) und [Fig. 9](#) gezeigt, wobei gesehen werden kann, daß weniger Drähte bei der Hauptsymmetrieebene **73**, die die zwei Spulenteile **75** trennt, vorhanden sind und mehr Drähte an den radialen Seitenoberflächen des Spulenkörpers weg von dieser Ebene. Es sei bemerkt, daß die Verteilung nicht (17) genau folgen muß, um in den Genuß der Vorteile der Erfindung zu kommen, aber eine bessere Annäherung wird zu besseren Ergebnissen führen.

[0079] Diese Art von Spule kann leicht auf den Spulenkörper **50** gewickelt werden unter Verwendung einer Wickelmaschine, da die Drähte während des Wickelns nicht durch den langen, engen zylindrischen Teil geführt werden müssen. Daher können Motoren mit einem großen Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis (z. B. weit über

1) wirksam hergestellt werden.

[0080] Bezüglich der [Fig. 17-Fig. 21](#) umfaßt eine Wickelvorrichtung, die eine variable Wicklungsdichte erlaubt, ein Paar von Körperteilen **82**, ein Paar von Kugelsteckern **84** und ein Vorrichtungsbefestigungsmittel **77**, wie zum Beispiel einen Bolzen **86** und eine zugehörige Mutter **88** und Unterlegscheibe **87**. Die Körperteile sind im wesentlichen Abschnitte eines Zylinders, und jedes hat gekrümmte Enden **90** und ein Loch **92**. Die Kugelstecker **84** umfassen jeweils eine Nase **104** und einen halb-zylindrischen Abschnitt **106** mit einem Loch **108**. Die Vorrichtungsbefestigungsmittel gestatten, daß die Innenoberflächen der Körperteile um den Spulenkörper geklemmt werden und halten die Kugelstecker innerhalb des Spulenkörpers in ihrer Lage.

[0081] Die gekrümmten Stirnflächen **90** des Körpers und die gekrümmte Nase **104** der Kugelstecker führen den Draht, während er durch die Wickelmaschine auf den Spulenkörper gewickelt wird, um die oben beschriebene inverse Cosinus-Verdrahtungsdichteverteilung zu ergeben. Die tatsächlich erreichte Verteilung wird eine Funktion sein des Kugelsteckerdurchmessers **110**, des Abstandes zwischen den Körperteilen und der Formen der Kurven auf diesen Teilen. Diese Parameter werden auch mit anderen Variablen, wie zum Beispiel der Art der verwendeten Wickelmaschine, seiner Wicklungsgeschwindigkeit und Spannung und der Größe des Drahtes zusammenwirken. Es ist wirksam, diese Parameter durch eine kurze Reihe von Versuch-und-Irrtum- (trial-and-error-) Experimenten für eine gegebene Wickelmaschine und Spulenkörperkonstruktion zu bestimmen.

[0082] [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) zeigen ein alternatives Ausführungsbeispiel des Spulenkörpers. In diesem Ausführungsbeispiel erstrecken sich ringförmige Segmentendglieder **58** von ihren Wicklungsabschnitten **55** an jedem Ende jedes Wicklungsabschnittes, und es sind keine allgemein abgeschragten Übergangsoberflächen vorhanden. Alternativ kann der Spulenkörper aus zwei Teilen hergestellt werden, die separat gewickelt werden und zusammengebaut werden vor dem Einkapseln.

[0083] Das aufgezeigte Galvanometer besitzt somit einen fest gebauten Rotor mit geringem Durchmesser, der eine große Menge von Magnetmaterial innerhalb seiner relativ dünnen Hülse umfaßt. Es hat auch eine Spule, die leicht zu wickeln ist und lang und schmal ist und ein optimiertes Dichteprofil besitzt. Des weiteren erlaubt das Anordnen der Verbindung zu dem Lagewandler außerhalb des Raums zwischen den Lagern, daß die Lager näher beieinander gehalten werden können, was die erste Resonanzfrequenz erhöht. Diese Merkmale liefern eine beträchtliche Verbesserung beim maximalen Ausgangsdrehmoment und der Bandbreite der kompakten Einrichtung.

[0084] Wegen dieser großen Leistungsverbesserung ist es notwendig, den Spulenkörper mit einem Befestigungsmittel fest in seiner Lage zu verankern, um ihn an einer Bewegung zu hindern, wie oben beschrieben. Dieses Befestigungsmittelanordnungssystem sieht eine größere Stärke vor als Einkapseln allein, insbesondere für Spulenkörper mit kleinen Durchmessern, wo es eine kleinere Fläche zu kapseln gibt. Dieses Befestigungssystem verhindert damit, daß die Spule von dem Gehäuse loskommt oder sich innerhalb des Gehäuses bewegt, wie es sein könnte, wenn sie hohen magnetischen Kräften ausgesetzt wird.

[0085] Ebenso ist es vorteilhaft, da die verbesserte Beschleunigung gestattet, daß der Rotor stärker an die Anschläge auftrifft, daß die Verbindung zwischen der Abtriebswelle **14** und der Hülse **26** und zwischen der Hülse **26** und dem Magnet **27** stark ist.

[0086] Die vorliegende Gesamtkonstruktion ist vorteilhaft im Vergleich zu einer Dreheiseneinrichtung mit ähnlichen Eigenschaften. Eine Dreheiseneinrichtung wird das gleiche Drehmoment-zu-Trägheitsmoment-Verhältnis haben, aber die Induktivität der Einrichtung wird um einen Faktor **10** geringer sein. Um eine Einrichtung von vergleichbarer Größe zu einer Dreheiseneinrichtung herzustellen, ist es notwendig, ein magnetisches Material zu verwenden, das eine magnetische Energie hat von ungefähr mindestens 25×10^6 Gauss Oersted. Neodymenbor und Samariumkobalt besitzen diese Eigenschaften. Die elektrische Zeitkonstante und die erste unkontrollierbare Resonanzfrequenz werden auch günstig durch diese verminderte Induktivität beeinflusst.

Patentansprüche

1. Galvanometer (**17**), das folgendes aufweist:
 einen magnetischen Rotor (**100**), der geeignet ist zum Drehen um eine Mittelachse (**79**), und
 einen Stator (**51**), der den Rotor (**100**) konzentrisch umgibt und eine Wicklung (**12**), die zwei Spulen (**75**) mit jeweils axialen Wicklungsabschnitten (**67**) aufweist, und
 eine Hauptsymmetrieebene (**73**), die durch die Mittelachse (**79**) geht und die beiden Spulen (**75**) der Wicklung (**12**) trennt,

wobei jede Spule (75) eine sich ändernde Wicklungsdichteverteilung hat, so dass jeder Wicklungsabschnitt (67) zur Hauptsymmetrieebene (73) hin eine geringere Wicklungsdichte aufweist als mit Abstand davon.

2. Galvanometer nach Anspruch 1, wobei der magnetische Rotor (100) auf seiner Oberfläche in zwei im wesentlichen halb-zylindrische Pole polarisiert ist, wobei die Pole des Rotors (100) in der Mitte des Bewegungsbereichs des Galvanometers im wesentlichen in Richtung der Hauptsymmetrieebene (73) ausgerichtet sind, wobei jede der Spulen (75) durch eine große Vielzahl von leitenden Windungen (31) definiert ist; und wobei jede Windung (31) aus leitenden Seitenschenkeln (93), die sich entlang der Länge des Rotors (100) erstrecken, und leitenden Endteilen (91), die mit den entsprechenden Seitenschenkeln (93) der Windung (31) verbunden sind, besteht, wobei die ersten und zweiten Seitenschenkel (93) der Windung (31) zusammen gruppiert sind in entsprechende erste und zweite Gruppen (95) von leitenden Schenkeln, wobei die Gruppen (95) umfangsmäßig voneinander beabstandet sind, wobei die Schenkel (93) jeder Gruppe (95) von Windungen jeder Spule (75) in einer Verteilung angeordnet sind, die an einem Punkt beginnt, der der radialen Oberfläche (65) eines Spulenkörpers (50), auf den jede Spule (75) gewickelt ist, entspricht, und die sich durchgehend im wesentlichen zu der Hauptsymmetrieebene (73) erstreckt.

3. Galvanometer nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Rotor (100) ein frei drehbarer Rotor ist.

4. Galvanometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verteilung näherungsweise eine reziproke Cosinusverteilung ist.

5. Galvanometer nach Anspruch 4, wobei die Verteilung bestimmt ist durch

$$T = \frac{KBrLNiD}{\alpha_0} \cos \gamma$$

wobei folgendes gilt:

T = die Drehmomentausgangsgröße des Galvanometers,
 Br = die konstante Restinduktivität des magnetischen Rotors,
 K = eine dimensionslose Konstante,
 L = die magnetische Rotorlänge,
 N = die Anzahl der Windungen in der Wicklung,
 i = der Strom durch die Wicklung,
 D = der Basisdurchmesser, an dem die Leiter angeordnet sind,
 α_0 = der Halbwinkel des Spulenhohlraums, und
 γ = die winkelmäßige Lage des Rotors.

6. Galvanometer nach Anspruch 4, wobei die Wicklungsdichteverteilung sich über einen Bereich von +/- 45 ° bezüglich der Hauptsymmetrieebene (73) erstreckt und wobei jede der Spulen (75) an der Hauptsymmetrieebene (73) eine Dichte von ungefähr 70 % der an den äußeren Grenzen des Bereichs anzutreffenden Dichte hat.

7. Galvanometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Spulenkörper (50), auf die die Spulen (75) gewickelt sind, folgendes aufweisen: einen zylindrischen Teil (52) mit inneren und äußeren zylindrischen Oberflächen (54, 56), zwei zylindrische Wicklungsabschnitte (67), die aus der Außenoberfläche (54) auf gegenüberliegenden Seiten des zylindrischen Teils (52) ragen und jeweils eine äußere Oberfläche (57), radiale Längsoberflächen (65) und erste und zweite Stirnflächen (64) haben, wobei die Mittelachse (79) der zylindrischen Abschnitte (67) und die des zylindrischen Teils (52) im wesentlichen kollinear sind, wobei diese Oberflächen geeignet sind, die Spulen (75) aufzunehmen.

8. Galvanometer nach Anspruch 7, wobei der Spulenkörper (50) so aufgebaut ist, daß er einen Wärmeleitpfad zur Ableitung von durch die Spule (75) erzeugter Wärme bildet.

9. Galvanometer nach Anspruch 7, wobei die zylindrischen Wicklungsabschnitte (67) ein Paar von Verankerungslöchern (60, 62) zur Aufnahme eines Befestigungsmittels (37), das den Spulenkörper (50) in seiner Lage hält, definieren.

10. Galvanometer nach Anspruch 7, wobei die zylindrischen Wicklungsabschnitte (67) des weiteren allgemein abgeschrägte Übergangsoberflächen (69) zwischen den radialen Flächen (65) und den Stirnflächen (64) aufweisen.

11. Galvanometer nach Anspruch 7, wobei die zylindrischen Wicklungsabschnitte (55) jeweils des weiteren ringförmige Segmentendglieder (58) aufweisen, die sich von den Wicklungsabschnitten (55) an jedem Ende jedes Wicklungsabschnittes aus erstrecken.

12. Galvanometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche in Form eines Drehmagnetscanners (10) geeignet zum Antreiben eines optischen Elements (15), wie eines Spiegels, in einer drehenden Schwingbewegung, wobei das Galvanometer folgendes aufweist:

ein feststehendes äußeres Gehäuse (28), einen Stator (51), der mit strukturellem Kapsel- oder Verbindungsmaterial mit der Wicklung (12) gekapselt ist, die um den Spulenkörper (50) gewickelt ist, der innerhalb des Gehäuses (28) angeordnet ist, wobei der Stator ein Verankerungsloch (61, 63) aufweist, das zu dem Gehäuse (28) hin angeordnet ist,

ein starres Befestigungsmittellelement (37), das in das Loch (61, 63) eingepaßt ist und sich zu dem Gehäuse (28) hin erstreckt und den Ständer (51) an dem Gehäuse (28) verankert, um eine relative Drehbewegung dazwischen zu verhindern, und zwar während der Beschleunigung des Scanners, während der Reaktivkräfte auf die Wicklung (12) ausgeübt werden.

13. Galvanometer nach Anspruch 12, wobei das Befestigungsmittel ein sich axial erstreckendes Element in der Form eines Stiftes oder Bolzens (37) ist.

14. Galvanometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Rotor (100) einen Durchmesser von ungefähr einem halben Zoll (1,27 cm) oder kleiner aufweist.

15. Galvanometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Rotor (100) einen Durchmesser von ungefähr 3/16 eines Zolls (0,48 cm) oder kleiner aufweist.

16. Galvanometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Rotor (100) eine Länge hat, die größer ist als sein Durchmesser.

17. Galvanometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Rotor (100) eine Länge hat, die ungefähr 3mal so groß ist wie sein Durchmesser.

18. Galvanometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Galvanometer ferner folgendes aufweist:

eine Abtriebswelle (14) und eine hintere Welle (16) an entgegengesetzten Enden des Rotors (100), ein Abtriebslager (40) zur Verbindung an eine äußere Last, wobei das Abtriebslager (40) die Abtriebswelle (14) drehbar hält,

ein hinteres Lager (42), das die hintere Welle (16) drehbar hält, wobei das Lager (42) an dem entgegengesetzten Ende des Rotors (100) zu dem Abtriebslager (40) angeordnet ist, und

einen Lagewandler (30), der mit dem Rotor (100) verbunden ist zur Erzeugung eines Rückkopplungssignals infolge der Drehung des Rotors (100), wobei der Lagewandler (30) mit dem Rotor (100) außerhalb des Raumes zwischen den Lagern (40, 42) verbunden ist, um die Entfernung zwischen den Lagern zu minimieren und folglich die erste Resonanzfrequenz des Rotors günstig zu beeinflussen.

19. Galvanometer nach Anspruch 18, wobei der Lagewandler (30) auf der hinteren Welle (16) angebracht ist.

20. Galvanometer nach Anspruch 19, wobei der Lagewandler (30) auf der hinteren Welle (16) durch eine Schraube (99), die mit einem Gewinde in der hinteren Welle (16) in Eingriff steht, befestigt ist.

Es folgen 15 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

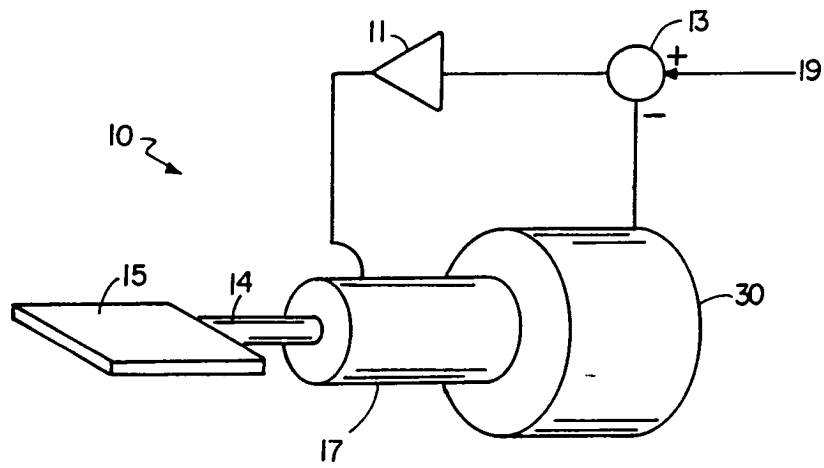


FIG. 1

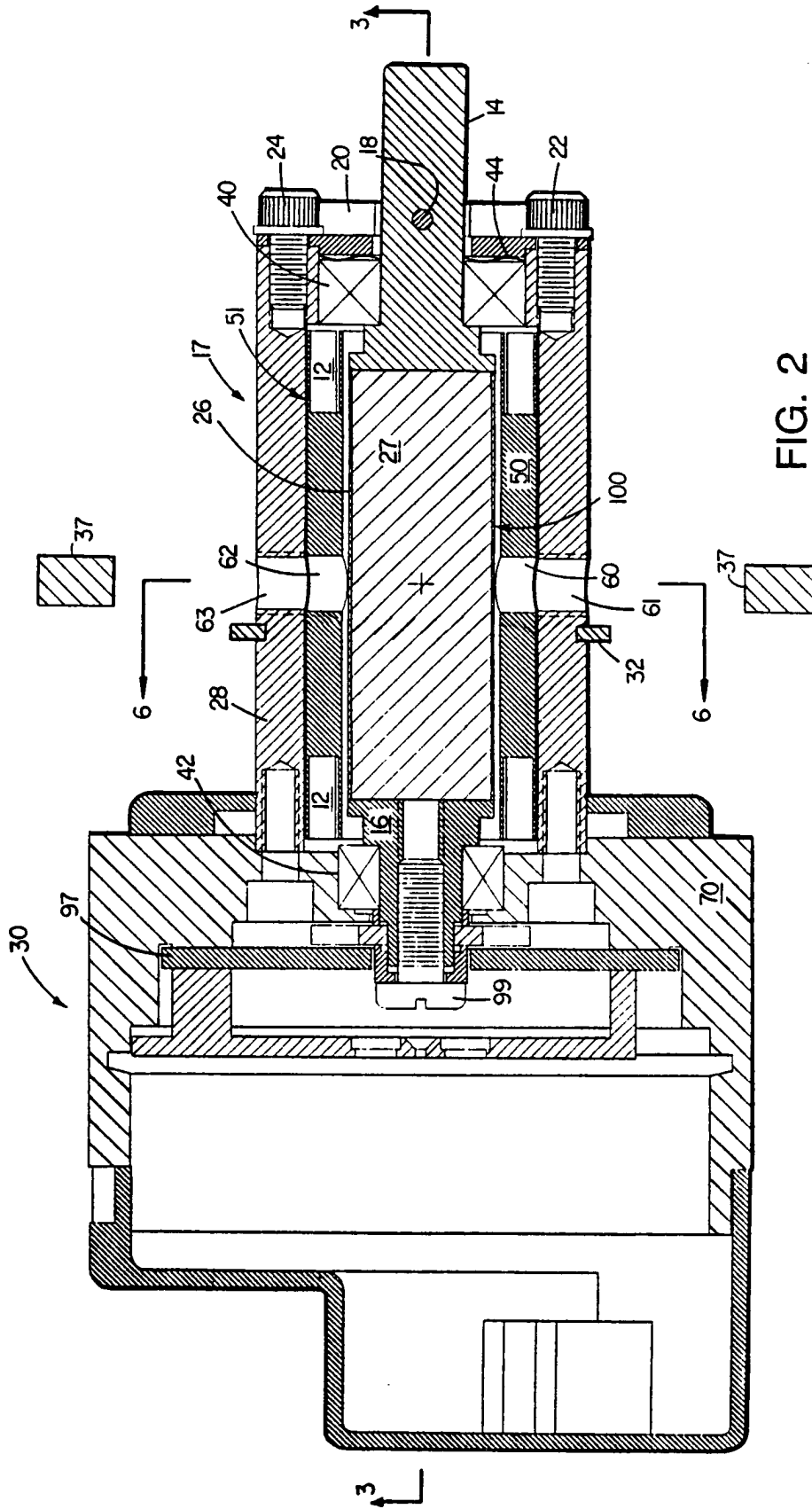
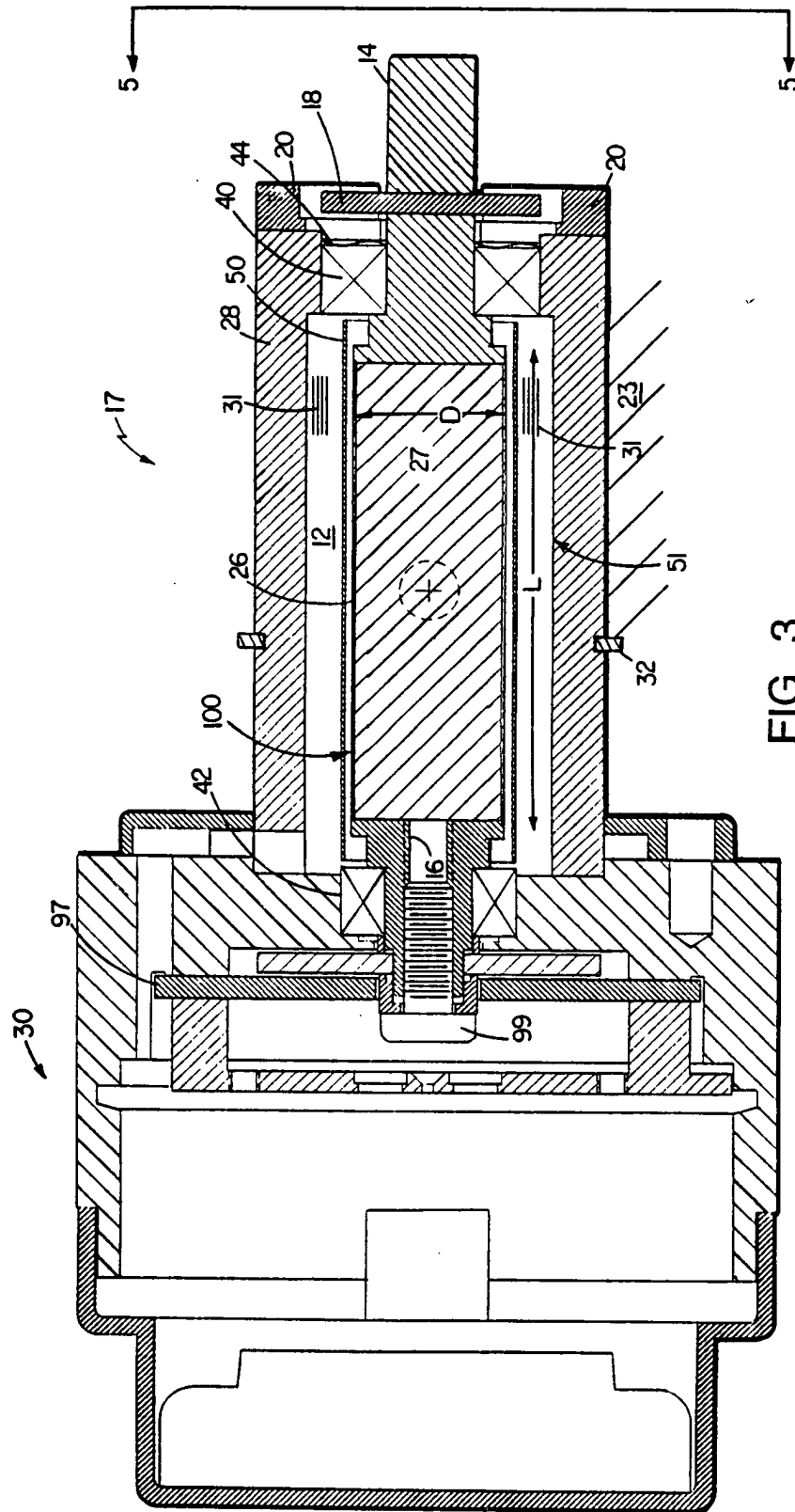


FIG. 2



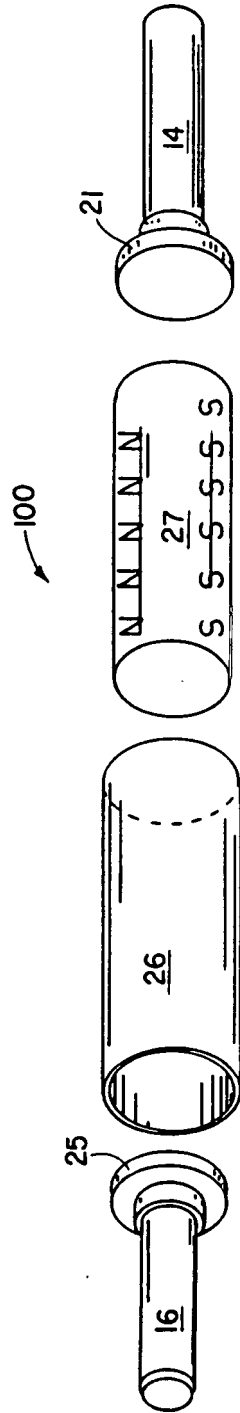


FIG. 4

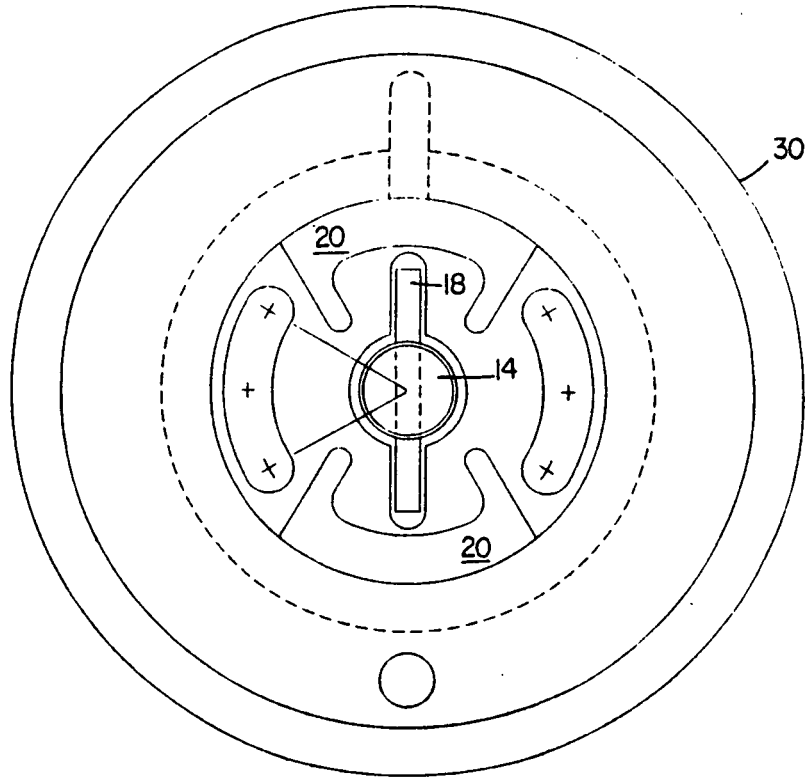


FIG. 5

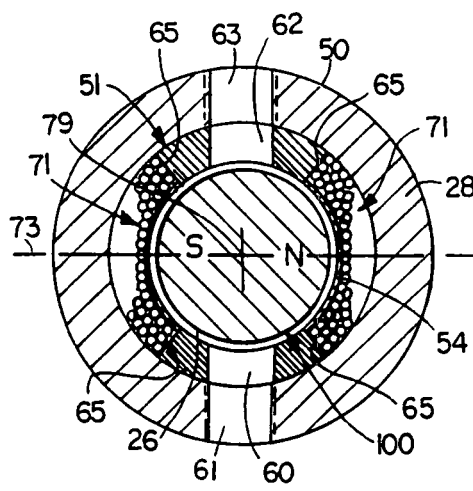


FIG. 6

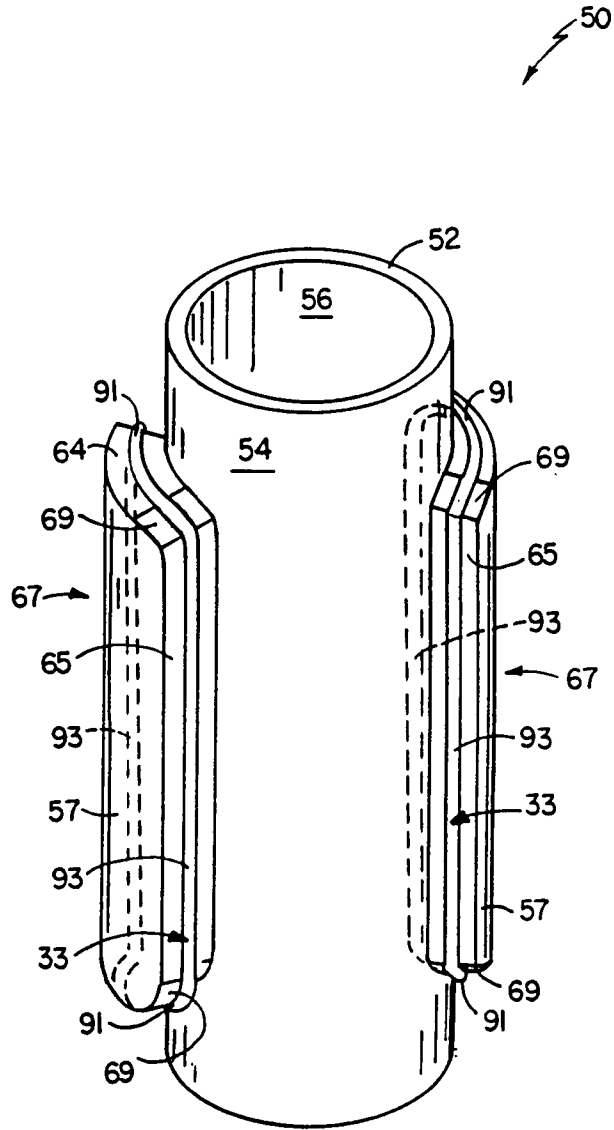


FIG. 7

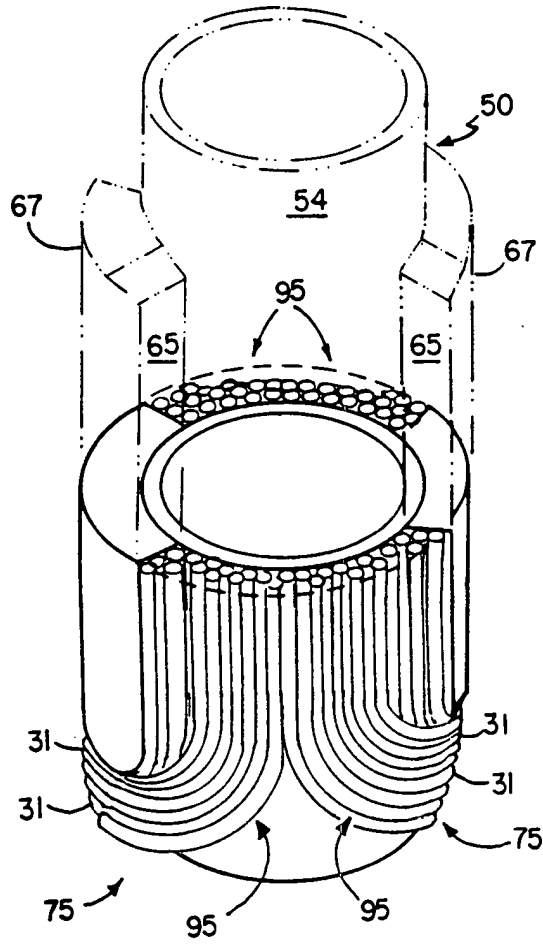
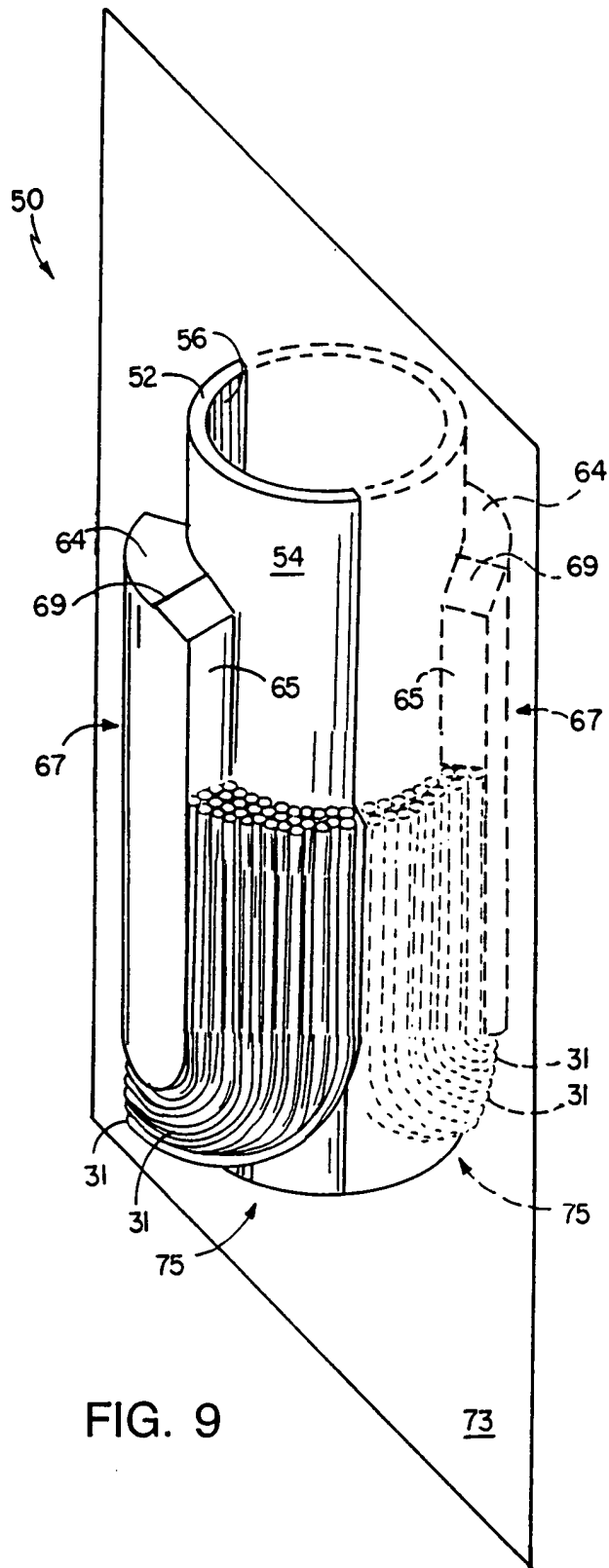


FIG. 8



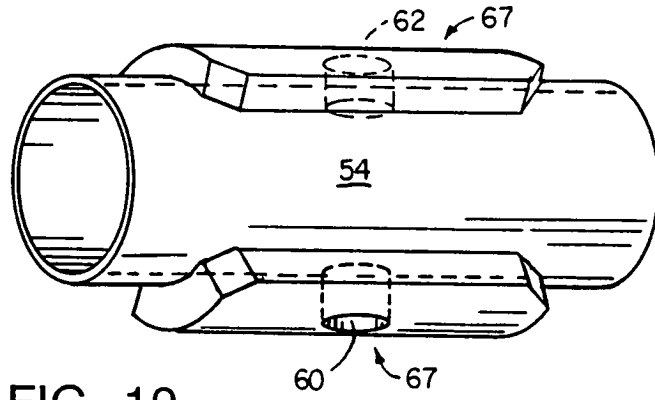


FIG. 10

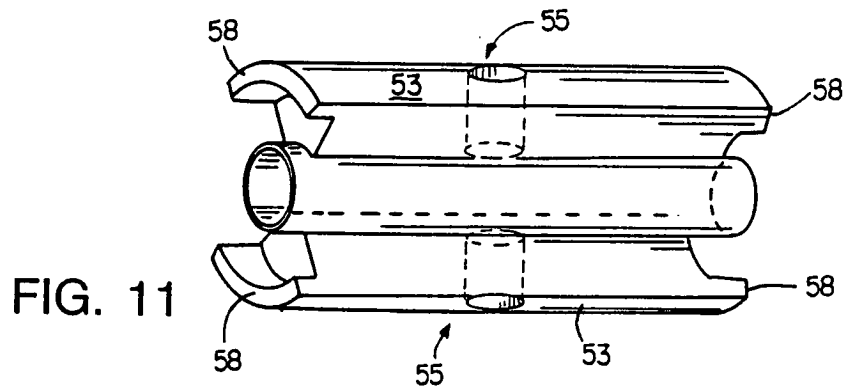


FIG. 11

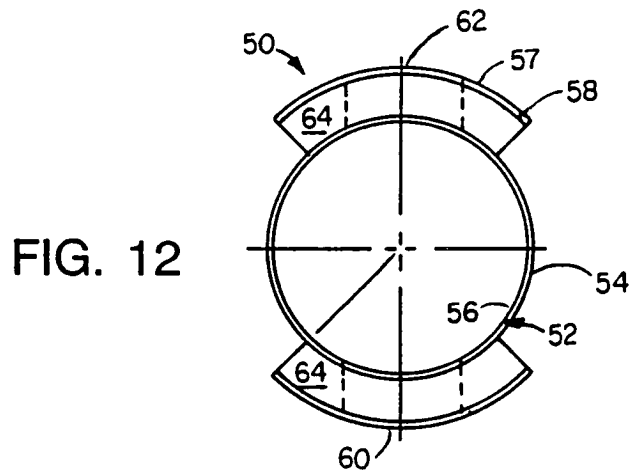


FIG. 12

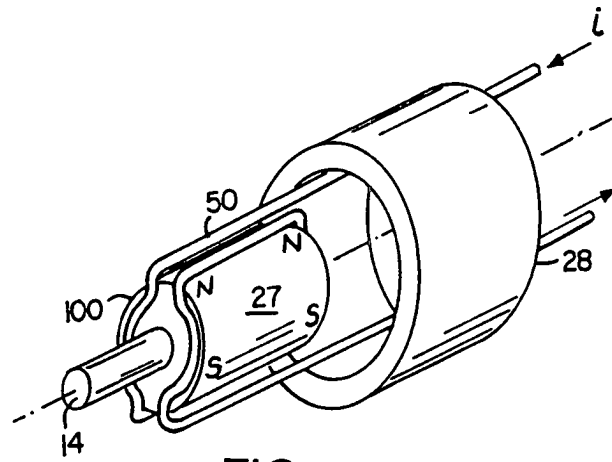


FIG. 13

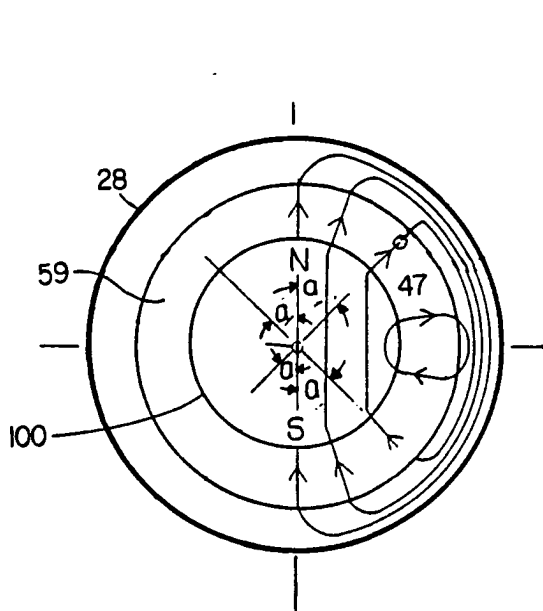


FIG. 14

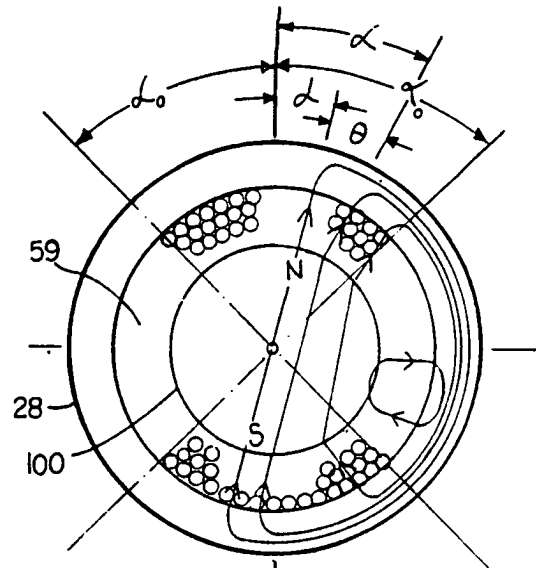


FIG. 15

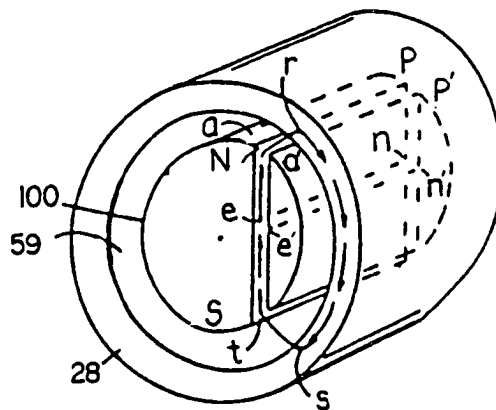


FIG. 16

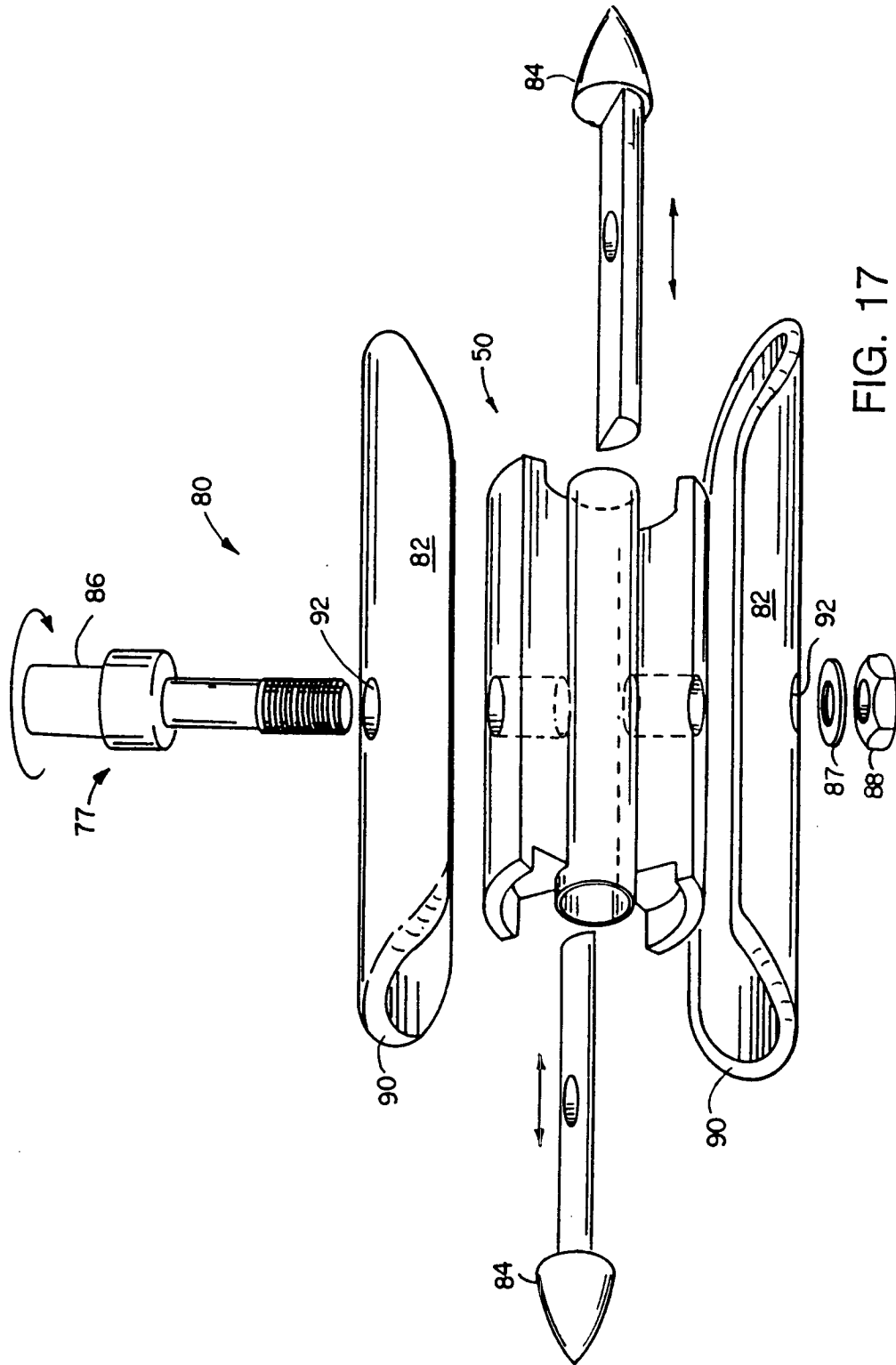


FIG. 17

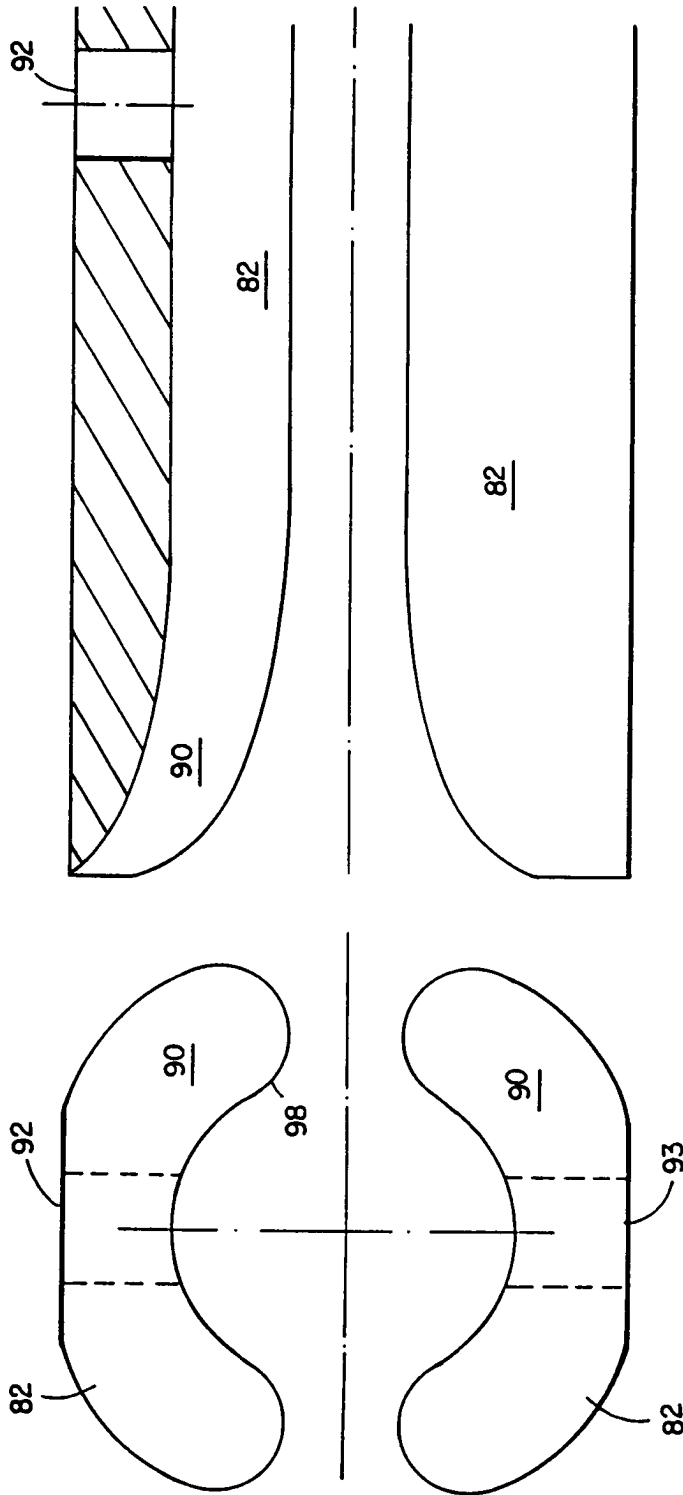
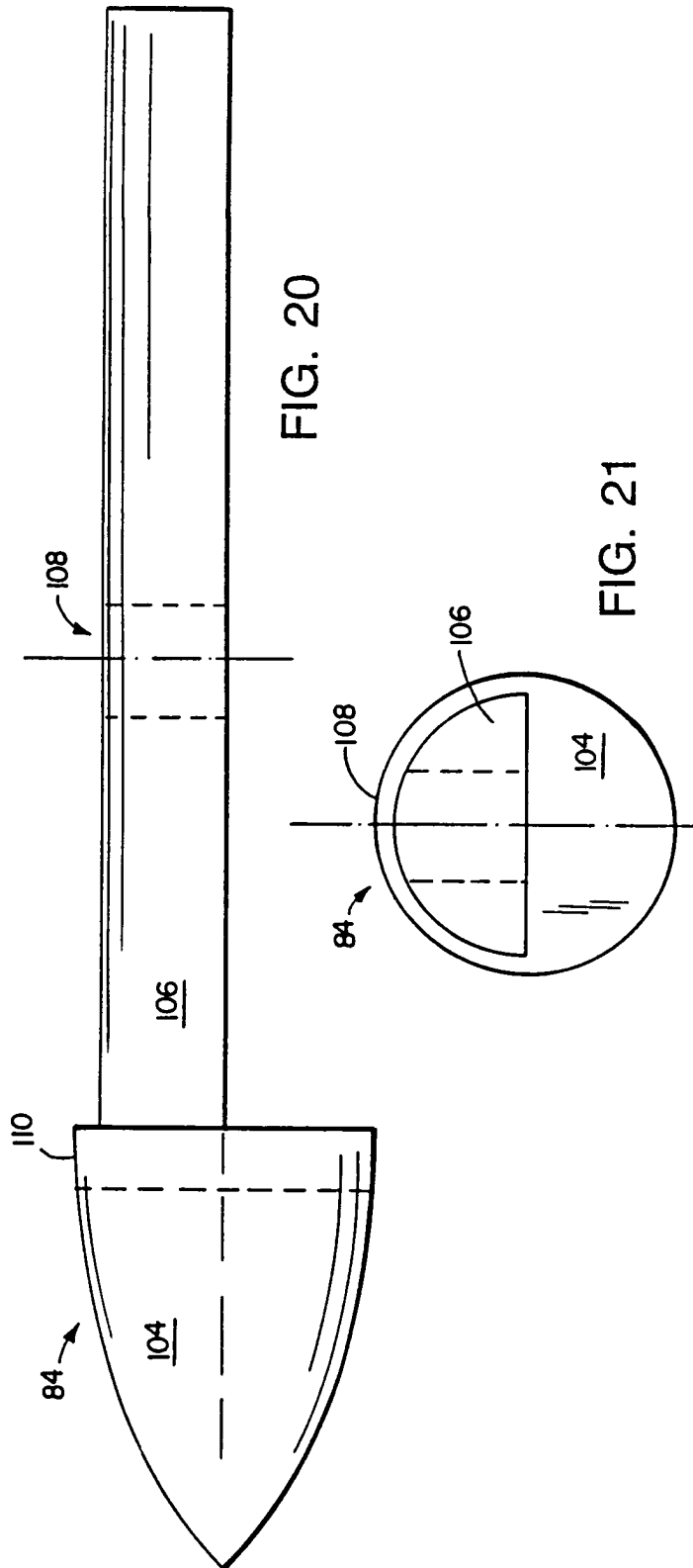


FIG. 18

FIG. 19



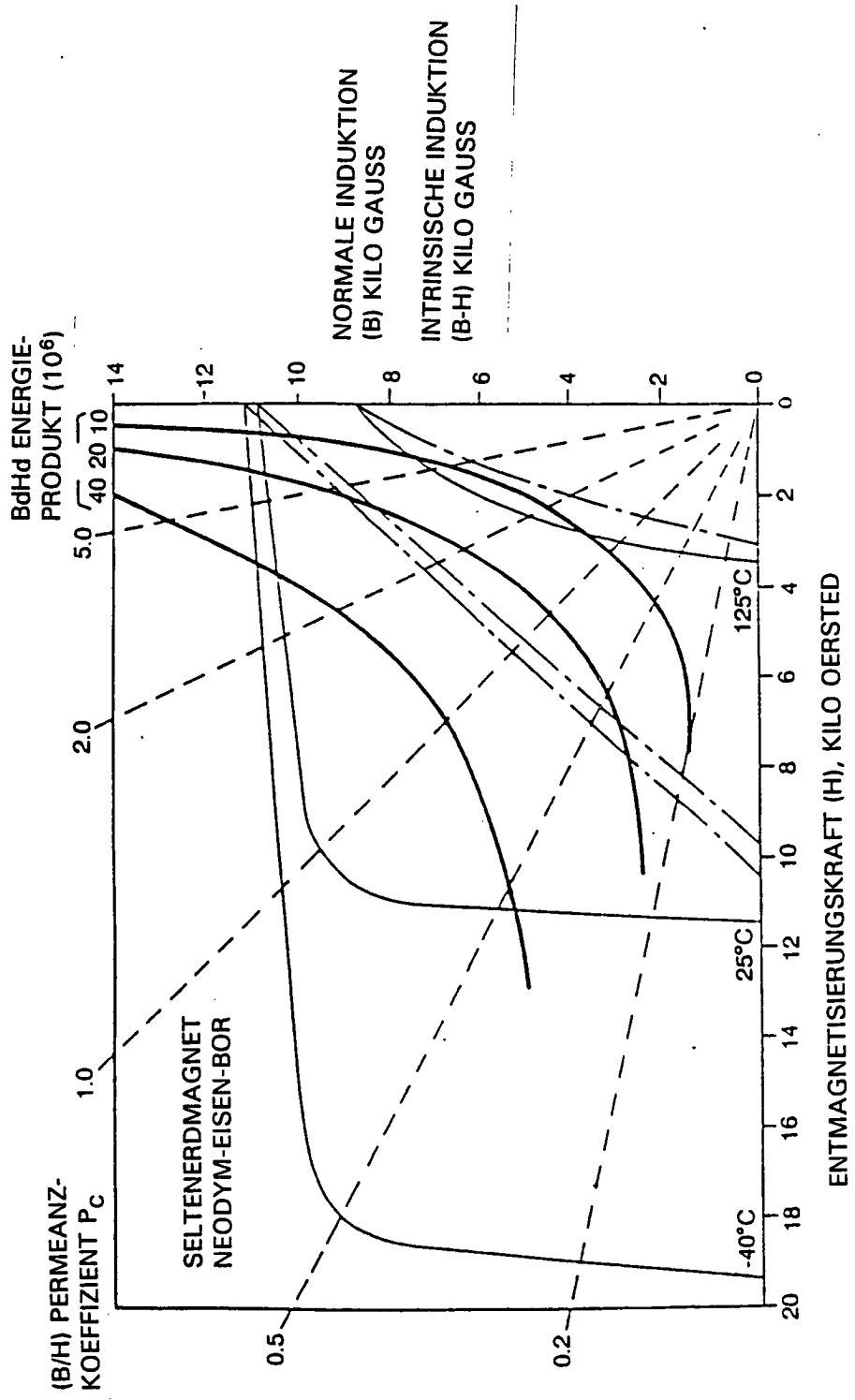


FIG. 22

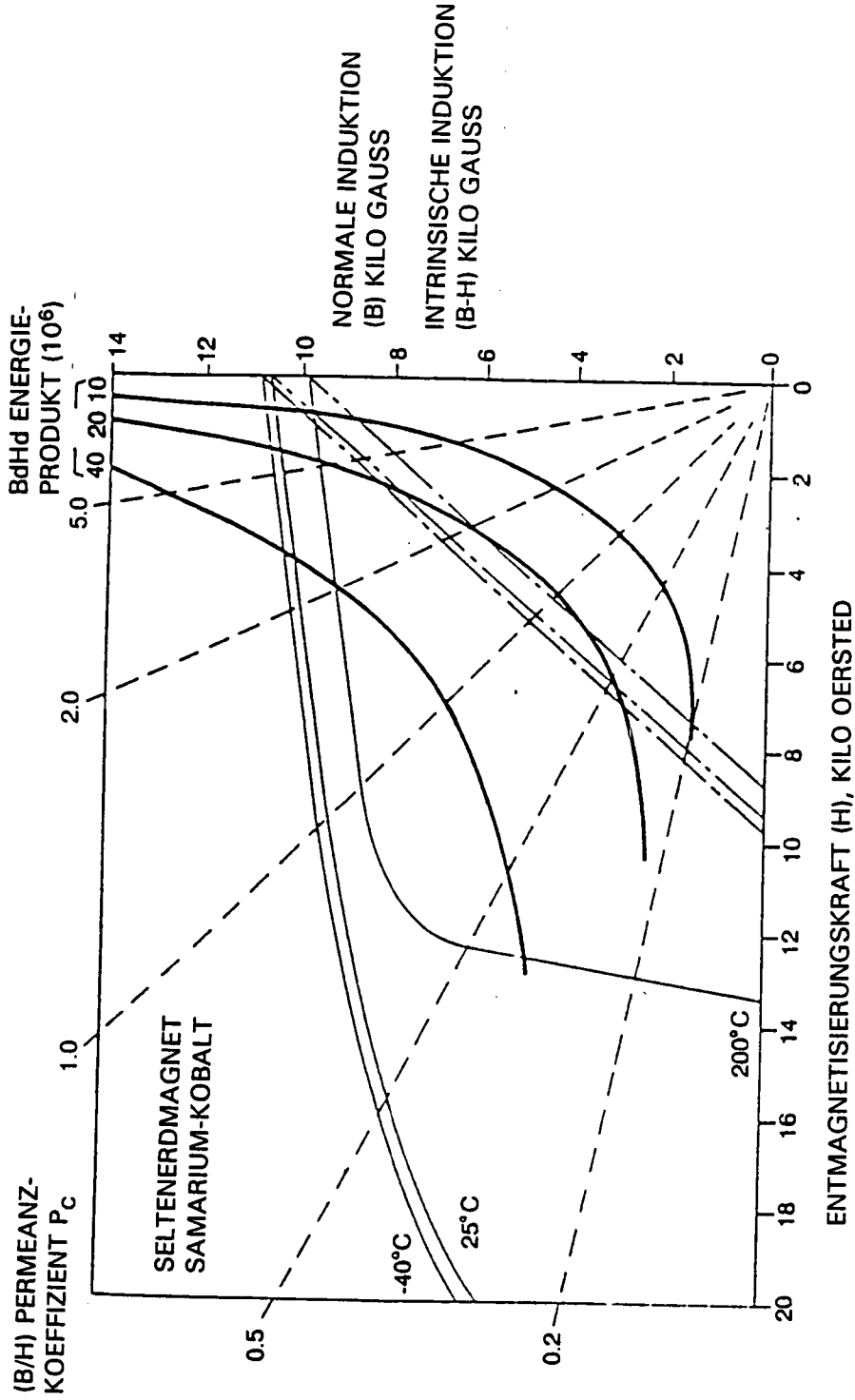


FIG. 23