(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 33 002 T2** 2006.04.27

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 876 585 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 33 002.8**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/01167**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 907 540.5**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 97/027455**
(86) PCT-Anmeldetag: **24.01.1997**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **31.07.1997**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **11.11.1998**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **13.04.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.04.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***G01C 19/00*** (2006.01)
G01C 19/56 (2006.01)
G01P 9/04 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
593534 **24.01.1996** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, NL

(73) Patentinhaber:
Gyration, Inc., Saratoga, Calif., US

(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 80336 München

(72) Erfinder:
HOTELLING, P., Steven, Cupertino, US; LAND, R., Brian, Redwood City, California 94061, US

(54) Bezeichnung: **VIBRATIONSDREHGESCHWINDIGKEITSKREISEL UND VERFAHREN ZU DESSEN ZUSAMMENBAU**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft Vibrations-Gyroskope, insbesondere in solches Gyroskop, das einen im wesentlichen symmetrischen Komponentenaufbau aufweist, um eine zweckmäßige Fertigung und eine Kalibrierung mit Wandlern zu erleichtern, die berührungslos zu Trägheitselementen positioniert sind.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Einige bekannte Vibrations-Gyroskope basieren auf magnetischen oder piezoelektrischen Schwingungserregern oder Vibratoren, um eine Massenträgheitsdrehimpulsachse einzurichten, um welche relative Winkelverschiebungen oder Winkelfrequenz oder -raten erfaßt werden können. Das US-Patent 2,309,853 beschreibt ein Vibrations-Gyroskop, bei dem Vibrationen magnetisch erfaßt werden. Ein Stimmgabelaufbau wird beschrieben, der scheinbar als Winkelpositions-Gyroskop funktioniert, weil die Stimmgabel in einer Kugellagerspindel aufgehängt ist, so daß die Stimmgabel ortsfest im Trägheitsraum verbleibt, während die Winkelposition und nicht die Winkelfrequenz der Gabel erfaßt wird.

[0003] Das US-Patent 4,802,364 offenbart ein Stimmgabel-Vibrations-Gyroskop, das eine Magnet-/Spulenabtastung enthält. Die Geometrie der Zinken reduziert die Kopplung zwischen den Zinken und der Halterung. Scheinbar sind wegen der Geometrie der Stimmgabel keine Metallrückführpfade für die Magneten vorgesehen, womit die Magneten im „offenen Regelkreis" betrieben werden. Die Spulen sind an den Zinken der Stimmgabel angebracht, und eine zugehörige Verdrahtung muß von den beweglichen Zinken zu der ortsfesten Basis verlegt werden. Diese Verdrahtung stört die Vibrationssymmetrie, und die notwendige Isolierung dämpft die gewünschten Vibrationen, was einen höheren Oszillationsantriebsstrom für eine gegebene Vibrationsamplitude notwendig macht. Außerdem muß ein magnetischer Schild eingesetzt werden, um eine Beeinflussung durch magnetische Umgebungsfelder zu verhindern. Ein derartiger magnetischer Schild an einem offenen Magnetkreisaufbau muß in einem Abstand von den Magneten angeordnet sein, um ungewünschte dämpfende Wirbelströme und ungewollte magnetische Einflüsse zu vermeiden. Ein derartiger, in einem Abstand angeordneter Schild bringt eine große Gesamtverpackungsabmessung mit sich.

[0004] Das US-Patent 4,671,112 offenbart ein Stimmgabel-Gyroskop, das vier diskrete Piezowandler nutzt, um die Vibration zu erregen und zu erfassen. Jede Stimmgabel umfaßt zwei Wandler. An einem Zinken sind der Antriebswandler und der erste der zwei Sensierwandler angeordnet, und an dem anderen Zinken sind der Antriebsamplitudenrückkopplungs-Wandler und der zweite der zwei Sensierwandler angeordnet. Die beiden Zinken sind durch ein mechanisches Kopplungsbauteil verbunden, und ein elastisches Bauteil trägt das Kopplungsbauteil relativ zu der Basis der Vorrichtung. Da vier diskrete Piezowandler eingesetzt werden, kann sich die Umwandlungseffizienz von mechanischer in elektrischer Energie der vier Wandler im Zeitablauf und abhängig von der Temperatur ändern, was Fehler bei der Ausgabe des Sensors verursacht. Die Piezowandler sind mechanisch mit Strahlbewegungsbauteilen verbunden, weshalb es notwendig ist, eine flexible Verdrahtung zu den Wandlern bereitzustellen, was die Resonanzsymmetrie der Vibration dämpfen und verändern kann. Außerdem fällt die Elastizitätshauptachse der Zinken gemäß originärer Herstellung im wesentlichen nicht mit der Ausrichtung der Antriebs- und Sensierwandler zusammen, so daß üblicherweise Material entfernt wird, um die Elastizitätshauptachse mit der Orientierung der Piezowandler auszurichten.

[0005] Das US-Patent 5,193,391 offenbart ein vibrierendes Winkelraten- oder Winkelfrequenz-Gyroskop, das Magnete, die an den Zinken eines stimmgabelartigen Vibrationsträgheitselements angebracht sind, und Antriebs-/Sensierspulen umfaßt, die auf gedruckten Leiterplatten ausgebildet sind. Die Antriebs- und Sensierfunktion wird durch eine Magnet-zu-Magnet-Nähe erreicht. Je näher die Magneten zueinander angeordnet sind, desto größer ist der Magnetfluß, was ein vergrößertes elektromagnetisches Feld in den Spulen hervorruft. Die Geometrie der Zinken reduziert die Kopplung zwischen den Zinken und der Halterung. Außerdem verringert ein Wirbelstromdämpfen in den Magneten und in dem Magnetrückführpfad den Qualitätsfaktor oder Q der Resonanzvibration, weswegen eine zusätzliche Antriebsenergie notwendig ist, um die gewünschte Vibrationsamplitude zu erreichen.

Abriß der Erfindung

[0006] Das Vibrations-Gyroskop gemäß der Erfindung umfaßt ein umgedrehtes oder gefaltetes gabelähnliches Vibrationsträgheitselement, wobei berührungslose elektromagnetische Wandler derart angeordnet sind, daß die Vibration des Trägheitselements angeregt wird und dessen Bewegungsbahn erfaßt wird, um eine Drehrate- oder -frequenz anzugeben. Das Trägheitselement umfaßt elastische Bauteile, die in einem monolithischen Aufbau hergestellt sind, um die Symmetriestabilität und Resonanzeigenschaften des Trägheitselements zu verbessern.

[0007] Geschlossene Magnetkreisstrukturen sind an dem Trägheitselement angebracht und werden von dem Trägheitselement getragen, um eine magnetische Umgebungsbeeinflussung zu verhindern, und/oder benachbarte Schilder sind vorgesehen, wo-

mit ein Wirbelstromdämpfen vermieden wird. Antriebs- und Sensierspulen sind durch Fotolithographie gebildet, um eine genaue Position zwischen den Antriebs- und Sensierspulen mit einer hohen Reproduzierbarkeit für eine kostengünstige Massenproduktion sicherzustellen.

[0008] Die magnetische Antriebs- und Sensierstruktur umfaßt Magnete und Magnetrückführpfade für die Magnete, die in einer symmetrischen Matrix an dem Vibrationsträgheitselement angebracht sind. Die Antriebs- und Sensierspulen sind an einem Schaltkreisaufbau befestigt, der an der Trägerstruktur in berührungsloser Ausrichtung relativ zu den Vibrationszinken angebracht ist. Aufgrund des konstanten magnetischen Flusses in den Magneten und in den Rückführpfaden entsteht keine Wirbelstromdämpfung in diesen Bauteilen.

[0009] Der elastische Teil der Stimmgabel ist beispielsweise mit einem einzigen Prägeschritt aus einer dünnen Einzellage eines Materials gebildet, um die Stimmgabelzinken mit einem hohen Symmetriegrad und einer guten Reproduzierbarkeit herstellen zu können. Ein Einzelspulenaufbau wird durch Photolithographie auf Leiterplatten hergestellt, um alle vier Funktionen, Oszillationsantrieb, Antriebsrückkoppelung und Sensieren jedes Vibrationszinkens zu verwirklichen. Die magnetischen Felder, die von den an den Enden der Zinken angebrachten Magneten aufgebaut sind, wirken auf die Spulenanordnung ein, um eine stabile mechanische Struktur zu erstellen, die einen guten Umwandlungswirkungsgrad von magnetischer Energie in elektrischer Energie sicherstellt, welcher Wirkungsgrad im Zeit- und Temperaturverlauf stabil bleibt. Da außerdem die Wandler nicht an den Zinken. angebracht sind, besteht keine Notwendigkeit für eine flexible Verdrahtung an den sich bewegenden Zinkenteilen. Die Spulenanordnung kann auch relativ zu den Stimmgabelzinken während der Herstellung ausgerichtet sein, um die Ausrichtung der Hauptwandlerrichtungen auszuwählen und anschließend die Ausrichtung der Hauptwandlerrichtungen mit der Elastizitätshauptachse der Stimmgabelzinken festzulegen. Bei diesem erfindungsgemäßen Aufbau bleibt der in den magnetischen Kreisen fließende Fluß konstant, und die nicht quantitative Positionsänderung des Magnetflusses wird durch die Spulen gemessen, die ortsfest bleiben. Aufgrund des konstanten magnetischen Flusses in jedem Magneten und jedem Rückführpfad wird die Wirbelstromdämpfung eliminiert. Mehrere ähnliche Aufbauten können zusammengebaut werden, wobei die Trägheitsachse jedes Aufbaus senkrecht zu der Trägheitsachse des jeweils anderen Aufbaus ausgerichtet ist, um ein mehrachsiges Gyroskop bereitzustellen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0010] Fig. 1 ist eine perspektivische Explosionsansicht eines erfindungsgemäßen Trägheitselements;

[0011] Fig. 2 ist eine perspektivische Ausführung einer alternativen Ausführung des Trägheitselements gemäß Fig. 1;

[0012] Fig. 3 ist eine perspektivische Ansicht eines montierten Trägheitselements gemäß Fig. 1;

[0013] Fig. 4 ist eine perspektivische Explosionsansicht des Trägheitselements gemäß Fig. 1, das auf einem Trägerelement und einer Basis montiert ist;

[0014] Fig. 5 ist eine perspektivische Ansicht des auf der Basis montierten Trägheitselements;

[0015] Fig. 6A bzw. Fig. 6B sind jeweils perspektivische Explosionsansichten des erfindungsgemäßen Gyroskops bzw. des zusammengebauten Gyroskops;

[0016] **Fig.** 7 und 8 sind Draufsichten von gedruckten Schaltungen für die Montage mit dem in den Fig. 6A und Fig. 6B dargestellten Trägheitselement;

[0017] Fig. 9 ist eine Leeransicht;

[0018] Fig. 10 ist eine perspektivische Explosionsansicht zweier Trägheitselemente, die auf einer gemeinsamen Montagebasis senkrecht zueinander ausgerichtet sind;

[0019] Fig. 11 ist ein Schaltbild einer Phasenverzögerungssperrschaltung mit einem erfindungsgemäßen Trägheitselement gemäß den Fig. 6A und Fig. 6B;

[0020] Fig. 12 ist ein Schaltbild eines Schaltkreises zum Betreiben der Vibrationsgabelanordnung;

[0021] Fig. 13A, B, C und D sind prinzipielle Veranschaulichungen von Zeitablaufbahnen, die der Vibrationsbewegung des gyroskopischen Bauteils gemäß der Erfindung zugeordnet sind.

[0022] Fig. 14A–Fig. 14E sind Graphen, die betriebsgemäße Wellenformen und Signalwerte an ausgewählten Schaltkreisknoten angeben;

[0023] Fig. 15 ist ein Schaltbild für eine erfindungsgemäße Fehlerkompensationsschaltung;

[0024] Fig. 16A–Fig. 16C sind bildliche Darstellungen der Spulenanordnung, die betriebsgemäße Bedingungen mit Bezug auf die Ausrichtungen der magnetischen Felder darstellen;

[0025] Fig. 17 ist eine perspektivische Explosionsansicht einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführung;

[0026] Fig. 18 ist eine perspektivische Ansicht der Ausführung gemäß Fig. 17;

[0027] Fig. 19 ist eine perspektivische Explosionsansicht der Halterung der Ausführung gemäß Fig. 18;

[0028] Fig. 20 ist eine perspektivische Ansicht der Ausführung gemäß Fig. 19;

[0029] Fig. 21 ist eine perspektivische Explosionsansicht der Ausführung gemäß Fig. 20;

[0030] Fig. 22 ist eine perspektivische Ansicht der Ausführung gemäß Fig. 21;

[0031] Fig. 23 ist eine perspektivische Explosionsansicht einer Doppelachsanordnung der Ausführung gemäß Fig. 22; und

[0032] Fig. 24 ist eine perspektivische Explosionsansicht der Ausführung gemäß Fig. 23.

Beschreibung der bevorzugten Ausführung

[0033] Bezugnehmend nun auf Fig. 1 ist eine Stimmgabel **1** mit drei Zinken **7**, **8** und **9** durch Feinschneiden, Stanzen, Ätzen oder durch Elektroerosion einer dünnen Lage, wie Blech, beispielsweise einer Elinvarlegierung, Edelstahl, Berylliumkupfer oder Federstahl, gebildet. Alternativ kann die Stimmgabel aus Quarz gebildet sein, wobei herkömmliche Ätztechniken verwendet werden. Die linke Zinke **7** und die rechte Zinke **9** sind ihren Abmessungen nach symmetrisch, um symmetrische elastische Federeigenschaften in dem homogenen Material der Gabel **1** bereitzustellen. Das Herstellen der linken Zinke **7** und der rechten Zinke **9** aus dem gleichen Lagenmaterial, mit dem gleichen Herstellungsverfahren, stellt eine gute räumliche und elastische Symmetrie sicher. Im allgemeinen sollte das Material, aus dem die Gabel **11** gebildet ist, eine konstante Steifigkeit bei Temperaturänderungen (in angemessenen Betriebsbereichen) beibehalten, um sicherzustellen, daß die natürliche Vibrationsfrequenz im wesentlichen bei Temperaturänderungen konstant bleibt. Der Mittelzinken **8** ist ein flexibler Träger, der einstückig mit dem Halteflansch **10** ausgebildet ist.

[0034] Magnetrückführpfade **2** und **3** sind an den Enden der Zinken **7**, **9** der Stimmgabel **1** auf herkömmliche Weise, wie mittels Klebstoff, Laserschweißen, Löten oder durch Hartlöten im Vakuumofen, befestigt. Die Rückführpfade **2** und **3** können durch Extrusion, Stanzen oder Elektroerosion von magnetischem Material gebildet werden. Bei einer alternativen Ausführung können ähnliche Rückführpfade **200**, **300** einstückig mit der Stimmgabel **100** aus einem magnetischen Material gebildet sein, wie in Fig. 2 dargestellt ist.

[0035] Magnete **4** und **5** sind auf herkömmliche Weise an den Magnetrückführpfaden **2** und **3** durch Klebstoff, Selbstanziehung, mechanische Befestigungsmittel, Löten oder Schweißen befestigt. Wie in Fig. 2 gezeigt ist, können die Magnete **400**, **500** alternativ an den Enden der Zinken innerhalb der Magnetrückführpfade **200**, **300** befestigt sein. Beide Magnete **4** und **5** (oder **400**, **500**) sind magnetisiert, was durch einen Magnetvektor **6** gezeigt ist, und können vor und nach dem Aufbringen der Magnetrückführpfade **2** und **3** magnetisiert werden.

[0036] Die Magnetpfade **2** und **3** leiten den magnetischen Fluß von den Magneten **4** und **5** in einen geschlossenen Kreis quer über den Spalt gemäß der Ausrichtung des magnetischen Vektors **6**. Dies minimiert die magnetische Beeinflussung mit anderen metallischen Bauteilen, wie einen magnetischen Schild in unmittelbarer Nähe zu der Stimmgabel **1**.

[0037] Fig. 3 zeigt den vollständigen Stimmgabelaufbau **11** mit den in Fig. 1 dargestellten Komponenten.

[0038] Fig. 4 ist eine Explosionsansicht, die den Aufbau der auf die Leiterplatte **13** zu druckende Stimmgabel **11** darstellt. Ein Montageflansch **10** ist an einer Halterung **12** auf herkömmliche Weise, beispielsweise durch einen Klebstoff, durch Laserschweißen, Löten, Hartlöten im Vakuumofen oder durch mechanische Befestigungsmittel, befestigt. Die Halterung **12** wird anschließend beispielsweise durch Löten, Schweißen, Hartlöten oder mittels mechanischen Befestigungsmitteln an die gedruckte Leiterplatte **13** angebracht.

[0039] Fig. 5 zeigt die fertige Anordnung der Stimmgabel **11** und der gedruckten Leiterplatte **13**, wobei die angebrachten Magnete **4**, **5** und die Rückführpfade **2**, **3** über der Leiterplatte **13** zum Schaffen eines angemessenen Freiraums angeordnet sind, damit eine freie Vibrationsbewegung gewährleistet ist.

[0040] Die perspektivische Explosionsansicht gemäß Fig. 6A zeigt die Ausrichtung der Spulenanordnung **14** relativ zur gedruckten Leiterplatte **13** und innerhalb des Spalts zwischen den Magneten **4**, **5** und den Rückführpfaden **2**, **3**. Diese Spulenanordnung ist derart positioniert, daß die Hauptausrichtung ihrer Spulen mit den Hauptvibrationsachsen der Stimmgabelanordnung **11** ausgerichtet ist (d.h. lateral innerhalb der Ebene der Zinken **2**, **3** und der Halterung **10**). Dies beseitigt die Notwendigkeit, Material von den Vibrationselementen zu entfernen, wie es bei piezoelektrischen Gyroskopen üblich ist, um die Vibra-

tionsachse neu auszurichten. Die Spulenanordnung **14** kann durch Löten oder Schweißen der Kontaktflächen **15** bis **20** an Stifte **21** bis **26** befestigt werden, um eine mechanische sowie auch elektrische Verbindung bereitzustellen. Alternativ kann diese Anordnung durch Laserschweißen, Hartlöten oder mittels mechanischer Befestigungsmittel realisiert werden.

[0041] Gemäß Fig. 7B ist eine Anfangsschicht von mehreren Schichten innerhalb der Spulenanordnung **14** gezeigt, was den spiral-ausgerichteten **Fig.** 8-Aufbau der Spulenleiter veranschaulicht. Das Paar Spulen **31**, **33** ist in räumlicher Trennung von einem dazu passenden Paar Spulen **35**, **37** mit einem Abstand angeordnet, der im wesentlichen dem Abstand zwischen den Magneten **4**, **5** an den Enden der Zinken **7**, **9** der Vibrationsgabel entspricht. Insbesondere umfaßt das benachbarte Paar Kreise gemäß der Konfiguration **31**, **33** und **35**, **37** gemeinsame Mittelbereiche **32**, **36**, innerhalb welcher ein elektrischer Signalstrom in dem Leiter gemeinsam mit dem Schleifenpaar in einer gemeinsamen Richtung fließt, obwohl sich dieser Leiter in entgegengesetzten Richtungen jeweils innerhalb jedes benachbarten Kreises windet. Eine oder mehrere aufeinanderfolgende Schichten, wie in den Fig. 7C und Fig. 7D dargestellt ist, können übereinander geschichtet werden und über entsprechende Kontaktflächen **39** bis **53** und durch Verbindungen zu der äußeren Kontaktschicht **40**; wie in Fig. 7A dargestellt ist, verbunden werden, wodurch Spulen mit einer größeren Windungszahl für einen Betrieb bei niedrigen Signalpegeln gebildet werden.

[0042] Die insoweit beschriebene Spulenanordnung umfaßt eine oder mehrere Schichten gemäß der spiralförmig ausgerichteten **Fig.** 8-Bauart von Spulenleitern auf Leiterplatten, wie in den Fig. 8A, Fig. 8B und Fig. 8c gezeigt ist, die mit den in den Fig. 7B, Fig. 7C und Fig. 7D gezeigten, oben beschriebenen Spulenschichten ausgerichtet sind. Die Leiter in den ausgerichteten Mittelbereichen **32**, **36** leiten einen Signalstrom in einer Richtung, die senkrecht zur Stromleitungsrichtung durch die Leiter der in den Fig. 7B bis Fig. 7D gezeigten Spulen hindurch ist. Diese in den Fig. 8A bis Fig. 8C gezeigten Spulenschichten können wieder über die zugehörigen Kontaktflächen und durch Verbindungen mit der Außenkontaktschicht **40** verbunden werden. Die Mittelbereiche **32**, **36** der Spulenpaare sind mit den zugehörigen Magneten **4**, **5** aus Gründen ausgerichtet, die später beschrieben werden, wenn die Spulenanordnung **14** in Position an den Stiften **22**-**25** an der Leiterplatte **13** befestigt ist.

[0043] Gemäß den Fig. 6B und Fig. 7B sei angemerkt, daß der magnetische Fluß eines Magnets **4** oder **5** durch den Magnetrückführpfad **2** oder **3** hindurch und durch die Spulenanordnung **14** hindurch in dessen Mittelbereiche **32**, **36** gelangt. Auf diese Weise erzeugt das an einem der Spulenpaare, nämlich **31**, **33**, angelegte elektrische Signal (und durch die zugehörigen zusätzlichen Spulen in den Schichten gemäß den Fig. 7C und Fig. 7D hindurch) eine Antriebskraft in lateraler Richtung (d.h. innerhalb der Ebenen der Zinken **7**, **9** und der Halterung **10**), wie das Vektorprodukt aus magnetischem Fluß in dem Mittelbereich **32** und dem Signalstrom, der in gemeinsame Richtung in den Leitern der Spulen strömt, die den Mittelbereich **33** schneiden. Diese Kraft verlagert den Zinken **7** entgegen der elastischen Rückstellkraft des Zinkens **7**, um eine Oszillationsbewegung vor und zurück durch den zentralen Bereich **32** hindurch auf einen entsprechenden Oszillationssignalstrom hin aufzubauen, der an die Leiter der den Mittelbereich **32** kreuzenden Spulen angelegt ist.

[0044] Der gegenüberliegende Zinken **9** der Vibrationsgabel bewegt sich bei sympathetischer Schwingung (außerhalb der Phase der Bewegung des angetriebenen Zinkens **7**) auf herkömmliche Weise und erzeugt ein elektrisches Signal innerhalb der Leiter der ausgerichteten Spule **35**, **37** (und den zugehörigen anderen Spulenschichten gemäß den Fig. 7C und Fig. 7D), die den Mittelbereich **36** schneiden. Dieses elektrische Signal ist bekanntermaßen als Vektorprodukt von der Flußwechselfrequenz oder -rate durch die Anzahl der Leiter, die den Mittelbereich schneiden, erzeugt, und dieses elektrische Signal kann als ein Feedback-Signal dienen, um das oszillatorische Antriebssignal zu regeln und/oder zu steuern, das an den Nebenspulen **31**, **33** angelegt ist, um die Vibrationsschwingungen in den Zinken **7**, **9** mit einer ausgewählten Amplitude und Frequenz in der Nähe der natürlichen Resonanz der Vibrationsgabel aufrechtzuerhalten.

[0045] Wie in Fig. 10 dargestellt ist, kann das Doppelachs-Gyroskop gebildet werden, indem ein Paar Anordnungen gemäß Fig. 6B eingesetzt wird, die an dem gleichen Substrat **13** montiert sind, wobei beide Gyroskope senkrecht zueinander ausgerichtet sind. Das Substrat ist auf einer Kunststoffbasis **55** montiert, und ein magnetischer Schild **57** umgibt die Einheit **60**.

[0046] Fig. 11 ist ein Schaubild des elektronischen Schaltkreises für jedes Achs-Gyroskop. Der Antriebswandler **270** umfaßt einen Abschnitt der Spulenanordnung **31**, **33** und eine Magnetstruktur **2**, **4**, die an einem der Zinken **7** angebracht ist. Das Trägheitselement **280** bezieht sich auf die Stimmgabelanordnung, wie sie in Fig. 5 dargestellt ist. Ein X-Sensor **290** ist die Spule (beispielsweise die Spulen **35**, **37** gemäß Fig. 7B) und die magnetische Struktur **3**, **5**, die als Antriebs-Rückkopplungssensor dient und die Phasen- und Amplitudeninformationen über die physikalische Vibration des Trägheitselements an den Schaltkreis liefert. Ein Amplitudendetektor **30**, ein automatischer Verstärkungsregler **310** und eine

geregelte Stromquelle **320** arbeitet auf herkömmliche Weise, um die Vibration des Trägheitselements bei einer konstanten Amplitude und einer Frequenz zu halten; die im wesentlichen durch die natürliche Resonanz des Trägheitselements **11** bestimmt ist. Das Signal **390** von dem X-Sensor **290**, der die Spulen **35**, **37** umfaßt, dient als eine Phasenreferenz **360** zum Demodulieren des Frequenzsignals, und diese Phase kann willkürlich bei 0° definiert sein.

[0047] Der Y-Sensor umfaßt die Spulen, wie sie in den Fig. 8A bis Fig. 8C angedeutet sind, und die Magneten **4**, **5** zum Erfassen der Differenzgeschwindigkeit der Zinken. Ein Y-Vorverstärker **340** und ein Wechselstromverstärker **350** verstärken den Pegel des Signals, das von den Spulen gemäß den Fig. 8A-Fig. 8C vor dem Demodulieren empfangen wird.

[0048] Während des Normalbetriebs des Trägheitselements **11**, ohne Störung durch die Winkelbewegung, vibrieren die Zinken **7**, **9** lateral innerhalb der Ebene der Zinken (d.h. entlang der x-Achse), ohne eine orthogonale Erhebung aus der Ebene der Zinken. Somit queren die Zinken **7**, **9** mit den angebrachten Magneten **4**, **5** und den Rückführpfaden **2**, **3** schwingend die Mittelbereiche **32**, **36** der Sensierspulen gemäß den Fig. 8A-Fig. 8C in einer Richtung, die mit den Leitern ausgerichtet ist, die die Mittelbereiche **32**, **26** queren und daher kein elektromagnetisches Feld in den Leitern erzeugen. Dies wird mit einer zeitlichen Sequenz der Zinkenpositionen illustriert, die mit A, B, C und D bezeichnet sind. Falls jedoch eine Winkelfrequenzbewegung um die empfindliche Achse des Gyroskops (d.h. parallel zum mittleren Zinken **8**) auftritt, werden die schwingenden Zinken **7**, **9** und die zugehörigen Magnetbereiche **32**, **36** auf unterschiedliche Weise relativ zur der x-Achse wegen des Trägheitsmoments dieser Elements mit einer zugehörigen Differenzvibrationsbewegung der Zinken relativ zu den Mittelbereichen **32**, **36** versetzt. Die sich daraus ergebenden Bahnen der Vibrationsbewegung sind in Fig. 13B längs der Zeit-Sequenz-Positionen A, B, C und D dargestellt.

[0049] Das Schema **370** stellt die Phase der Spannung von dem Y-Sensor **330** dar, die sich aus einer Winkelfrequenz- oder -geschwindigkeit der Bewegung ergibt. Diese Spannung hat eine 90°-Phase relativ zum Phasenreferenzsignal **390**. Das Schema **380** zeigt die Phase einer primären Fehlerspannung, die sich wegen irgendeiner Winkelfehlausrichtung des Y-Wandlers relativ zur Hauptvibrationsrichtung längs der x-Achse ergibt, und diese Fehlerspannung hat eine 0°-Phase relativ zum Phasenbezugssignal **390**. Idealerweise wird diese Fehlerspannung durch eine richtige Ausrichtung der Spulenanordnung **14** mit den Magnetelementen an den Zinken **7**, **9** während des Montierens, wie es in den Fig. 6A und Fig. 6B angedeutet ist, auf 0 reduziert. Das Sensorsignal **410** ist eine Kompositspannung oder eine zusammengesetzte Spannung, welche die Summe der Frequenzspannung **370** und irgendeiner Fehlerspannung **380** ist. Idealerweise wird ein Demodulator **401** die Fehlerspannung **380** zurückweisen oder sperren, während die Frequenzspannung **370** passieren darf. Damit die Fehlerspannung **380** zuverlässig gesperrt oder zurückgewiesen wird, muß das Phasenbezugssignal **420** eine Phase aufweisen, die bei 90° relativ zur Fehlerspannung 380 liegt, und auf diese Weise eine 90°-Phase relativ zum Phasenbezugssignal **390**.

[0050] Die Phasenverzögerungssperrschaltung **430** stellt eine genaue 90-Grad-Phasenverschiebung von dem Phasenbezugssignal **390** zum Phasenreferenzsignal **420** bereit. Eine variable Phasenverzögerungsschaltung **440** umfaßt zwei Feldeffekttransistoren, die miteinander für einen Betrieb als gesteuerte und/oder geregelte Widerstände verbunden sind, und zwei Kondensatoren. Jedes Widerstand-Kondensator-Paar stellt eine 45-Grad-Phasenverschiebung bereit, woraus sich ein Sinussignal **450** ergibt, allerdings ist es um 90 Grad phasenverschoben, wie durch die Wellenform **460** dargestellt ist. Ein Vergleicher **470** wandelt das Sinussignal **450** in eine Rechteckschwingung, wie das Phasenbezugssignal **420** um, wie durch die Wellenform **480** angedeutet ist, welche Rechteckschwingung als Phasenbezugssignal dem Demodulator **490** zugeführt wird. Wenn das Signal **420** um genau 90 Grad von dem Phasenbezugssignal **390** phasenverschoben ist, dann wird das Ausgabesignal **510** von dem Demodulator **490** die Wellenform aufweisen, wie bei **501** angedeutet ist, welche Wellenform ein Gleichstromniveau von null aufweist. Wenn das Ausgabesignal **510** ein Gleichstromniveau von null aufweist, dann wird ein Integrator **520** nicht geladen oder entladen, so daß die Phasenverzögerungssteuer- oder -regelspannung **530**, die den Steuerelektroden der Feldeffekttransistoren in der Phasenverzögerungsschaltung **440** zugeführt ist, konstant bleiben wird.

[0051] Falls die Phasenverzögerungsschaltung oder ein Phasenverschieber **440** eine 90 Grad Phasenverschiebung erzeugt, wenn die Schaltung anfänglich in Betrieb genommen wird, dann veranlaßt der Phasenfehler, den Integrator **520** zu laden oder zu entladen, bis der Phasenfehler behoben ist. Falls beispielsweise der Phasenverschieber **440** eine 110-Grad-Phasenverschiebung erzeugt, dann wird das Ausgabesignal **510** des Demodulators **490** die Wellenform **540** aufweisen. Das Gleichstromniveau der Wellenform **540** liegt unter 0, so daß der Integrator **520** aufgeladen wird, wodurch erreicht wird, daß die Phasenverzögerungssteuer- oder -regelspannung **530** erhöht wird. Diese erhöhte Spannung wird den Widerstand der Feldeffekttransistoren in der Phasenverzögerungsschaltung **440** reduzieren, was wiederum die Phasenverschiebung reduziert, bis

eine 90-Grad-Phasenverschiebung erreicht ist. Da die 90-Grad-Phasenverschiebung über Zeit und Temperatur fehlerfrei oder genau ist, werden Fehlerspannungen, die durch eine physikalische Fehlausrichtung zwischen dem Y-Sensor **330** und der primären Vibrationsrichtung des Trägheitselements verursacht werden, an dem Demodulator **401** gesperrt oder zurückgewiesen und werden keinen Fehler in dem Ausgabesignal **372** des Gyroskops hervorrufen, das durch den (De)modulator **401** erzeugt und von einem Filter und Verstärker **371** gefiltert ist. Selbstverständlich ist eine Schaltung gemäß Fig. 11 für jedes Trägheitselement innerhalb der Anordnung **60** notwendig, um Winkelfrequenz- oder -ratenausgabesignale **372** von jedem zugehörigen Trägheitselement zu schaffen.

[0052] Wenn sich die Temperatur der Vibrationsgabel ändert, kann der Resonanzqualitätsfaktor oder Q variieren, was in einer unterschiedlichen Amplitude des Antriebsstroms in der Spule resultiert, um eine konstante Vibrationsamplitude beizubehalten. Wenn sich die Temperatur ändert, kann sich auch die magnetische Feldstärke ändern, was wieder in einer unterschiedlichen Amplitude des Antriebsstroms in der Spule resultiert, um eine konstante Vibrationsamplitude beizubehalten. Zusätzlich wird die erfaßte Spannung bei einer gegebenen Vibrationsamplitude variieren, weil die Effektivität der Geschwindigkeit-zu-Spannung-Umwandlung (d.h. die Änderungsrate des Flusses an einem Leiter) proportional zum magnetischen Feld ist. Die AGC-Regelung **310** kompensiert dafür durch Einstellen die Amplitude des Antriebsstroms, bis die X-erfaßte Spannung gleich einer Bezugsspannung ist. Da der X-Sensor und der Y-Sensor sich das gleiche magnetische Feld an einem Zinken teilen, besitzen sie Umwandlungseffizienzen, die beide proportional zu dem gleichen magnetischen Feld sind. Daher bleibt das Verhältnis zwischen der Umwandlungseffizienz des X- und Y-Sensors konstant.

[0053] An dem anderen Zinken nutzt der Y-Sensor das von dem zugehörigen Magneten erzeugte magnetische Feld und den Rückführpfad mit den gleichen Eigenschaften wie der erste Zinken. Auf diese Weise besitzt bei einer gegebenen Temperatur der Y-Sensor eine im wesentlichen gleiche Umwandlungseffizienz wie der Y-Sensor an dem ersten Zinken. Falls sich das magnetische Feld ändert, stellt die AGC-Schaltung **310** die Amplitude der Vibrationsbewegung ein, um die gleiche X-Spannungsamplitude beizubehalten.

[0054] Das Winkelfrequenz- oder -ratensignal **372** ist proportional zu dem Verhältnis der Y-Bewegungsamplitude zur X-Bewegungsamplitude, so daß, solange die Umwandlungseffizienzen an den X- und Y-Sensoren im wesentlichen gleich sind, das Konstanthalten der X-Rückkopplungsspannung durch den Betrieb der AGC-Schaltung **310** sicherstellt, daß die Y-Spannung wegen der Winkelgeschwindigkeit ebenso konstant bleibt, obwohl die Umwandlungseffizienzen sowohl des X- als auch des Y-Sensors um das gleiche Maß variieren können.

[0055] Zurückkommend auf die Fig. 8A wird ein magnetischer Bereich **32** von Spulen **71** und **72** gekreuzt, was ein elektrisches Signal „LS" erzeugt, das die Geschwindigkeit des magnetischen Bereichs **32** relativ zu den Spulen **71** und **72** in „+Y"-Richtung repräsentiert, wie in Fig. 8A bei **711** angedeutet ist. Der magnetische Bereich **36** wird von den Spulen **73** und **74** gekreuzt, was ein elektrisches Signal „RS" erzeugt, das die Geschwindigkeit des magnetischen Bereichs **32** relativ zu den Spulen **71** und **72** in „+Y"-Richtung repräsentiert, was in Fig. 8A bei **711** angedeutet ist.

[0056] Für einen Basisbetrieb, wie in Fig. 11 beschrieben ist, können die Spulen **71**, **72**, **73** und **74** in Reihe verbunden sein, um eine Spannung YIN zu erzeugen, wobei YIN=RS–LS. Mit anderen Worten repräsentiert YIN die Geschwindigkeit des magnetischen Bereichs **36** in der +Y-Richtung plus der Geschwindigkeit des magnetischen Bereichs **32** in der –Y-Richtung. Das elektrische Signal YIN kann als das „YIN"-Signal angesehen werden, das durch den „Y-Sensor" **330** gemäß Fig. 11 erzeugt ist.

[0057] Alternativ dazu können, wie in Fig. 12 gezeigt ist, die Spulen **71** und **72** mit den Spulen **73** und **73** in Reihe verbunden sein. In diesem Fall gehören die Spulen **71** und **72** zu dem Sensor **603** des linken Zinkens, und die Spulen **73** und **74** gehören zu dem Sensor **602** des rechten Zinkens. Die Signale RS **604** und LS **605** sind jeweils durch die Vorverstärker **620** bzw. **621** vorverstärkt. Falls es einen Unterschied bei den Geschwindigkeit-zu-Spannung-Umwandlungseffizienzen des Y-Sensors **603** des linken und des Y-Sensors **604** des rechten Zinkens gibt, was dann der Fall wäre, wenn der magnetische Feldbereich **32** eine unterschiedliche Stärke wie das magnetische Feld **36** aufwiese, dann könnte dieser Unterschied durch ein unabhängiges Einstellen der relativen Verstärkungen des Vorverstärkers **620** und des Vorverstärkers **621** kalibriert und korrigiert werden.

[0058] Ein Differentialverstärker **622** erzeugt das DIFF-Signal **606** auf herkömmliche Weise, indem das LS-Signal von dem RS-Signal subtrahiert wird. Das DIFF-Signal **606** entspricht dem Signal **410** gemäß Fig. 11, das die Geschwindigkeit des magnetischen Bereichs **36** (gemäß Fig. 8a) in der +Y-Richtung plus der Geschwindigkeit des magnetischen Bereichs **32** in der –Y-Richtung repräsentiert. Ein Summenverstärker **623** erzeugt das SUM-Signal **607** auf herkömmliche Weise, indem das LS-Signal und das RS-Signal addiert werden.

[0059] Demodulatoren **608** bis **611** demodulieren das DIFF-Signal **606** und das SUM-Signal **607**, indem das 90-Grad-Phasenbezugssignal **420** und das 0-Grad-Phasenbezugssignal **601** verwendet wird, das durch den Vergleicher **627** auf der Basis des Sinussignals **390** erzeugt ist. Die Ausgabesignale von den Demodulatoren sind die Signale **628**-**631**, die gefiltert und gleichstromverstärkt **612**-**615** sind und als analoge Ausgabesignale DIFF_90 (Frequenz- oder Ratenausgabesignal), DIFF_0, SUM_90 und SUM_0 vorliegen, was in Fig. 12 als **616**-**619** identifizierbar ist. Der Wechselstromsensor **625** mißt den Wechselstrom, der durch die Antriebsspulen läuft und eine Gleichstromspannung CURR **626** erzeugt, die proportional zu diesem Strom ist. Das CURR-Ausgabesignal kann zur Driftkompensation verwendet werden, wie unten beschrieben wird.

[0060] Gemäß den Fig. 13A bis Fig. 13E sind verschiedene Pfade des magnetischen Bereichs **32** des linken Zinkens durch Bahnen **701**, **703**, **705**, **707**, **709** gezeigt, und die entsprechenden Pfade des magnetischen Bereichs **36** des rechten Zinkens sind durch die Bahnen **702**, **704**, **706**, **708** und **710** dargestellt. Die Ausrichtung des Y-Sensors, der die Spulen **71**, **72**, **73**, und **74** umfaßt, ist mittels des Koordinatensystems **711** dargestellt.

[0061] Fig. 13A zeigt die idealen Bahnen für eine optimal ausgerichtete, rotationsfreie Vibrationsgabel. Die Ortsstellen A, B, C und D illustrieren vier Positionen des jeweiligen magnetischen Bereichs während einer 0-Grad, 90-Grad, 180-Grad und 270-Grad-Verschiebung eines Vibrationszylkus'. Bezugnehmend auf Fig. 14A ist das elektrische XIN-Signal **712** durch die X-Sensor-Spulen **31**, **33**, **35**, und **37** als eine Indikation einer Zinkengeschwindigkeit parallel zur X-Koordinate des Koordinatensystems **711** erzeugt. Die DIFF- und SUM-Wellenformen **713** und **714** stellen das Ausgabesignal der Verstärker **622**, **623** (s. Fig. 12) dar. Bei einer fehlenden Y-Bewegung der Zinken besitzen die Wellenformen **713** und **714** eine Null-Amplitude. Demgemäß ist, wie mit Tabelle **715** illustriert ist, jedes demodulierte, gefilterte Ausgabesignal DIFF_90, DIFF_0, SUM_90, SUM_0 (**616**-**619**) gleich null.

[0062] Fig. 13B illustriert die idealen Bahnen des linken und rechten Zinkens für eine optimal ausgerichtete Vibrationsgabel, die bei einer vorgegebenen Winkelgeschwindigkeit um eine Achse rotiert, die parallel zum Montagezinken **8** ist. In Fig. 14B repräsentieren die DIFF- und SUM-Wellenformen **716** und **717** das Ausgabesignal der Verstärker **622**, **623** (in Fig. 12) unter dieser Betriebsbedingung. In diesem Fall ist die Y-Geschwindigkeit um 90 Grad verglichen mit der Y-Geschwindigkeit phasenverzögert. Während der rechte Zinken eine positive Y- Geschwindigkeit aufweist, besitzt der linke Zinken eine negative Y-Geschwindigkeit, so daß die DIFF-Wellenform ein Netzsignal aufweist, während das SUM-Signal null ist. Demgemäß ist, wie mit Tabelle **718** illustriert ist, das DIFF_90-Ausgabesignal **616** positiv, während die anderen Ausgabesignale null sind.

[0063] Die Bahnen gemäß Fig. 13B und die Wellenformen gemäß Fig. 14B können aus einer Fehlausrichtung der X-Antriebskraft relativ zur elastischen Steifigkeitshauptachse zum Einstellen der Gabelanordnung **11** resultieren, sogar wenn keine Winkelrate- oder -frequenz der Bewegung an der Gabelanordnung vorliegt. Eine derartige Antriebskraft-Fehlausrichtung verursacht demgemäß einen Fehler bei DIFF_90 (**616**), der das primäre Frequenz- oder Ratenausgabesignal der Vorrichtung ist. Um diesen Fehler während der Montage zu reduzieren, kann die Spulenanordnung **14** um eine Zinkenmittelachse **8** gedreht werden, während das Ausgabesignal DIFF-90 (**616**) überwacht wird, bis das Ausgabesignal DIFF_90 im wesentlichen null ist. Wenn das Signal DIFF_90 im wesentlichen null ist, kann die Spulenanordnung **14** ortsfest an Stifte **21** bis **26** geklebt oder befestigt werden.

[0064] Fig. 13C illustriert die Bahnen für eine statische Vorrichtung, die keine Antriebskraft-Fehlausrichtung aufweist, allerdings eine Dreh-Fehlausrichtung des Y-Sensors relativ zur elastischen Steifigkeitshauptachse für die Stimmgabelanordnung **11**. Dies ist ersichtlich, indem die Winkelfehlausrichtung der Bahnen **705** und **706** relativ zum Koordinatensystem **711** betrachtet wird, das die Y-Sensor-Ausrichtung repräsentiert. Gemäß Fig. 14C stellen die DIFF- und SUM-Wellenformen **719** und **720** das Ausgabesignal der Verstärker **622**, **623** (s. Fig. 12) dar. In diesem Fall ist die Y-Geschwindigkeit phasengleich (0 Grad) im Vergleich zur X-Geschwindigkeit. Wie durch die Position B illustriert ist, hat der linke Zinken, während der rechte Zinken eine positive Y- Geschwindigkeit aufweist, eine negative Y- Geschwindigkeit, so daß die DIFF-Wellenform ein Netzsignal aufweist, während das SUM-Signal null ist. Demgemäß ist, wie mit der Tabelle **718** illustriert ist, das DIFF_0-Ausgabesignal **617** positiv, während die anderen Ausgabesignale null sind. Zusammenfassend verursacht die Winkelfehlausrichtung des Y-Sensors einen Fehler bei DIFF_0 (**617**). Während dies nicht das Hauptfrequenzausgabesignal für das Instrument ist, wird jeder Fehler beim Phasenverschieber **430** einige dieser Fehler verursachen, die bei dem Hauptfrequenzausgabesignal DIFF_90 erscheinen werden. Um diesen Fehler während des Zusammenbaus zu reduzieren, kann die Spulenanordnung **14** um die Zinkenmittelachse **8** gedreht werden, während das Ausgabesignal DIFF_0 (**617**) überwacht wird, bis das Ausgabesignal DIFF_0 im wesentlichen null wird. Wenn das Signal DIFF_0 im wesentlichen null ist, kann die Spulenanordnung **14** ortsfest an die Stifte **21** bis **26** geklebt werden. Aus diese Weise minimiert mit der Antriebs- und Erfassungsspule an der gleichen Anord-

nung die Drehung der Spulenanordnung gemäß den **Fig.** 7 und 8 den Fehler B (Diff 0) und minimiert auch ausreichend einen Fehler A (Diff 90), wie oben beschrieben ist, und zwei separate Ausgabesignale werden bereitgestellt, um die richtige Drehausrichtung zwischen der Spulenanordnung **14** und der Elastizitätshauptachse der Stimmgabelanordnung **11** zu bestimmen. Für die Spulenanordnung **14**, wie oben beschrieben ist, sind die Antriebskraftspulen (X-Krafterzeuger) und die Erfassungsspulen (Y-Sensor) fest innerhalb der gleichen Anordnung montiert. Da sie im wesentlichen 90 Grad zueinander ausgebildet sind, ist es ausreichend, nur das DIFF_0-Ausgabesignal zu verwenden, um die Spulenanordnung angemessen auszurichten, bevor die Anordnung an einer festen Position geklebt wird. Im Falle, daß die Spulenanordnung **14** mit einem wesentlichen Fehler bei dem 90 Grad Winkel zwischen den Antriebskraftspulen (X-Krafterzeuger) und den Erfassungsspulen (Y-Sensor) ausgebildet wurde, wäre es unmöglich, eine Winkelausrichtung zu finden, bei der sowohl das DIFF_0- als auch das DIFF_90-Ausgabesignal gleichzeitig im wesentlichen null wäre. Bei einer alternativen Ausführung können jedoch die Antriebsspulen (X-Krafterzeuger) an einer von den Erfassungsspulen (Y-Sensor) separaten Anordnung ausgebildet sein. In diesem Fall könnte die Antriebsspulenanordnung gedreht werden, um das DIFF_90-Signal auf null zu reduzieren. Unabhängig davon könnte die Erfassungsspulenanordnung gedreht werden, um das DIFF_0-Signal auf null zu reduzieren. Dann könnten beide Spulenanordnungen geklebt oder auf andere Weise in diesen kalibrierten Ausrichtungen befestigt werden.

[0065] Fig. 13D illustriert einen Bahntypus für den linken und den rechten Zinken, welcher sich durch Asymmetrien bei der Stimmgabelanordnung **11** und/oder aus der Aufbausteifheit des Instruments ergeben. Die Bahnen **707** und **708** sind relativ zur Y-Sensorausrichtung gemäß dem Koordinatensystem **711** fehlausgerichtet. In Fig. 14D repräsentieren die DIFF- und SUM-Wellenformen **722** und **723** das Ausgabesignal der Verstärker **622**, **623** (s. Fig. 12). In diesem Fall ist die Y-Geschwindigkeit phasengleich zur X-Geschwindigkeit. Wie durch die Position B illustriert ist, hat der linke Zinken, während der rechte Zinken eine positive Y-Geschwindigkeit aufweist, auch eine positive Y-Geschwindigkeit, so daß die SUM-Wellenform ein Netzsignal ist, während das DIFF-Signal null ist. Demgemäß ist, wie durch die Tabelle **724** illustriert ist, das SUM_0-Ausgabesignal **619** positiv, und die anderen Ausgabesignale sind null. Zusammenfassend kann ein Elastizitätsunterschied im linken und rechten Zinken längs der Vibrationshauptachse einen Fehler bei SUM_0 (**619**) hervorrufen. Obwohl dies nicht das Hauptfrequenzausgabesignal ist, wird irgendein Phasenfehler beim Phasenverschieber **430**, der mit einem Gleichtakt-Unterdrückungsfehler des Differentialverstärkers **622** verbunden ist, einige dieser Fehler hervorrufen, die bei dem DIFF_90-Ausgabesignal auftreten, das das Hauptfrequenzausgabesignal ist. Um diesen Fehler während der Montage zu reduzieren, kann die Stimmgabelanordnung **14** durch Materialbeseitigung oder Massenhinzufügung eingestellt werden, bis das Ausgabesignal SUM_0 im wesentlichen null wird.

[0066] Fig. 13E illustriert einen zweiten Bahntypus für den linken und den rechten Zinken, der sich aufgrund von Asymmetrien bei der Stimmgabelanordnung **11** und/oder der Aufbausteifigkeit der Anordnung ergibt. Die Bahnen **709** und **710** sind relativ zur Y-Sensorausrichtung in dem Koordinatensystem **711** fehlausgerichtet. In Fig. 14E repräsentieren die DIFF- und SUM-Wellenformen **725** und **726** die Ausgabe der Verstärker **622**, **623** (s. Fig. 12). In diesem Fall ist die Y-Geschwindigkeit um 90 Grad verglichen mit der X-Geschwindigkeit phasenverzögert. Wie durch die Position C illustriert ist, hat der linke Zinken, während der rechte Zinken eine positive Y-Geschwindigkeit aufweist, auch eine positive Y-Geschwindigkeit, so daß die SUM-Wellenform ein Netzsignal aufweist, während des DIFF-Signals null ist. Demgemäß ist, wie mit der Tabelle **724** illustriert ist, das SUM_90-Ausgabesignal **619** positiv, während die anderen Ausgabesignale null sind. Zusammenfassend kann die elastische Asymmetrie bei der Stimmgabel **11** oder bei dem Montagesystem für das Instrumente einen Fehler bei SUM_90 (**618**) aufweisen. Obwohl dies nicht das Hauptfrequenzausgabesignal für das Instrument ist, wird irgendein Gleichtaktunterdrückungsfehler des Differentialverstärkers **622** einige dieser Fehler hervorrufen, um in dem primären Frequenzausgabesignal DIFF_90 zu erscheinen. Um diesen Fehler während der Montage zu reduzieren, kann die Stimmgabelanordnung **11** durch Materialentfernung oder Massenhinzufügung angepaßt werden, bis das Ausgabesignal SUM_90 im wesentlichen null wird.

[0067] Die Fig. 16A, Fig. 16B und Fig. 16C zeigen die Spulenanordnung **14** und sowohl die Antriebsspulen **31**, **33** als auch die Erfassungsspulen **71**, **72**. Die Bezugszeichen für jede Spule **31**, **33**, **71**, **72** sind in jedem der beiden Quadranten positioniert, die von der dem Bezugszeichen zugehörigen Spule umgeben sind. Der magnetische Bereich **32** ist in unmittelbarer Nähe des Magneten **4** und des Rückführpfades **2** angeordnet, wobei beide eine höhere Permeabilität als der freie Raum aufweisen. Wenn Strom durch die Spulen **31** und **33** fließt, koppelt der magnetische Bereich **32** den Fluß in die Spulen **71**, **72**, um in den Spulen **71**, **72** eine Spannung zu induzieren. Die Spulen **71**, **72** sind Teil eines Erfassungssystems, so daß die induzierte Spannung das Potential aufweist, um eine Fehlerspannung in der primären Ausgabe der Vorrichtung zu erzeugen. Die Kopplung von den Spulen **31**, **33** zu den Spulen **71**, **72** wird als gegenseitige Induktion bezeichnet. Die induzierte Span-

nung von der gegenseitigen Induktion ist um 90 Grad gegenüber dem Antriebsstrom phasenverschoben. Um ein Resonanzsystem bei dessen natürlicher Frequenz zu betreiben, muß die Antriebskraft phasengleich zur Geschwindigkeit sein. Jedoch wird die gegenseitige Induktionsfehlerspannung um 90 Grad von dem Strom in den Spulen **31**, **33** phasenverschoben sein, der phasengleich zur X-Komponente der Geschwindigkeit ist, was wiederum als Demodulationsphasenbezug verwendet wird. Demgemäß setzt sich die gegenseitige Induktionsfehlerspannung durch die Demodulatoren hindurch fort, die einen 90 Grad Phasenbezug verwenden und das DIFF_90- und das SUM_90-Ausgabesignal **616**, **618** beeinflussen werden.

[0068] Fig. 16A und Fig. 16B zeigen den Vorteil der vorliegenden Spulengeometrie, bei der eine Fehlausrichtung ausschließlich in der X- oder Y-Position kleine gegenseitige Induktionsfehler erzeugt. In Fig. 16A ist der magnetische Bereich **32** in einer ausgerichteten Position dargestellt. Es gibt ähnliche Bereiche **32** bei beiden Spulen **31** und **33**, die in entgegengesetzten Richtungen durch den Bereich **32** hindurch gewunden sind. Demgemäß gibt es eine gegenseitige Null-Induktion zwischen den Spulen **31**, **33** und den Spulen **71**, **72**. Sogar wenn der magnetische Bereich **32** ausschließlich in Y-Richtung **711** aus dessen in Fig. 16A gezeigten Position verlagert wird, gäbe es noch den gleichen Bereich in den Spulen **31** und **33**, und es gäbe noch die gegenseitige Null-Induktion zwischen den Spulen **31**, **33** und den Spulen **71**, **72**. In Fig. 16B ist der magnetische Bereich **32** in X-Richtung gemäß dem Koordinatensystem **711** fehlausgerichtet. Die Spule **31** umgibt stärker den magnetischen Bereich **32** als die Spule **33**. Demgemäß wird der durch die Spulen **31**, **33** fließende Strom einen nicht vernachlässigbaren Netzfluß (Nicht-Null-Netzfluß) erzeugen, um durch den magnetischen Bereich **32** hindurch zu fließen sowie durch den Magnetkreis mit dem Magneten **4** und dem Rückführpfad **2**. Jedoch teilen sich die Spulen **71** und **72** den gleichen Flächenabschnitt des magnetischen Bereichs **32**, und die Spulen **71** und **72** werden in unterschiedliche Richtungen gewunden, so daß die induzierte Spannung an der Spule **71** durch die induzierte Spannung an der Spule **72** beeinflußt wird. Somit verursacht die Fehlausrichtung ausschließlich in X-Richtung keine gegenseitige Induktion zwischen den Spulen **31**, **33** und den Spulen **71**, **72**. In Fig. 16C ist der magnetische Bereich **32** sowohl in X- als auch in Y-Richtung fehlausgerichtet. In diesem Fall wird der Nicht-Null-Fluß durch den magnetischen Bereich **32** hindurch fließen, und die induziert Spannung an der Spule **71** wird überhaupt nicht durch die Spule **72** beeinflußt. Daher wird es eine gegenseitige Nicht-Null-Induktion zwischen den Spulen **31**, **33** und den Spulen **71**, **72** unter diesen Bedingungen geben. Eine derartige gegenseitige Induktion kann durch absichtliches Anlegen eines bekannten Sinusstroms durch an den Spulen **31**, **33** und durch das Erfassen der induzierten Spannung an den Spulen **71**, **72** gemessen werden. Der Strom sollte bei einer Frequenz sein, die von jeglicher mechanischen Resonanzfrequenz unterschiedlich ist, so daß die gegenseitige Induktion ohne die Erregung einer mechanischen Vibration gemessen werden kann.

[0069] Während des Zusammenbaus kann die gegenseitige Induktion dadurch minimiert werden, daß die Spulenanordnung **14** in der X- und/oder Y-Richtung positioniert wird, während die gegenseitige Induktion, wie in dem vorstehenden Absatz beschrieben, gemessen wird. Wenn dies gegenseitige Induktion im wesentlichen minimiert ist, kann die Spulenanordnung geklebt oder auf andere Weise ortsfest gesichert werden. Dieser Positionierschritt kann vor oder nach dem Drehen der Spulenanordnung durchgeführt werden, um die mit Bezug auf die Fig. 13A und Fig. 13B beschriebenen Fehler zu minimieren.

[0070] Bezugnehmend auf Fig. 15 repräsentiert das Hauptfrequenzausgabesignal DIFF_90 (**616**) idealerweise die Winkelfrequenz oder -rate der Vibrationsgabelanordnung, und es ist idealerweise unabhängig von Fehlern beim Zusammenbau und von dessen Betriebsbedingungen, wie zum Beispiel Herstellungsfehler, gegenseitige Induktion von Spulen, Betriebstemperatur und Steifheit des Haltesystems. In der Praxis ist das Primärfrequenzausgabesignal DIFF_90 nicht ganz unabhängig von Fehlern beim Zusammenbau und den Umgebungseinflüssen. Es ist wünschenswert, eine Frequenz- oder Ratenausgabe zu erzeugen, die im wesentlichen unabhängig von Fehlern ist, so daß die oben beschriebene Korrekturtechnik eingesetzt werden kann.

[0071] Die DIFF_0-, SUM_90-, SUM_0- und CURR-Ausgabesignale **617**, **618**, **619** und **626** hängen nicht von der Winkelfrequenz oder -rate der Vibrationsgabelanordnung ab, allerdings hängen sie von Fehlern ab, wie zum Beispiel von Herstellungsungenauigkeiten, der Betriebstemperatur, der Steifheit des Haltesystems. Die Fehlerabhängigkeit der Ausgabesignale **616**, **617**, **618**, **619** und **626** kann dadurch gemessen werden, daß das Instrument bei verschiedensten Umgebungen und Haltesystemen betrieben wird, und daß anschließend die Spannung an diesen Ausgängen für jede Bedingung gemessen wird. Sobald die Fehlerabhängigkeit jeder Ausgabe charakterisiert ist, ist es möglich, die einstellbaren Widerstände einzusetzen, die quer über die verschiedenen Ausgänge der Einzeleingangs-Verstärker **751**, **752**, **753**, **754** und **757** verbunden sind, so daß die Fehlerabhängigkeit der Endausgabe **756** im wesentlichen fehlerunabhängig ist, obwohl die Abhängigkeit von der Winkelfrequenz oder -rate der Vibrationsgabelanordnung beibehalten ist.

[0072] Die Funktionsweise gemäß Fig. 15 kann

durch analoge Schaltungen realisiert werden, wie sie gezeigt sind, oder kann durch ein digitales System erzielt werden, bei dem die Ausgangssignale **616**, **617**, **618**, **619** und **626** mit einem Analog-Digital-Wandler abgetastet werden. Anschließend kann ein Mikroprozessor das Frequenz- oder Ratenausgabesignal sukzessive berechnen, indem eine Kalkulationsfunktion ausgeführt wird, die von den abgetasteten Werten sowie Kalibrierkonstanten abhängig ist, die während des Zusammenbaus bestimmbar sind und anschließend in einem nicht flüchtigen Speicher als geeignete Korrekturfaktoren gespeichert werden können, damit sie in die Kalkulationsfunktion auf herkömmliche Weise eingearbeitet werden.

[0073] Bezüglich der obigen Beschreibung und Analysen von möglichen Schwingungsbahnen der Vibrationszinken und der sich daraus ergebenden zugehörigen elektrischen Signale sei angemerkt, daß die erfindungsgemäße Vibrationsvorrichtung auch als Beschleunigungsmesser oder Schwingungssensor dienen kann, der auf Bewegungen senkrecht zur Vibrationsebene und auf Bewegungen in der Schwingungsebene anspricht, die mit der Vibrationsrichtung der Zinken ausgerichtet ist.

[0074] Zurückkommend auf Fig. 1, sind bei einer perfekt symmetrischen Stimmgabel der linke Zinken **7** und der rechten Zinken **9** gleich steif, der linke Magnet **4** und rechte Magnet **5** besitzen die gleiche Masse, und der linke Rückführpfad **2** sowie der rechte Rückführpfad **3** weisen die gleiche Masse auf. Somit wird die Stimmgabel symmetrische schwingen, ohne nennenswerte Kräfte oder Momente über den mittleren Zinken **8** und dem Montageflansch **10** zu übertragen. In der Praxis verursachen Fertigungsungenauigkeiten Kräfte und Momente, die auf den mittleren Zinken **8** und den Montageflansch **10** übertragen werden. Ein doppelachsiges Gyroskop kann, wie in Fig. 10 dargestellt ist, dadurch ausgebildet werden, daß ein Paar Anordnungen gemäß Fig. 6B verwenden wird, die in orthogonaler Ausrichtung auf dem gleichen Substrat **13** angebracht sind. Zum Einstellen der Gabelsymmetrien, wie oben beschrieben ist, werden Kräfte und Drehmomente von jeder Stimmgabelanordnung auf das gemeinsame Substrat **13** übertragen. Das Substrat **13** ist auf einer Kunststoffbasis **55** montiert, die an einem äußeren Schutzschild oder einer Abschirmhülle **57** befestigt ist. Die übertragenen Kräfte und Drehmomente veranlassen, daß das zentrale Substrat **13**, die Kunststoffbasis **55** und der Abschirmbehälter **57** bei Frequenzen der Kräfte und Drehmomente schwingen. Die Amplitude, die Richtung und die Ausrichtung der daraus resultierenden translatorischen und rotatorischen Schwingungen hängen von der Masse, dem Trägheitsdrehimpuls und der elastischen Steifheit des Substrats **13**, der Kunststoffbasis **55**, des Abschirmbehälters **57** und des Montagesystems der Anordnung ab. Demgemäß ist die natürliche Resonanz der ersten Stimmgabelanordnung von der natürlichen Resonanz der zweiten Stimmgabelanordnung unterschiedlich ausgeführt. Beispielsweise ist die erste Stimmgabel mit einer natürlichen Resonanz um etwa 1000 Hz ausgelegt, und die zweite Stimmgabelanordnung ist mit einer natürlichen Resonanz von etwa 1500 Hz ausgeführt. In diesem Fall kann das gemeinsame Substrat **13** sowohl bei 1000 Hz als auch bei 1500 Hz schwingen. Die sich daraus ergebende Schwingung des gemeinsamen Substrats **13** kann sympathetische Schwingungen oder Resonanzschwingungen der jeweiligen Stimmgabelanordnung erregen. Schwingungen, die Drehmomente hervorrufen, die von dem mittleren Substrat über den mittleren Zinken **8** an jede Stimmgabel übertragen werden, regen unterschiedliche Schwingungen des linken und rechten Zinkens an, was von den Spulen **71**, **72**, **73**, **74** erfaßt wird. Dies wiederum resultiert in Fehlerspannungssignalen an dem DIFF-Signal **606** gemäß Fig. 12. Das Fehlerspannungssignal wird bei den Schwingungsfrequenzen des gemeinsamen Substrats **13** oder bei etwa 1000 Hz und etwa 1500 Hz liegen. Jedoch arbeiten die zu der jeweiligen Abstimmformanordnung gehörigen Demodulatoren bei der Resonanzfrequenz jeder Stimmgabel. Beispielsweise arbeitet der zweite Demodulator bei 1500 Hz. Wenn der zweite Demodulator das fehlerhafte Spannungssignal aufgrund der Schwingung des gemeinsamen Substrats **13** demoduliert, wird die 1000 Hz-Komponente der Spannung mit der 1500 Hz-Bezugsfrequenz gemischt und wird keine Netz-Gleichstrom-Ausgabeverschiebung erzeugen, allerdings wird es Wechselstromkomponenten der Fehlerspannung bei der Summen- und Differenzfrequenz geben. In diesem Fall wird der Demodulator das Fehlersignal auf eine Kombination von 500 Hz und 2500 Hz als Modulationsseitenbänder verschieben. Ein derartiges Fehlersignal könnte zu einem Ausgaberauschen führen, falls es durch einen Tiefpaßfilter **612**, **617**, **618** und **619** läuft. Daher sollte die Differenz zwischen den natürlichen Resonanzfrequenzen der beiden Stimmgabeln groß genug ausgewählt werden, um eine geeignete Filterung zu erleichtern. Bei Anwendungen, die einen Aufbau von drei Stimmgabeln auf zueinander orthogonalen Achsen in derselben Einheit fordern, sollte die Differenz zwischen den natürlichen Resonanzfrequenzen aller drei Stimmgabeln groß genug ausgewählt werden, um eine geeignete Filterung zu erleichtern.

[0075] Bei den alternativen Ausführungen, die in den Fig. 17 und Fig. 18 illustriert ist, werden die Magnetkreise **802** bis **807** im wesentlichen in der Ebene der Schwingungsgabel **801** auf eine zu der Ausführung gemäß Fig. 2 ähnliche Weise ausgerichtet, wobei die Rückführpfade integral aus magnetischem Material (beispielsweise Stahl) mit der Gabel ausgebildet sind und die Magneten **804**-**807** an gegenüberliegenden Seiten des Spalts positioniert sind, um die Einheitlichkeit und die Dichte des magnetischen

Flusses quer über den Spalt zu verbessern. Wie in den Fig. 19 und Fig. 20 illustriert ist, sind die Auslegerplatten **809**, **810**, die aus einer beträchtlichen Masse im Verhältnis zu den Schwingungsmassen der Zinken und den zugehörigen Magnetschaltungen gebildet sind, starr in einem Abstand und parallel zu der Stimmgabel **808** über eine Schweißverbindung angebracht oder über andere geeignete starre Verbindungen des zentralen Zinkens der Gabel **808** an den in einem Abstand angeordneten Paßnasen der Montageplatten **809**, **810**. Die beiden äußeren Platten bilden daher symmetrische massive Dämpfer um die Vibrationsgabel **808** herum, und diese Platten werden an elastischen Gummitüllen **811**, **812** in einer Ebene im wesentlichen durch den Massenmittelpunkt der Anordnung hindurch getragen, wie in Fig. 20 gezeigt ist.

[0076] Wie in den Fig. 21 und Fig. 22 illustriert ist, ist eine Spulenanordnung **814**, die im wesentlichen wie in den **Fig.** 6-8 vorstehend beschrieben ausgeführt ist, ortsfest in Schlitzen innerhalb der äußeren Platte (die mit den Spalten in den magnetischen Schwingungsschaltungen ausgerichtet sind) auf die vorstehend in bezug auf **Fig.** 16 beschriebene Weise positioniert. Anordnungen dieses Typs können für eine doppelachsige Ansprechempfindlichkeit zusammengepackt werden, indem die Schwingungsgabeln eines Paares solcher Schwingungsgyroskope **816**, **817** in einer orthogonalen Ausrichtung an einer gemeinsamen Halterung **818** ausgerichtet werden, wobei die Verbindungen von den Spulenanordnungen mit einem Kontaktmodul **819** flexibel gekoppelt sind, das von der Halterung **818** für ein vollständiges Verpacken innerhalb des äußeren Schutzschild oder des Schirmbehälters **821** vorsteht.

[0077] Bei dieser Ausführung sind die Asymmetrien bei den Zinken der Stimmgabeln, die die Kräfte und Drehmomente an den mittleren Zinken verteilen, durch Koppeln dieser Schwingungsenergie an die massiven äußeren Platten **809**, **810** wesentlich reduziert. Zudem ist jedes reduzierte Niveau von Schwingungsenergie, die an die äußeren Platten gekoppelt ist, nur lose über die elastischen Gummitüllen **811**, **812** an die zugehörigen Montagestäben der gemeinsamen Halterung **818** gekoppelt. Schließlich kann die gemeinsame Halterung **818** mit einer großen Masse ausgebildet sein, um die Schwingungsenergie weiterzudämpfen, die nur lose daran über die elastischen Gummitüllen **811**, **812** gekoppelt sind. Somit können nur erheblich reduzierte Pegel von Schwingungsenergie an der gemeinsamen Halterung **818** anliegen, die einer Gabel zuordenbar ist, um an die andere Gabel gekoppelt zu werden (über die lose Kopplung elastischer Gummitüllen und äußerer massiver Platten). Daher resultieren die erheblich reduzierten Rauschpegel aus einer Kreuzkupplung zwischen gepackten Gyroskopen auf die beschriebene Weise, wie in Fig. 24 dargestellt ist.

[0078] Daher bildet das erfindungsgemäße Schwingungsgyroskop eine in hohem Maße reproduzierbare, kostengünstige und robuste Anordnung, die elektrische Ausgabesignale in Reaktion auf eine Relativbewegung zur Schwingungsebene von Schwingungsmagnetkreisen bereitstellt, die an den Zinken einer Stimmgabel getragen sind. Eine Spulenverbundanordnung, die zum elektromagnetischen Kommunizieren mit einem elektromagnetischen Fluß bei den Lücken oder Spalten der magnetischen Schwingungsschaltungen angeordnet ist, stellt auf diese Weise Wandler bereit, um stationäre Gabelschwingungen zu erfassen und dynamische Bewegungen der Schwingungsgabel relativ zur Ebene der stationären Schwingungen zu erfassen. Eine elektronische Schaltung unterstützt das Reduzieren von Fehlern bei Ausgabehinweisen, die Herstellungenauigkeiten und einer mechanischen Fehlausrichtung zuordenbar sind, und erleichtert auch die Endkalibrierung und den Zusammenbau für einen Betrieb mit minimalen Fehlerkomponenten in den Ausgabehinweisen einer dynamischen, auf diese Weise erzeugten Bewegung.

Patentansprüche

1. Vibrations-Gyroskop, welches auf eine Bewegung relativ zu einer Vibrationsebene anspricht, mit folgenden Merkmalen:
ein Vibrationselement (**1**) mit einem Paar Vibrations-Zinken (**7**, **9**), die symmetrisch um eine gemeinsame Halterung zur Vibration innerhalb der Ebene angeordnet sind;
ein Magnetkreis mit einer Magnetflußquelle (**4**, **5**) und einem Magnetrückführpfad (**2**, **3**), welche an jedem Zinken (**7**, **9**) angebracht sind, um einen Magnetspalt zu bilden; und
einer Spulenanordnung (**14**) mit elektrischen Leitern (**31**-**37**), welche in dem Magnetspalt jedes Zinkens (**7**, **9**) angeordnet sind, um elektrische Signale zu liefern und zu empfangen, welche eine Vibrationsbewegung eines Zinkens (**7**, **9**) relativ zu der zugehörigen Spulenanordnung (**14**) angeben.

2. Verfahren für den Zusammenbau eines Vibrations-Gyroskops mit zwei Vibrations-Magnetkreisen, die jeweils eine Magnetflußquelle (**4**, **5**) und einen zugehörigen Magnetrückführpfad (**2**, **3**) haben, welche so angeordnet sind, daß ein Magnetspalt gebildet wird, und mit einer Spulenanordnung (**14**) auf elektrischen Leitern (**31**-**37**), die innerhalb des Spaltes jedes Magnetkreises angeordnet sind, mit folgenden Verfahrensschritten:
Orientieren der Magnetkreise, so daß sie innerhalb einer gemeinsamen Ebene vibrieren;
Positionieren der Spulenanordnung (**14**) innerhalb des Spalts jedes Magnetkreises zum Auffangen des Magnetflusses in dem Spalt;
Verursachen einer Vibration der Magnetkreise in der gemeinsamen Ebene, während elektrische Signale an den Leitern (**31**-**37**) der Spulenanordnung (**14**) er-

faßt werden;
Verarbeiten der elektrischen Signale von der Spulenanordnung (**14**), um eine Angabe über die richtige räumliche Ausrichtung der Spulenanordnung (**14**) relativ zu dem zugehörigen Magnetkreis vorzusehen, wobei minimale Komponenten in dem elektrischen Signal repräsentativ für physikalische Fehler in der Anordnung des Gyroskops sind; und
festes Anbringen der Spulenanordnung (**14**) in einer Position innerhalb der Magnetspalte der Vibrations-Magnetkreise, um elektrische Signale vorzusehen, welche eine Bewegung relativ zu der gemeinsamen Ebene der Vibrations-Magnetkreise angeben, wobei minimale Komponenten der elektrischen Signale repräsentativ für physikalische Fehler in der Anordnung des Gyroskops sind.

3. Verfahren zum Betreiben eines Vibrations-Gyroskops mit einem Paar Vibrations-Magnetkreise, die jeweils eine Magnetflußquelle (**4**, **5**) und einen zugehörigen Magnetrückführpfad (**2**, **3**) aufweisen, die so angeordnet sind, daß ein Magnetspalt gebildet wird, und mit einer Spulenanordnung (**14**) aus mehreren Gruppen elektrischer Leiter (**31**-**37**), welche innerhalb des Spaltes jedes Magnetkreises angeordnet sind, mit folgenden Verfahrensschritten:
Anlegen eines elektrischen Signals an eine erste Gruppe der elektrischen Leiter (**31**-**37**) der Spulenanordnung (**14**) in einem Spalt wenigstens eines Magnetkreises, um dessen Vibration innerhalb einer Ebene des Magnetkreispaares anzuregen;
Erfassen eines elektrischen Signals von einer zweiten Gruppe elektrischer Leiter (**31**-**37**) der Spulenanordnung (**14**) in einem Spalt eines anderen Magnetkreispaares, wobei das Signal die Vibration dieses Magnetkreises relativ zur Vibration des zuerst genannten Magnetkreises angibt;
Verarbeiten des elektrischen Signals von der zweiten Gruppe der elektrischen Leiter (**31**-**37**) zur Steuerung des elektrischen Signals, welches an die erste Gruppe der elektrischen Leiter (**31**-**37**) angelegt wird;
Erfassen elektrischer Signale von einer dritten und einer vierten Gruppe elektrischer Leiter (**31**-**37**) der Spulenanordnung (**14**) in den Spalten des Magnetkreispaares, welche eine Bewegung der Vibrations-Magnetkreise in bezug auf deren Vibrationsebene angeben; und
Verarbeiten der elektrischen Signale von der dritten und der vierten Gruppe elektrischer Leiter (**31**-**37**), um ein elektrisches Ausgangssignal vorzusehen, das eine Bewegung des Vibrations-Gyroskops in einer Richtung im Verhältnis zu einer Ebene der Vibrationsbewegung der Magnetschaltkreise angibt.

4. Elektromagnetische Wandleranordnung für ein Vibrations-Gyroskop, mit folgenden Merkmalen:
ein Paar Magnetkreise, von denen jeder für eine Vibrationsbewegung innerhalb einer gemeinsamen Ebene angebracht ist und eine Magnetflußquelle (**4**, **5**) und einen Magnetrückführpfad (**2**, **3**) aufweist, um einen Spalt zu bilden;
eine Spulenanordnung (**14**) mit mehreren Gruppen elektrischer Leiter (**31**-**37**), die so angeordnet sind, daß sie Spulen innerhalb des Spaltes jedes Magnetkreises bilden, wobei eine erste der Spulen (**31**-**37**) in einem Spalt des Spaltpaares und eine zweite Spule (**31**-**37**) in einem anderen Spalt des Spaltpaares angeordnet ist und beide ein Paar im wesentlichen flacher, spiralförmig gewickelter Segmente aufweisen, welche in einer Ebene liegen, die senkrecht zu dem Spalt ist und entlang der Richtung der Vibration der Vibrations-Magnetkreise um einen mittleren Bereich versetzt sind, in welchem die spiralförmig gewickelten Leiter ihre Spiralorientierung ändern, und im wesentlichen senkrecht zu der Vibrationsrichtung angeordnet sind, wobei eine dritte der Spulen (**31**-**37**) in einem Spalt des Spaltpaares und eine vierte der Spulen (**31**-**37**) in einem anderen Spalt des Spaltpaares angeordnet ist und jeweils ein Paar im wesentlichen flacher, spiralförmig gewickelter Segmente aufweist, welche in einer zum Spalt senkrechten Ebene liegen und in einer zu der Vibrationsrichtung der Vibrations-Magnetkreise senkrechten Richtung um einen mittleren Bereich versetzt sind, in welchem die spiralförmig gewickelten Leiter ihre Spiralorientierung umkehren, und zu der Vibrationsrichtung ausgerichtet sind, wobei der mittlere Bereich der ersten, der zweiten, der dritten und der vierten Spule (**31**-**37**) zu den Spalten der zugehörigen Magnetkreise ausgerichtet ist, um in bezug auf die Bewegung der Magnetkreise relativ zur gemeinsamen Ebene der Vibrationsbewegung eine elektrische Wechselwirkung mit diesen zu bewirken.

Es folgen 18 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

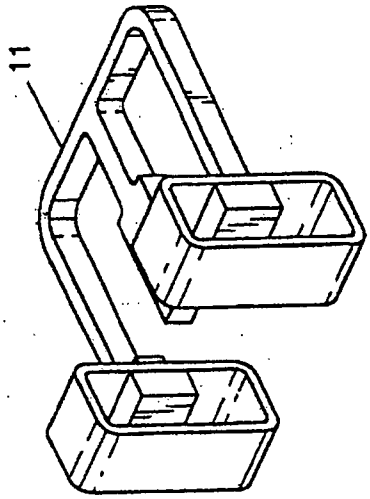


FIG. 3

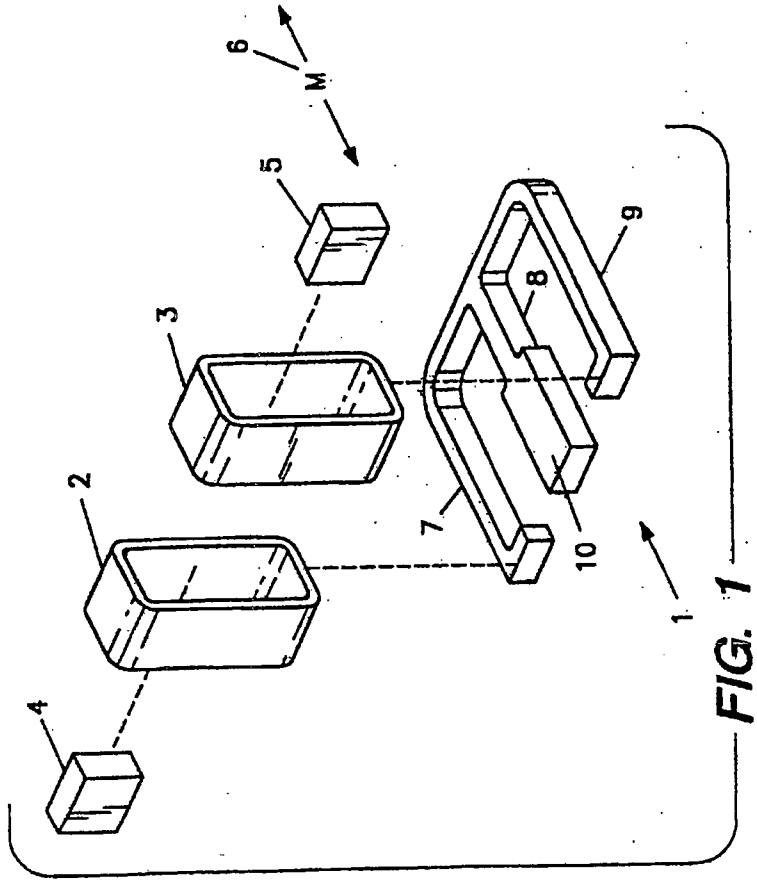


FIG. 1

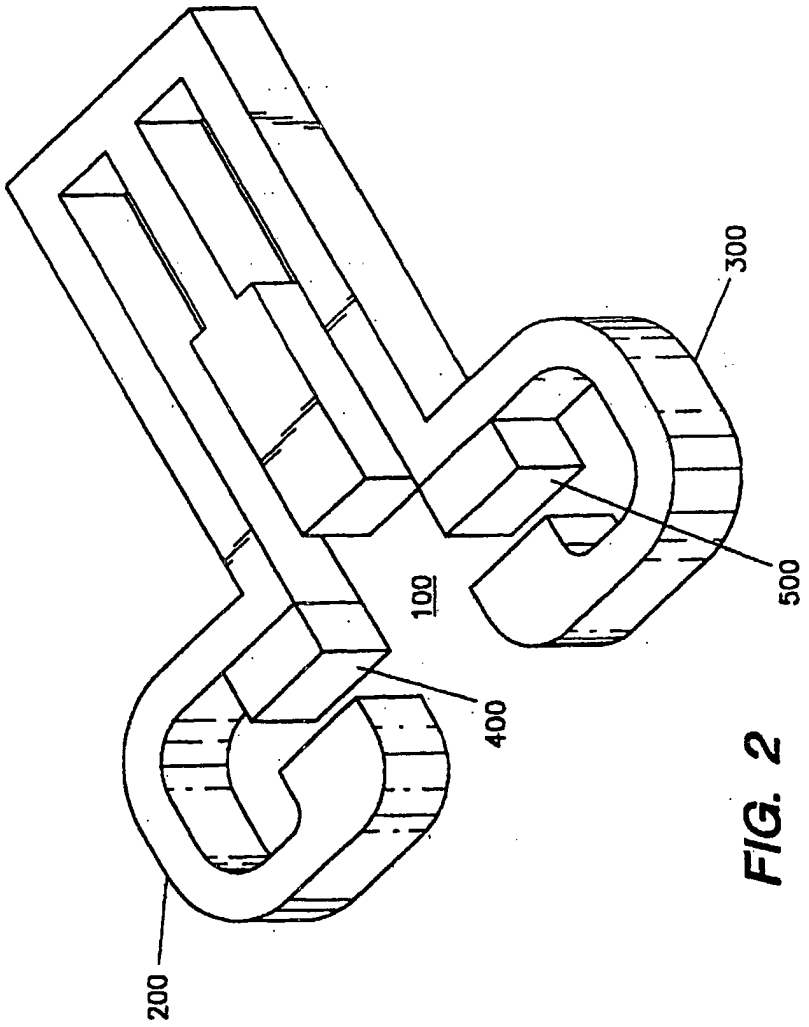


FIG. 2

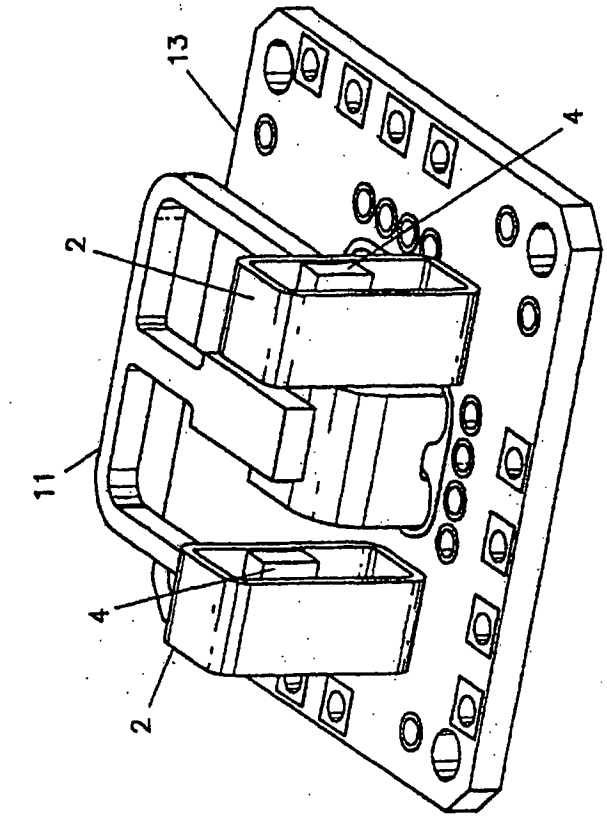


FIG. 5

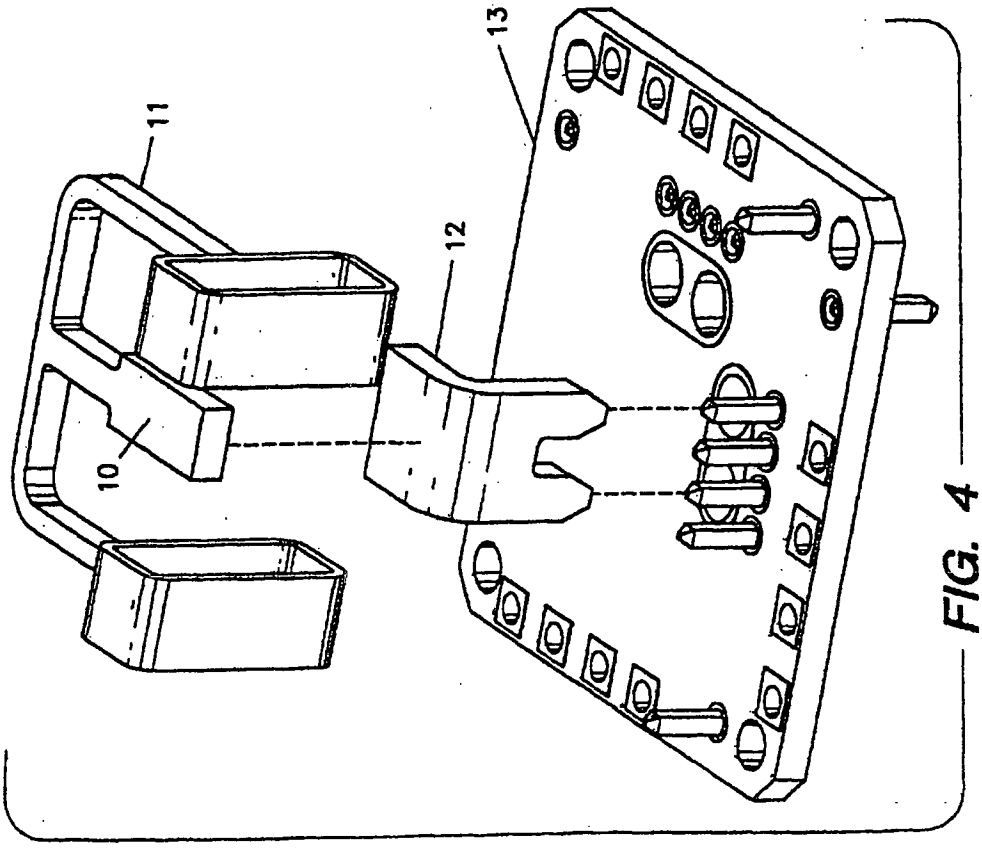


FIG. 4

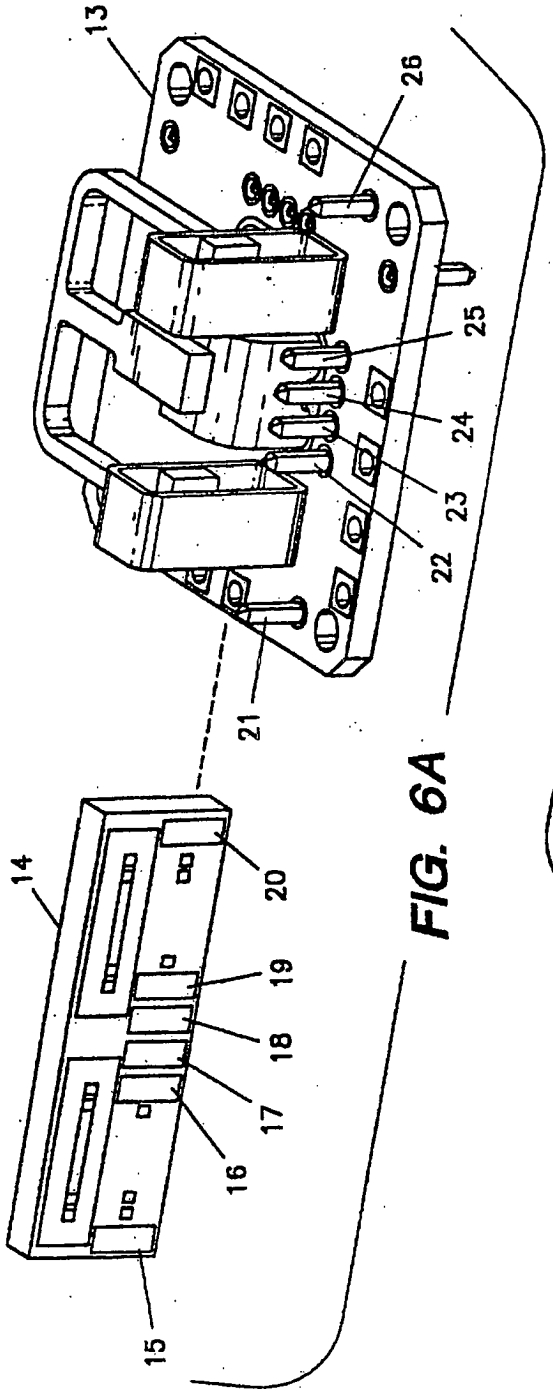


FIG. 6A

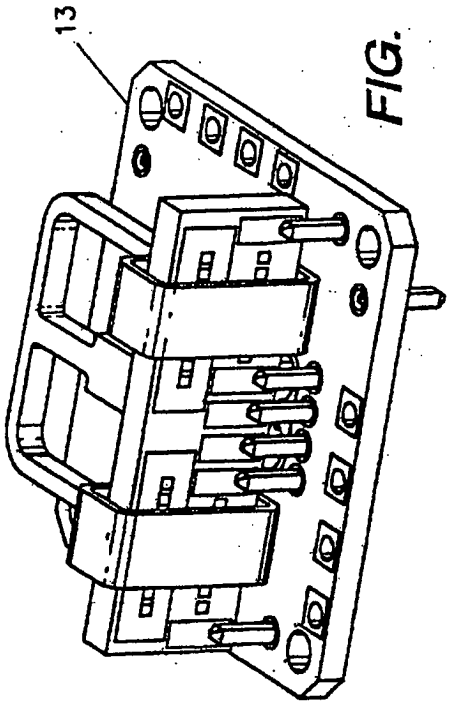


FIG. 6B

FIG. 7A

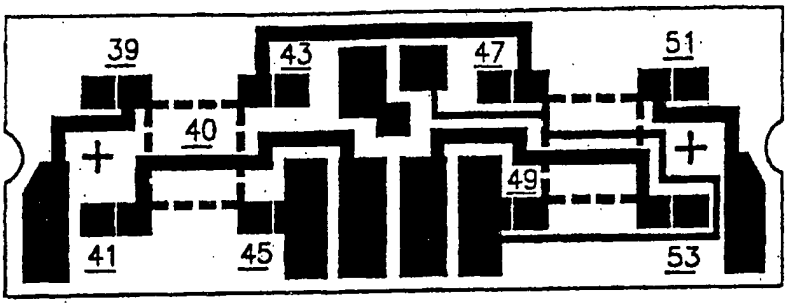


FIG. 7B

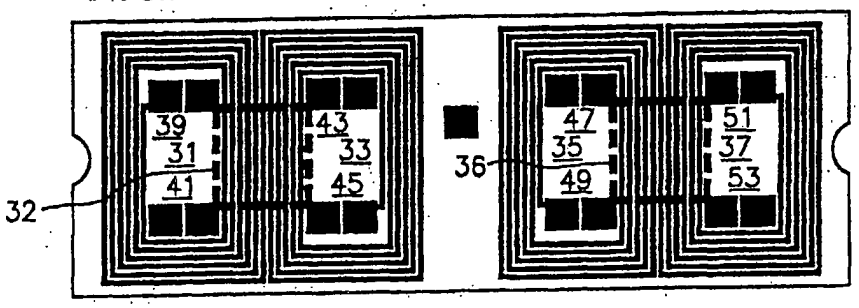


FIG. 7C

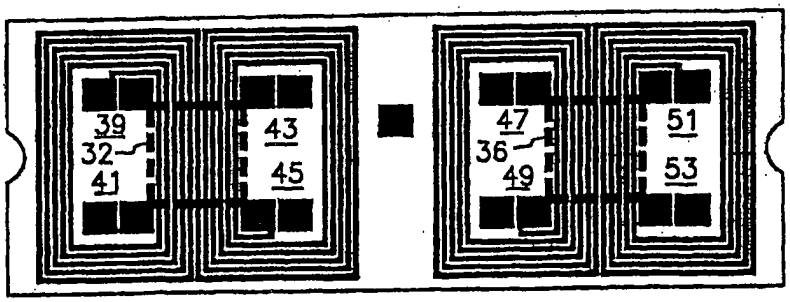


FIG. 7D

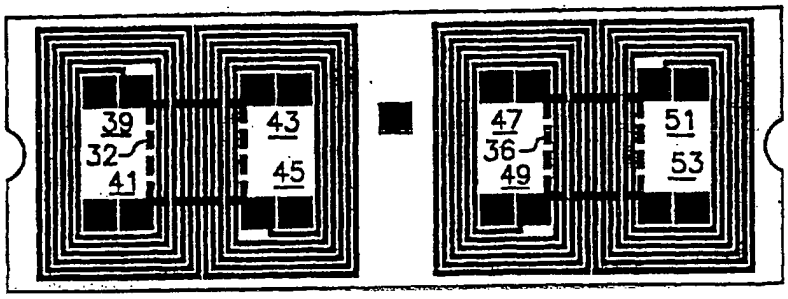


FIG. 8A

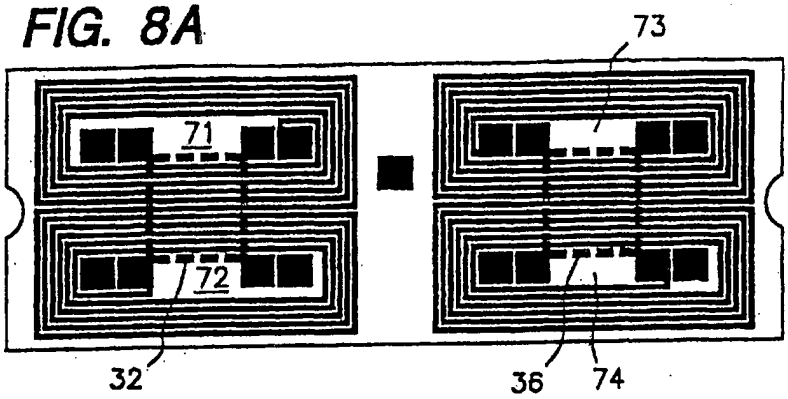


FIG. 8B

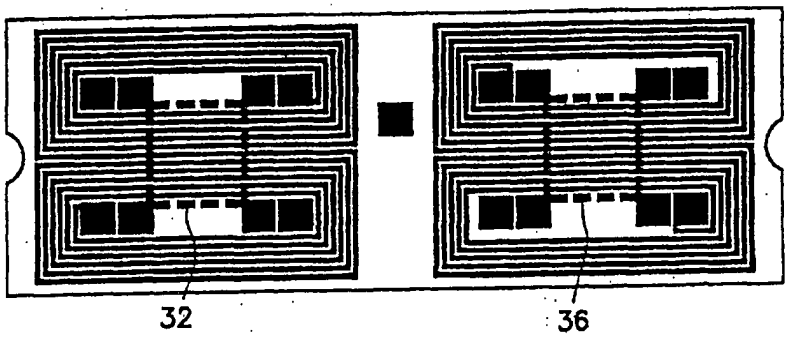
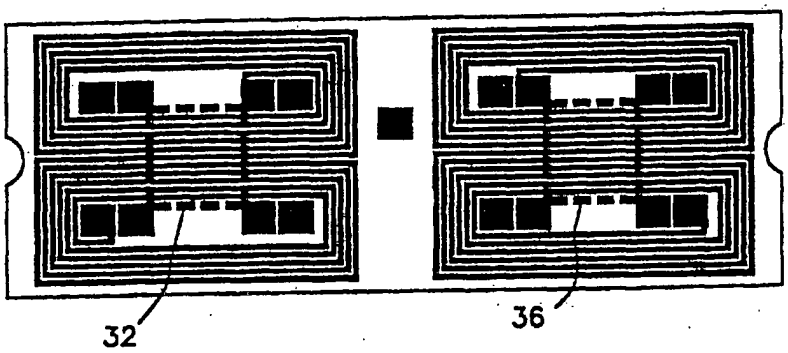


FIG. 8C



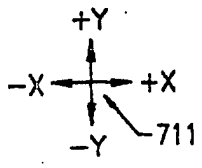


FIG. 9

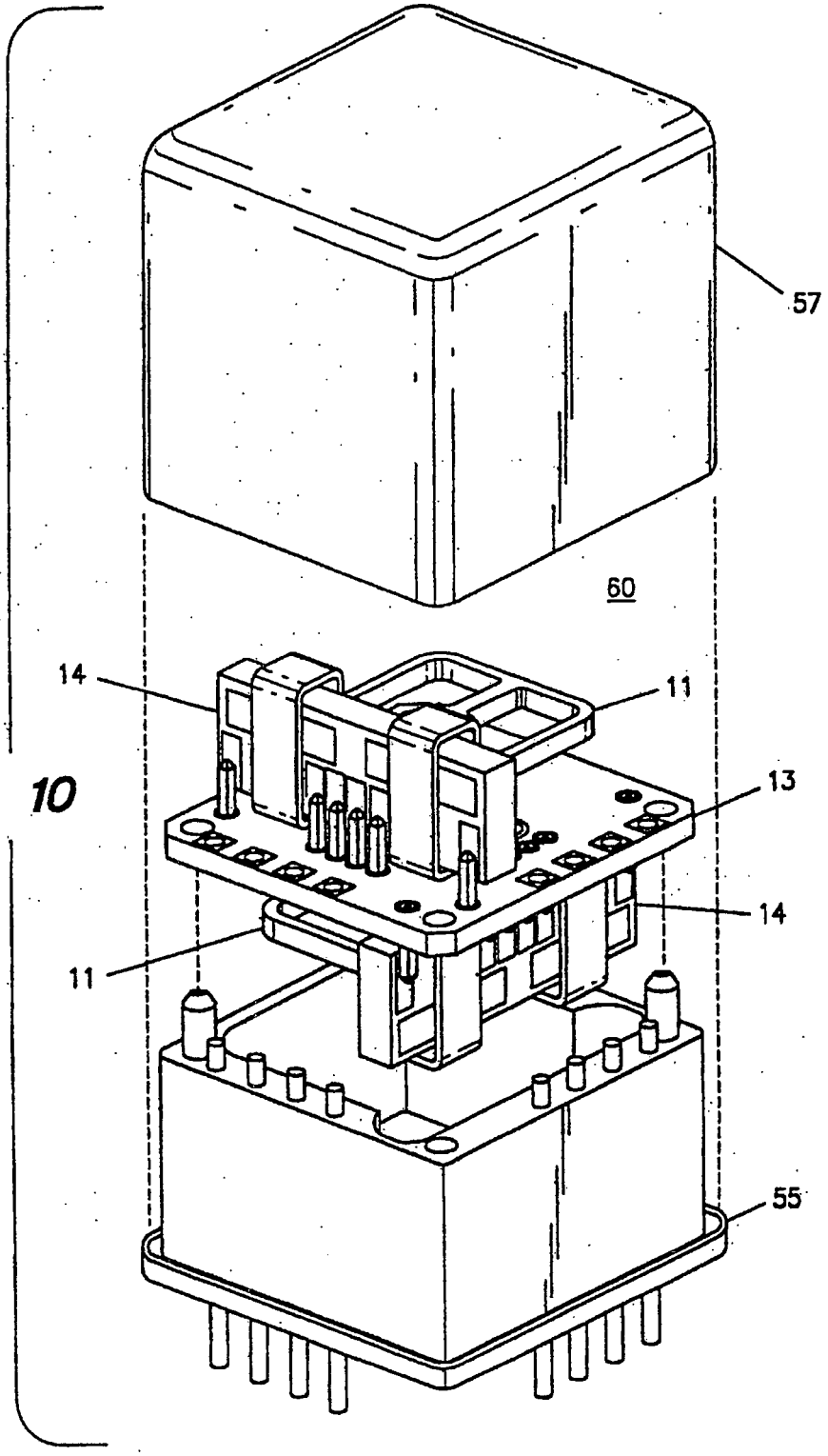


FIG. 10

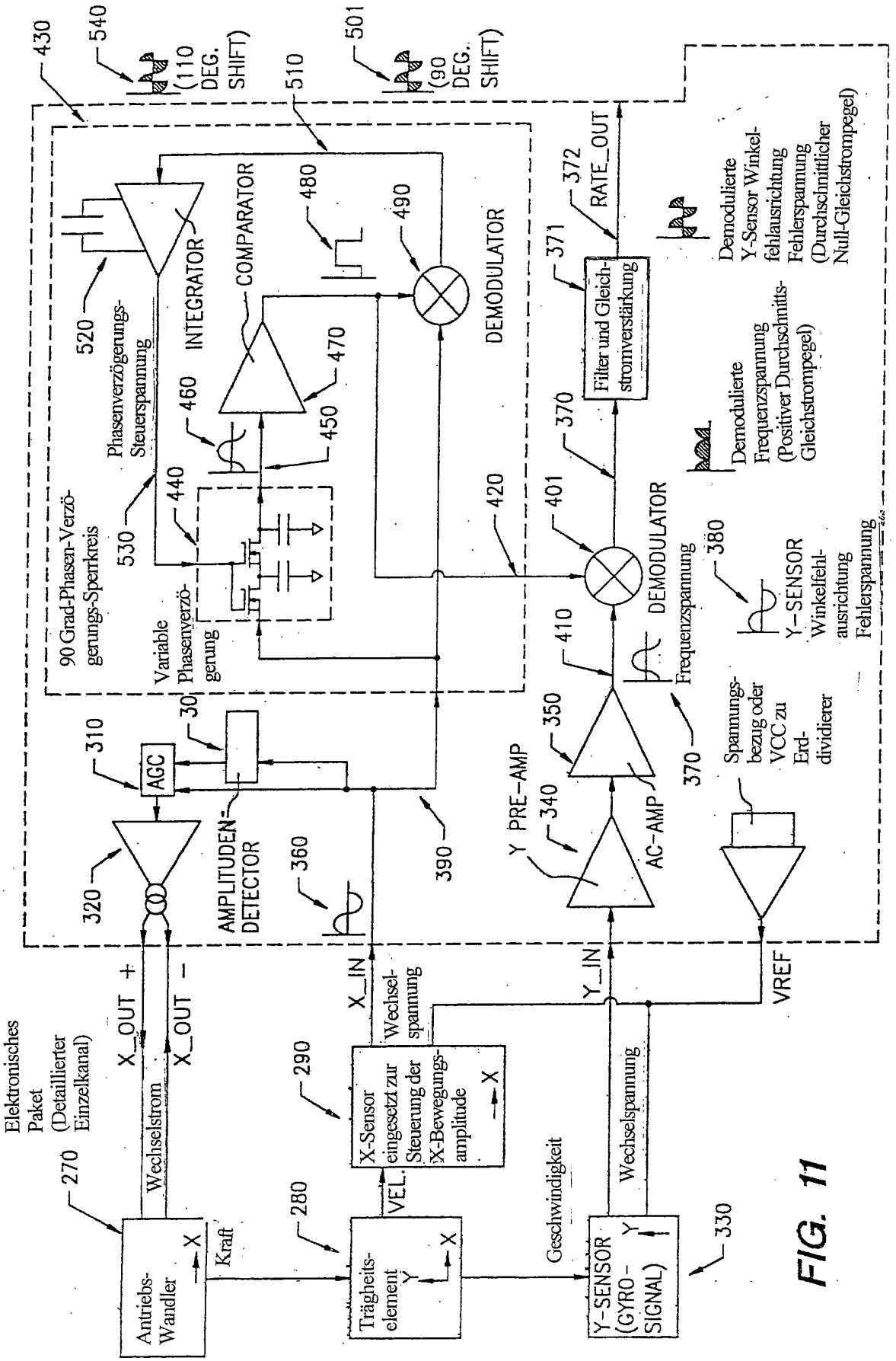

430
540
(110 DEG. SHIFT)
501
(90 DEG. SHIFT)
510
520
INTEGRATOR
COMPARATOR
480
490
DEMODULATOR
Phasenverzögerungs-Steuerspannung
470
460
450
530
440
90 Grad-Phasen-Verzögerungs-Sperrkreis
Variable Phasenverzögerung
420
372
RATE_OUT
371
Filter und Gleichstromverstärkung
Demodulierte Y-Sensor Winkelfehlausrichtung Fehlerspannung (Durchschnittlicher Null-Gleichstrompegel)
370
Demodulierte Frequenzspannung (Positiver Durchschnitts-Gleichstrompegel)
401
DEMODULATOR
380
Y-SENSOR Winkelfehlausrichtung Fehlerspannung
410
Frequenzspannung
370
310
AGC
30
350
Spannungsbezug oder VCC zu Erddividierer
320
AMPLITUDEN-DETECTOR
360
390
Y PRE-AMP
340
AC-AMP
X_OUT +
X_OUT −
X_IN
Wechselspannung
Y_IN
VREF
Elektronisches Paket (Detaillierter Einzelkanal)
270
Wechselstrom
290
X-Sensor eingesetzt zur Steuerung der X-Bewegungsamplitude
280
VEL.
Geschwindigkeit
Wechselspannung
Antriebs-Wandler
Kraft
Trägheitselement
Y-SENSOR (GYRO-SIGNAL)
330

FIG. 11

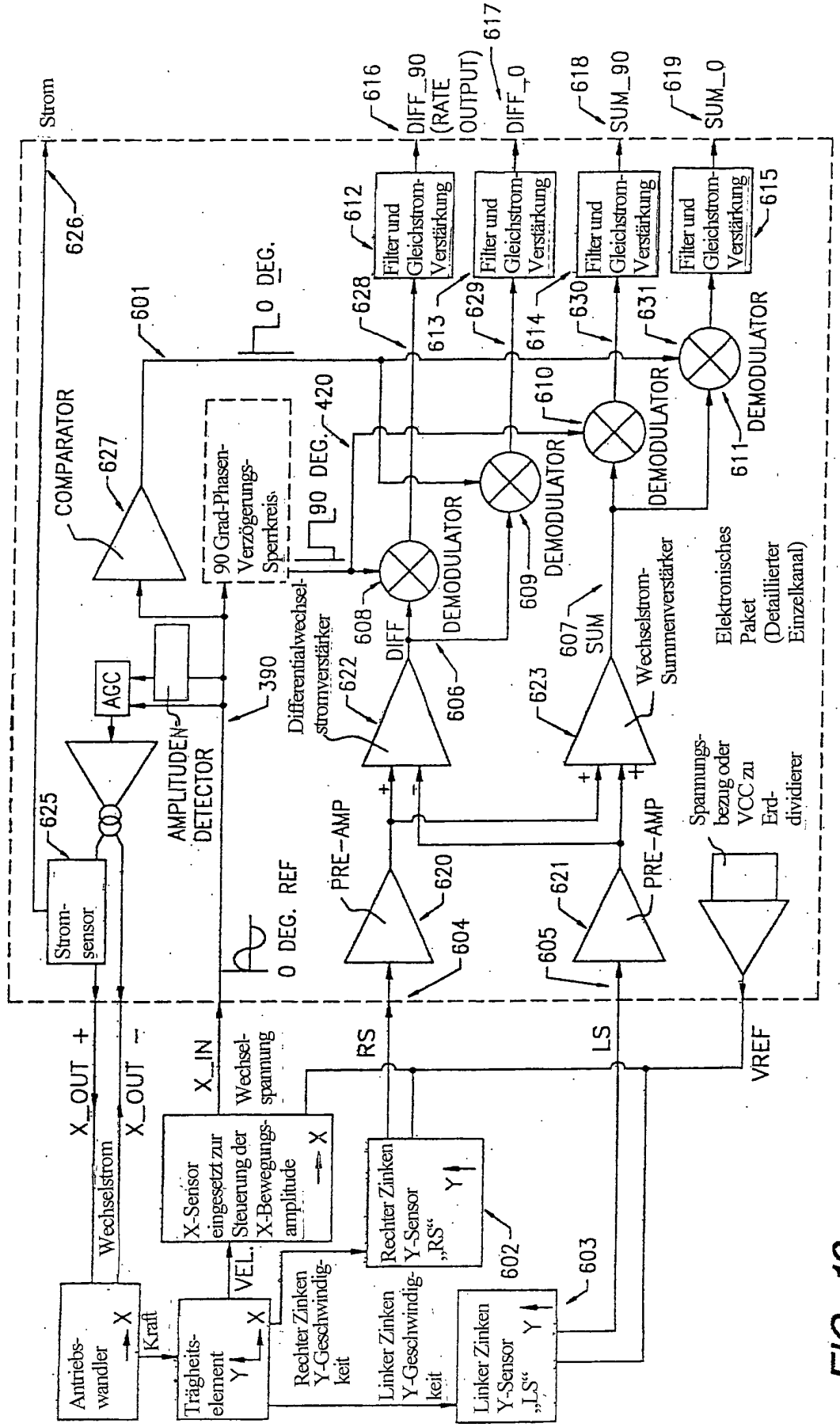

Strom
626
COMPARATOR
627
601
0 DEG.
90 Grad-Phasen-Verzögerungs-Sperrkreis
90 DEG.
420
AGC
AMPLITUDEN-DETECTOR
390
625
Strom-sensor
0 DEG. REF
Differentialwechsel-stromverstärker
622
DIFF
608
DEMODULATOR
609
DEMODULATOR
610
DEMODULATOR
611
DEMODULATOR
606
607
SUM
623
Wechselstrom-Summenverstärker
Elektronisches Paket (Detaillierter Einzelkanal)
PRE-AMP
620
604
PRE-AMP
621
605
Spannungs-bezug oder VCC zu Erd-dividierer
Filter und Gleichstrom-Verstärkung
612
613
614
615
628
629
630
631
616
DIFF_90 (RATE OUTPUT)
617
DIFF_0
618
SUM_90
619
SUM_0
X_OUT +
X_OUT −
Wechselstrom
X_IN
Wechsel-spannung
RS
LS
VREF
X-Sensor eingesetzt zur Steuerung der X-Bewegungs-amplitude
Rechter Zinken Y-Sensor „RS“
602
603
Antriebs-wandler
Kraft
Trägheits-element
VEL.
Rechter Zinken Y-Geschwindig-keit
Linker Zinken Y-Geschwindig-keit
Linker Zinken Y-Sensor „LS“

FIG. 12

FIG. 13A

statisch, ausgerichtet

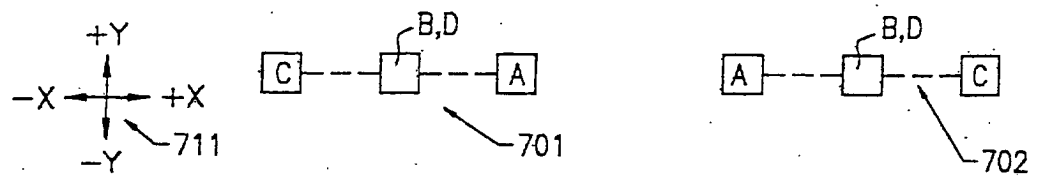


FIG. 13B

Unterschiedliche Orbitalbahn

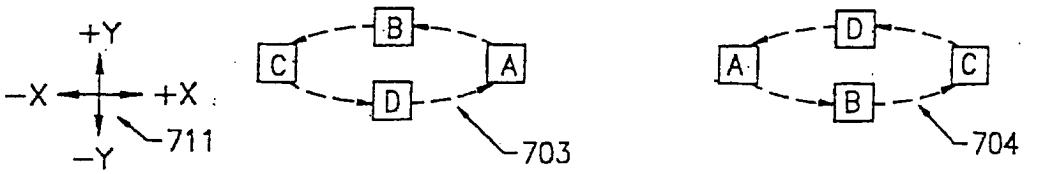


FIG. 13C

Differential-Diagonale

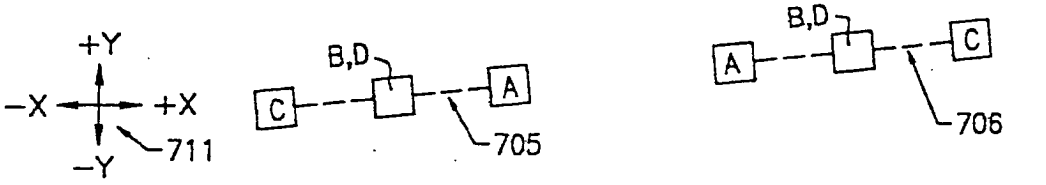


FIG. 13D

Gemeinsame Betriebsdiagonale

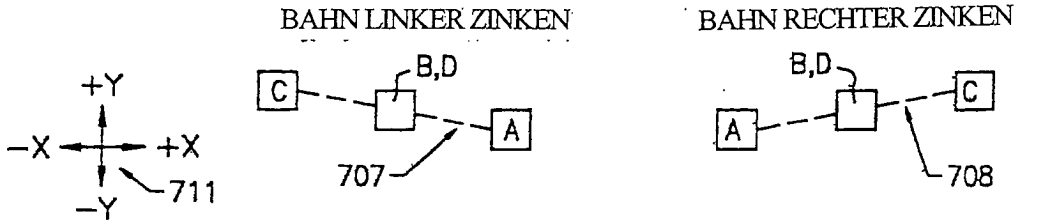


FIG. 13E

Gemeinsame Betriebsorbitalbahn

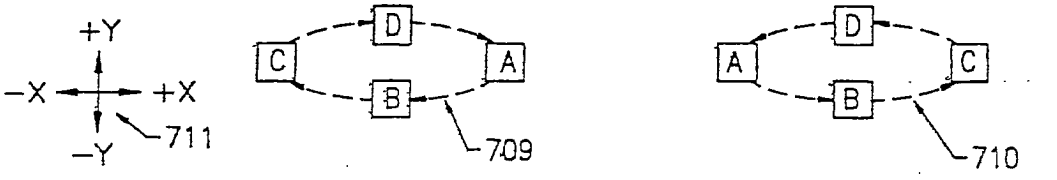
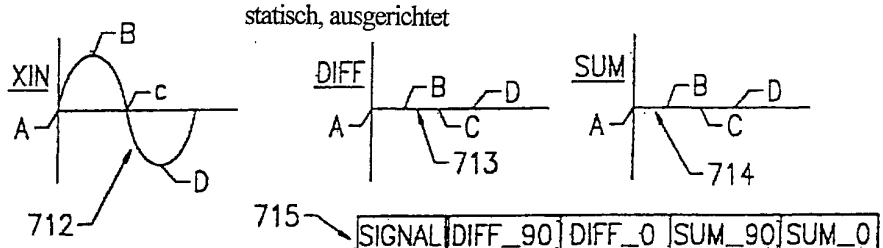


FIG. 14A

statisch, ausgerichtet

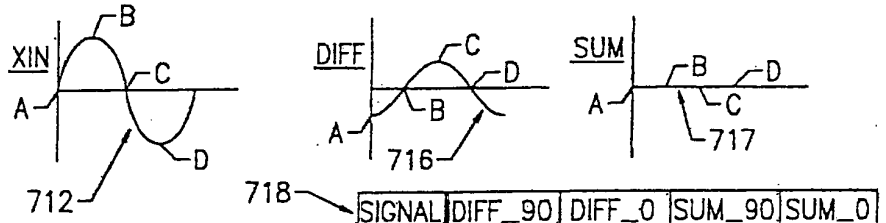


715

SIGNAL	DIFF_90	DIFF_0	SUM_90	SUM_0
Wert	0	0	0	0

FIG. 14B

Differential-Orbitalbahn

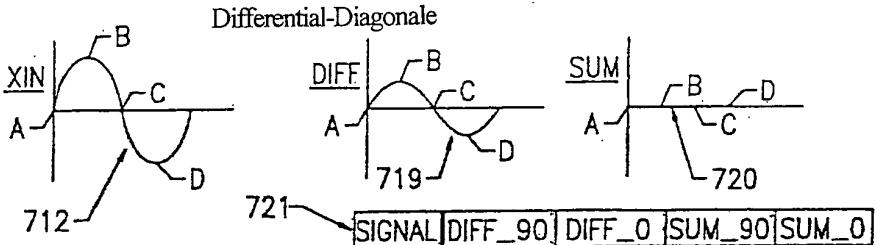


718

SIGNAL	DIFF_90	DIFF_0	SUM_90	SUM_0
Wert	+	0	0	0

FIG. 14C

Differential-Diagonale

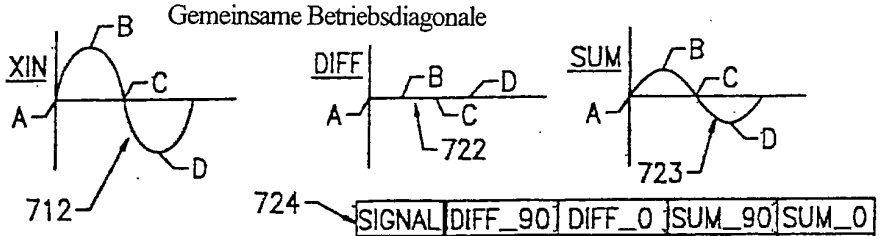


721

SIGNAL	DIFF_90	DIFF_0	SUM_90	SUM_0
Wert	0	+	0	0

FIG. 14D

Gemeinsame Betriebsdiagonale

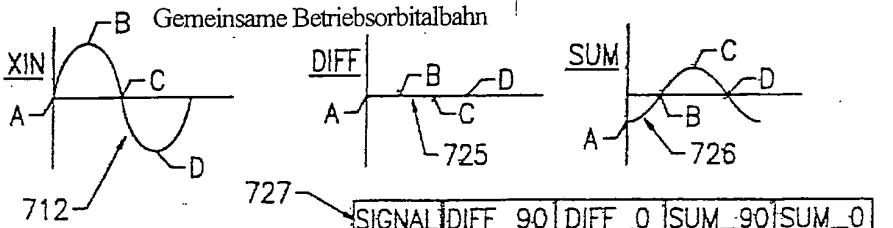


724

SIGNAL	DIFF_90	DIFF_0	SUM_90	SUM_0
Wert	0	0	0	+

FIG. 14E

Gemeinsame Betriebsorbitalbahn



727

SIGNAL	DIFF_90	DIFF_0	SUM_90	SUM_0
Wert	0	0	+	0

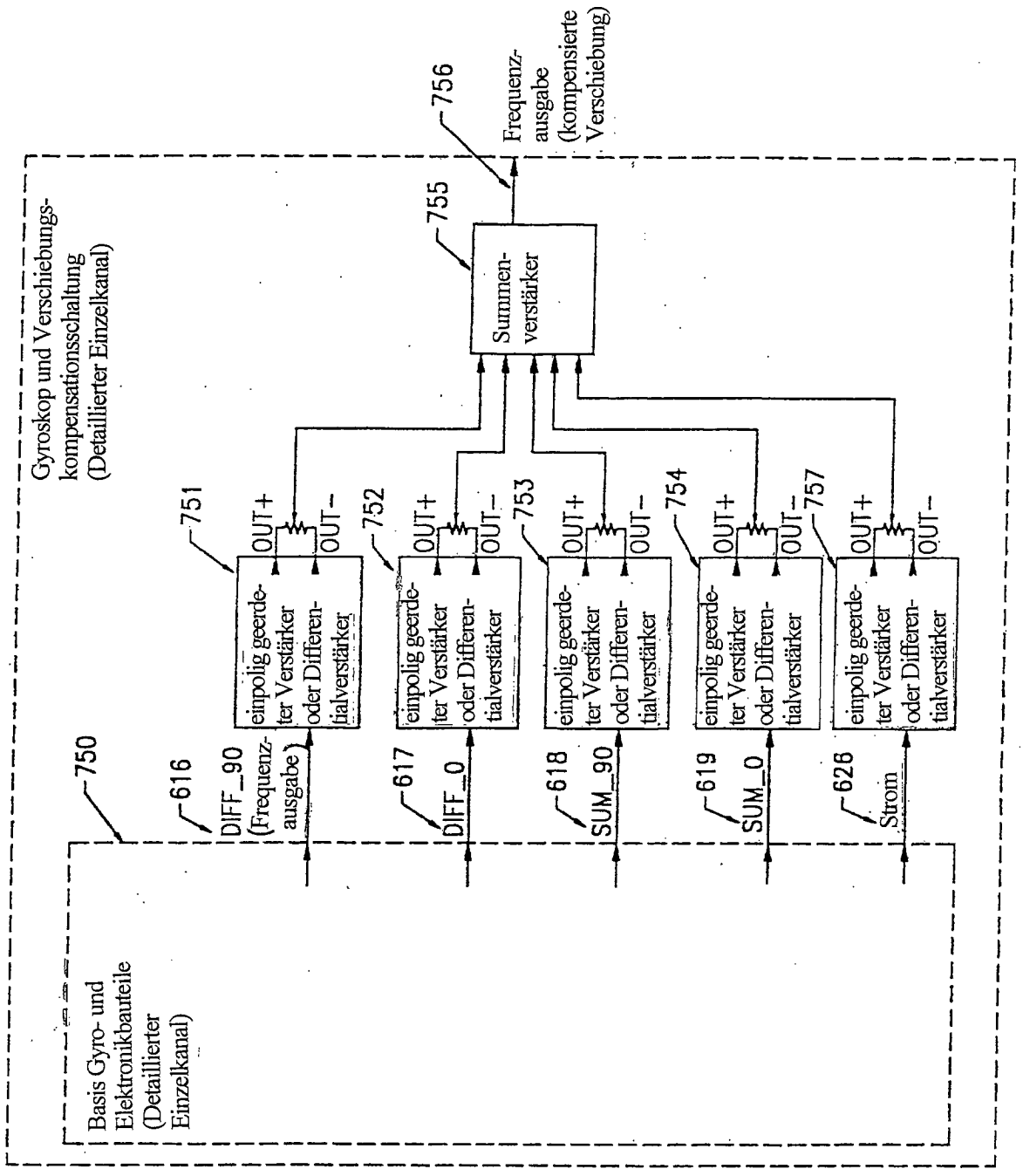

Gyroskop und Verschiebungs-kompensationsschaltung (Detaillierter Einzelkanal)
Basis Gyro- und Elektronikbauteile (Detaillierter Einzelkanal)
750
616
DIFF_90 (Frequenz-ausgabe)
617
DIFF_0
618
SUM_90
619
SUM_0
626
Strom
751
752
753
754
757
einpolig geerdeter Verstärker oder Differentialverstärker
OUT+
OUT-
755
Summen-verstärker
756
Frequenz-ausgabe (kompensierte Verschiebung)

FIG. 15

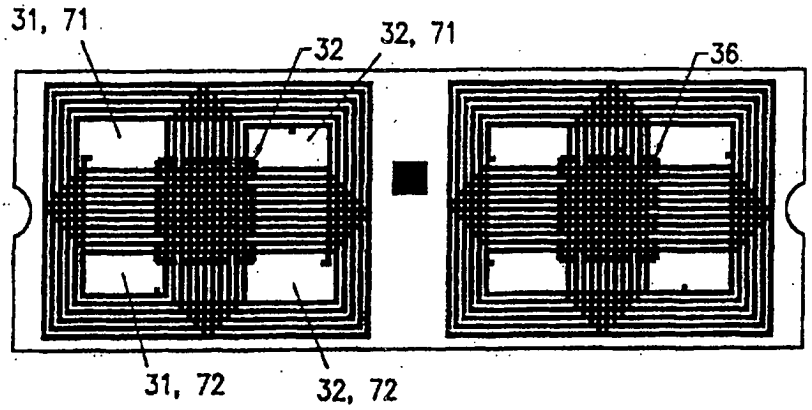


FIG. 16A

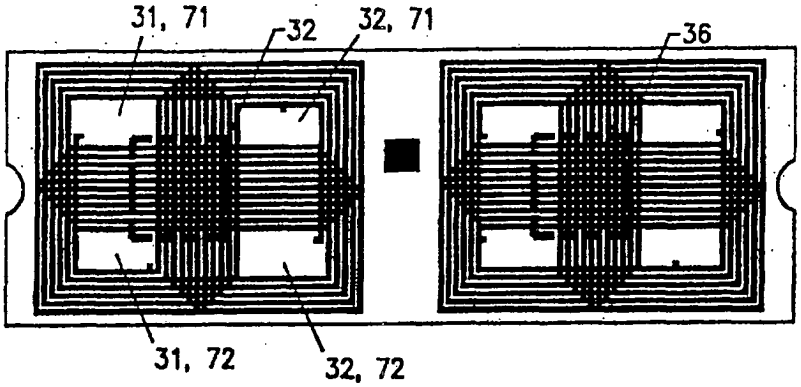


FIG. 16B

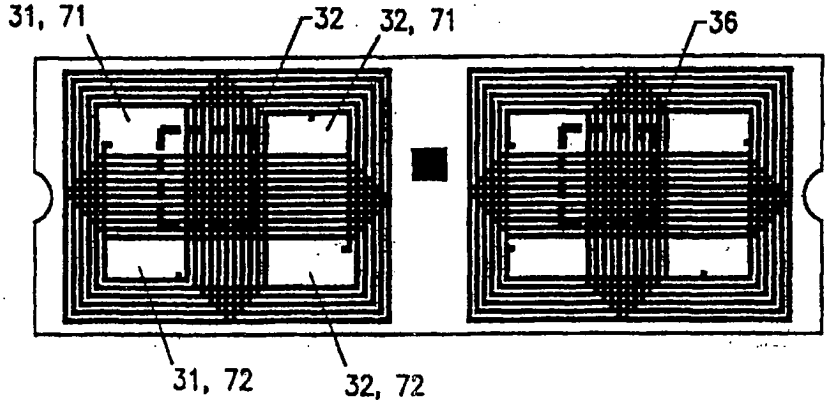


FIG. 16C

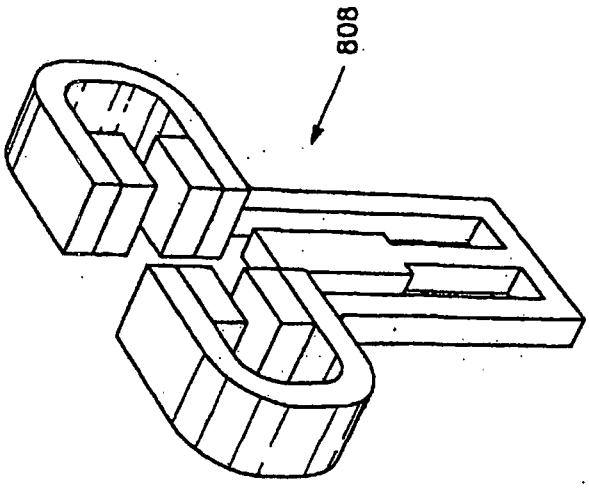


FIG. 18

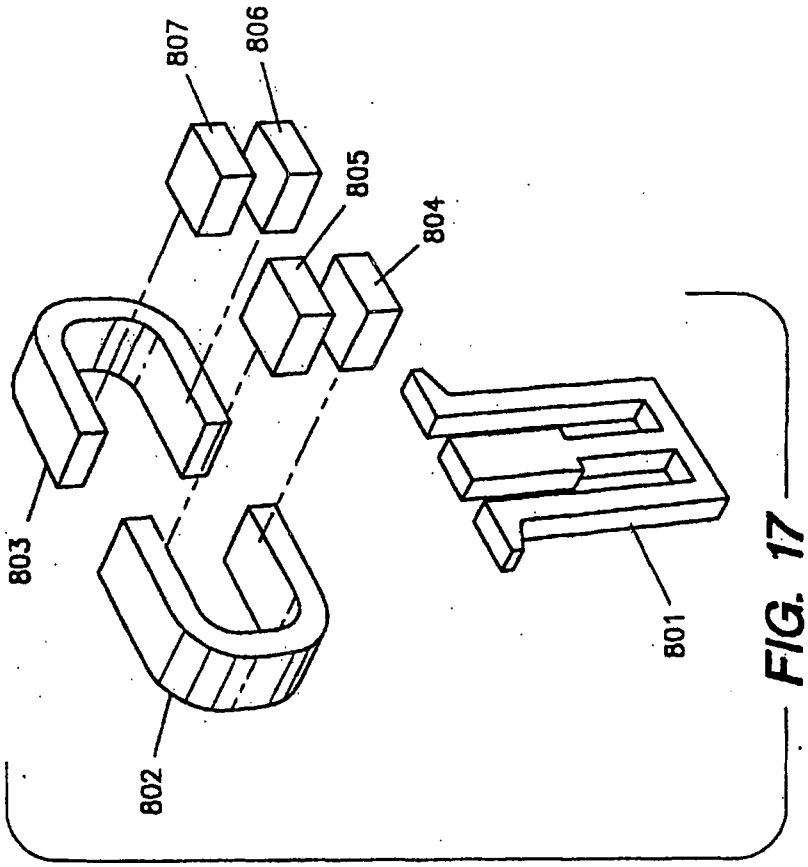


FIG. 17

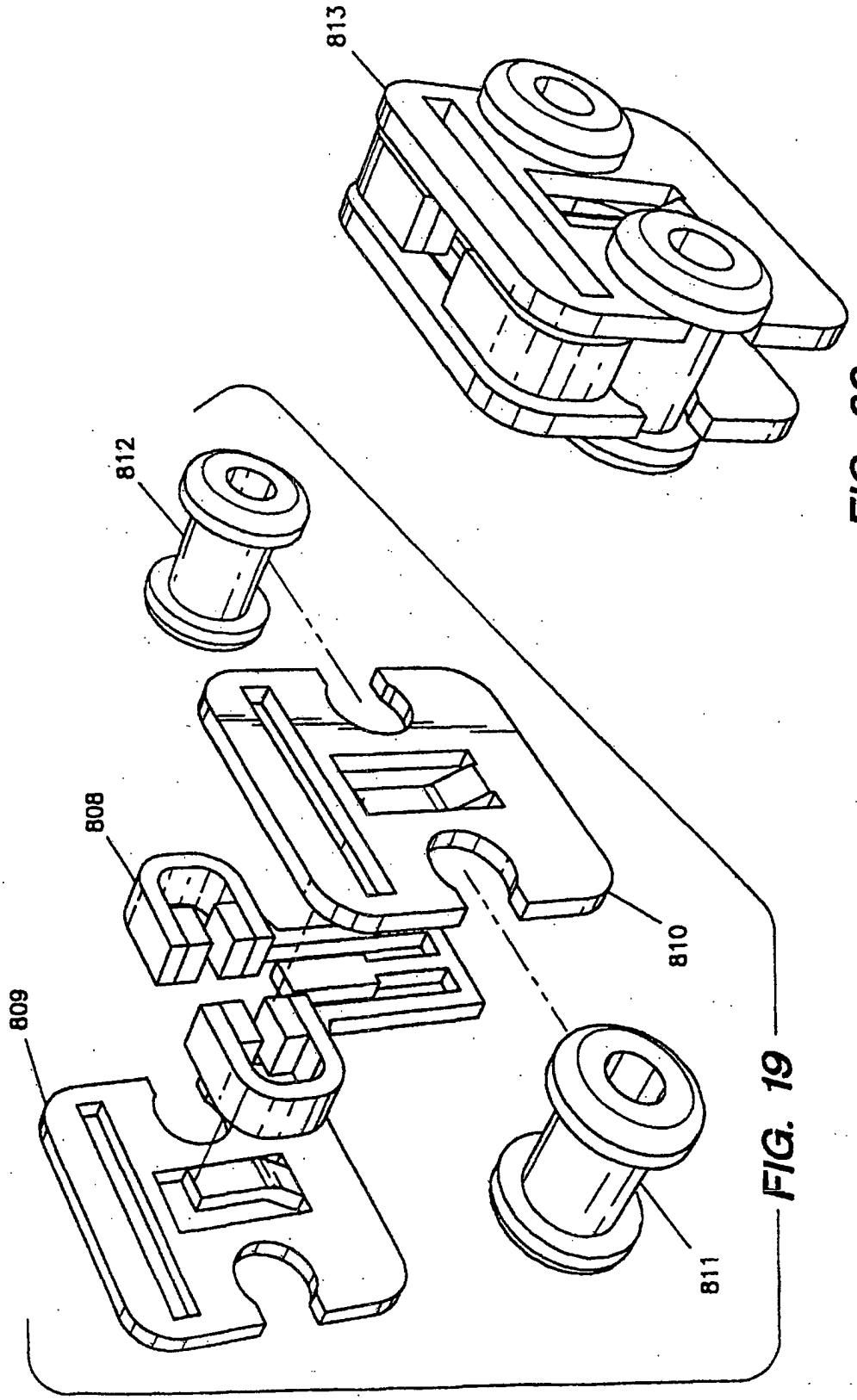


FIG. 19

FIG. 20

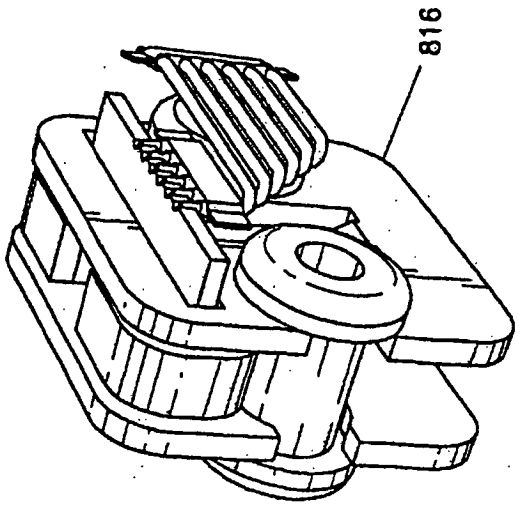


FIG. 22

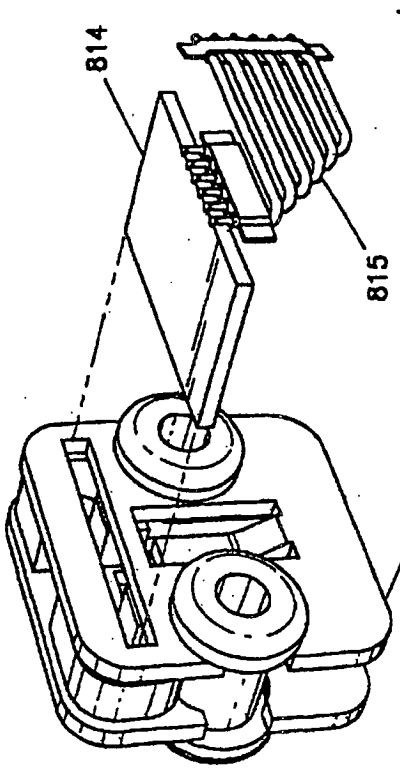
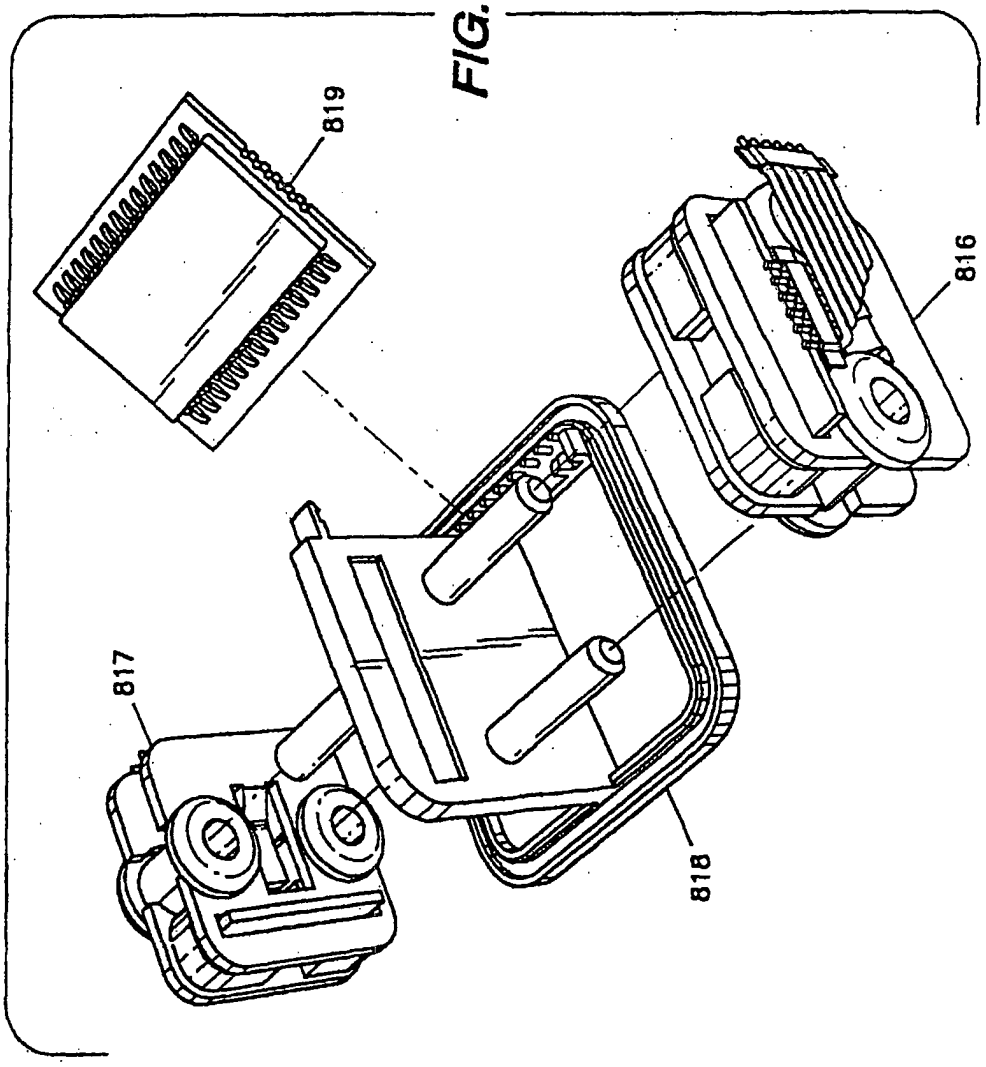


FIG. 21

FIG. 23



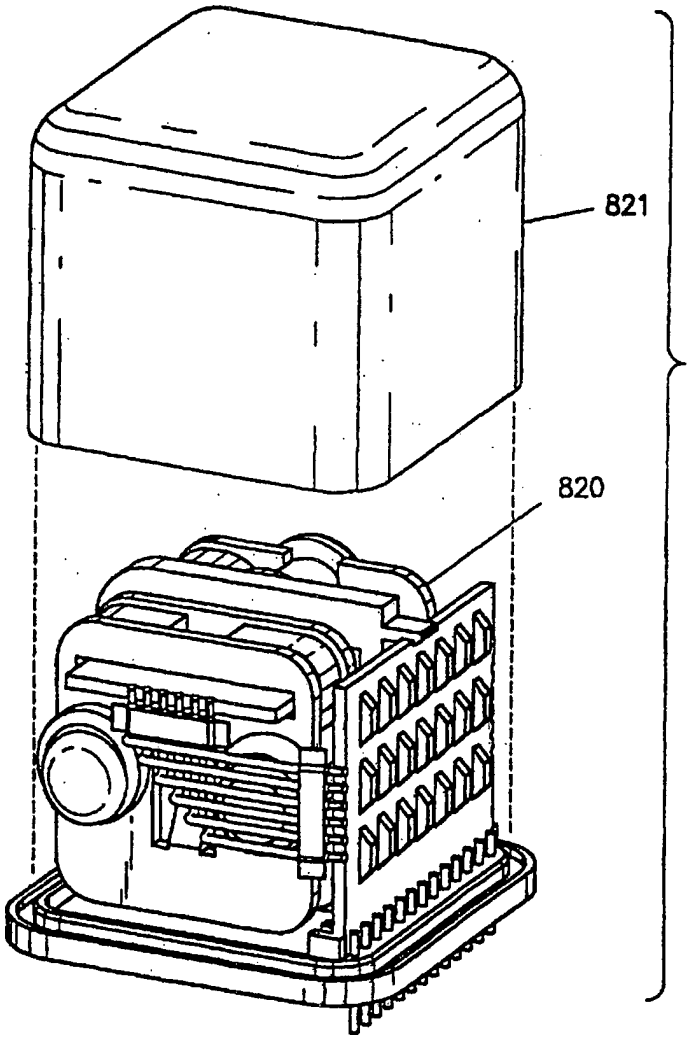


FIG. 24