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

(10) **DE 601 16 725 T2** 2006.08.17

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 227 383 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 16 725.2**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 309 956.9**
(96) Europäischer Anmeldetag: **27.11.2001**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.07.2002**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **18.01.2006**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.08.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***G05D 1/02*** (2006.01)
G01C 19/56 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
770792 **25.01.2001** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, SE

(73) Patentinhaber:
BEI Technologies, Inc., San Francisco, Calif., US

(74) Vertreter:
Weickmann & Weickmann, 81679 München

(72) Erfinder:
Layton, Michael R., Clayton, California 94517, US

(54) Bezeichnung: **Redundanter inertialer Drehratensensor und -verfahren**

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

[0001] Diese Erfindung betrifft allgemein Trägheitsratensensoren und insbesondere einen Ratensensor mit eingebauter Redundanz zur Verwendung in einem Kraftfahrzeugstabilitätssteuer-/-regelsystem.

[0002] In Kraftfahrzeugstabilitätssteuer-/-regelsystemen und anderen Anwendungen, in denen Sicherheit kritisch ist, wird für eine größere Zuverlässigkeit mitunter Redundanz eingesetzt. Dies wird zur Zeit auf einer etwas begrenzten Basis in Kraftfahrzeugbremssystemen getan, welche zwei vollständige, eigenständige Vorrichtungen verwenden, wobei die Ausgänge der beiden Vorrichtungen durch das Bremssystem auf angemessene Übereinstimmung hin verglichen werden. Dies stellt ein System bereit, welches für Sensorfehler toleranter ist als Systeme, die lediglich einen Sensor aufweisen.

[0003] Redundanz selbst ist in Anwendungen, in denen hohe Zuverlässigkeit benötigt wird, kein neues Konzept, und Beispiele von redundanten Systemen des Stands der Technik finden sich in den US-Patenten 3,551,776; 3,663,879; 3,813,990; 3,881,670 und 4,105,900 sowie in der veröffentlichten britischen Patentanmeldung Nr. GB 2300047 und in dem deutschen Gebrauchsmuster DE 29508525. In diesen Systemen werden die Ausgänge einer Mehrzahl von separaten identischen Sensoren (typischerweise drei) durch ein Steuer-/Regelsystem verglichen, welches ein integraler Bestandteil des redundanten Systems ist, um nachzuprüfen, dass der Hauptsensor funktioniert.

[0004] Die Verwendung von mehreren eigenständigen Sensoren zur Erzielung von Redundanz weist bestimmte Nachteile auf. Jeder Sensor benötigt eine separate Montageposition, einen separaten Montagevorgang sowie separate Verkabelung, die zu der bestimmten Montagestelle geführt werden muss. In Anwendungen wie Kraftfahrzeugen, in denen Kosten kritisch sind, sind die zusätzlichen Kosten von zusätzlichen Sensoren, mehreren Montagestellen, zusätzlichen Installationsvorgängen und zusätzlichen Verkabelungen im Allgemeinen unerschwinglich.

[0005] Es ist allgemein eine Aufgabe der Erfindung, einen neuen und verbesserten Ratensensor sowie ein Verfahren mit eingebauter Redundanz bereitzustellen.

[0006] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, einen Ratensensor und ein Verfahren der oben genannten Eigenschaft bereitzustellen, welche insbesondere für die Verwendung in Kraftfahrzeugstabilitätssteuer-/regelsystemen geeignet sind.

[0007] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, einen Ratensensor und ein Verfahren mit oben genannter Eigenschaft bereitzustellen, welche die Beschränkungen und die Nachteile der bislang bereitgestellten redundanten Sensoren überwinden.

[0008] Die vorliegende Erfindung stellt einen redundanten Ratensensor bereit, wie er in Anspruch 1 beansprucht ist.

[0009] Die vorliegende Erfindung stellt ferner ein Verfahren der Messung der Trägheitsrate bereit, wie es in Anspruch 12 beansprucht ist.

[0010] Eine Anzahl von Ausführungsformen der Erfindung wird nun beispielhaft unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in welchen:

[0011] Fig. 1 eine isometrische Explosiondarstellung einer Ausführungsform eines die Erfindung einbeziehenden redundanten Ratensensors ist;

[0012] Fig. 2 eine vereinfachte Blockdarstellung des redundanten Ratensensors in der Ausführungsform von Fig. 1 ist; und

[0013] Fig. 3–Fig. 6 Ausführungsformen von die Erfindung einbeziehenden redundanten Ratensensoren illustrieren.

[0014] Wie in Fig. 1 illustriert ist, weist der Ratensensor ein relativ flaches, allgemein rechteckiges Gehäuse **11** auf, welches aus einem oberen Teil **12** und einem unteren Teil **13** aufgebaut ist und mit flexiblen Gummimontagestücken **14** an den Ecken des Gehäuses versehen ist, um eine mechanische Isolation zwischen dem Sensor und der Struktur bereitzustellen, an welcher er angebracht ist.

[0015] Ein Paar von Schwingungsratenmesselementen in Form von Quartz-Stimmgabeln **16**, **17** sind an gegenüberliegenden Seiten einer gedruckten Schaltplatine **18** innerhalb des Gehäuses angebracht, wobei die Eingangsachsen **19**, **21** der Stimmgabeln parallel zueinander sind. Schaltkreise zum Verarbeiten von Signalen von den Stimmgabeln sind in integrierten Schaltungen **22**, **23** enthalten, welche auf der Schaltplatine neben den Stimmgabeln angebracht sind, wobei für jede der Stimmgabeln eine separate integrierte Schaltung vorgesehen ist. Diese Schaltungen stellen unabhängige Ratenausgangssignale für jedes der Messelemente bereit.

[0016] Eine Verbinderanordnung **24** ist an dem Gehäuse angebracht, wobei ihre Stifte von außerhalb des Gehäuses her zugänglich sind. Verbindungen zu den integrierten Schaltungen werden durch die Verbindungsstifte hergestellt. Diese Verbindungen umfassen typischerweise Stromversorgungs- und Kalibrierungsverbindungen sowie die Ausgangssignale für die beiden Sensoren.

[0017] Dieses System stellt zwei unabhängige Ratenausgangssignale bereit, und zwar eines für jeden Sensor. Diese Ausgaben sind in jeder Hinsicht im Wesentlichen identisch und sie werden verglichen, um einen korrekten Betrieb des Systems sicherzustellen. Dieser Vergleich wird im Allgemeinen durch die elektronische Steuer-/Regeleinheit des Bremssystems oder durch Signalprozessoren irgendwo in dem Kraftfahrzeug durchgeführt und es wird kein zusätzlicher Vorteil dadurch erzielt, dass diese Fähigkeit in der Sensoreinheit integriert wird.

[0018] Andere Elemente, wie etwa die Stromkonditionierschaltkreise, welche beide Kanäle des Ratensensors bedienen, können in dem Gehäuse enthalten sein.

[0019] Wie in Fig. 2 illustriert ist, sind Sensorelemente **16**, **17** in der Form von Doppelstimmgabeln ausgebildet. Jede dieser Stimmgabeln ist aus einem Einkristall-Quartzmaterial hergestellt und weist eine H-förmige Gestalt auf mit Ansteuerungszinken **26** an einem Ende und Ansprechzinken **27** am anderen. Jedes Paar von Zinken ist symmetrisch um die Eingangsachse **19**, **21** der Stimmgabel angeordnet.

[0020] Die Ansteuerungszinken werden so angesteuert, dass sie bei der Eigenfrequenz der Stimmgabel sowie in der Ebene der Stimmgabel schwingen. Um jegliche unerwünschte Kreuzkopplung zwischen den beiden Messelementen und den zugehörigen Schaltkreisen zu verhindern, werden für die beiden Stimmgabeln unterschiedliche Ansteuerungsfrequenzen verwendet. Die Ansteuerungsfrequenzen sind typischerweise um ungefähr 1 KHz voneinander getrennt. Wenn die Stimmgabel einer Rotation um ihre Längsachse ausgesetzt wird, so bewirkt die Coriolis-Kraft, dass die Zinken aus der Ebene der Gabel heraus abgelenkt werden, wobei der Ansprechmodus der Oszillation angeregt wird. Die Ansteuerungs- und Ansprechsignale werden mit den Zinken in einer herkömmlichen Weise unter Verwendung von Elektroden (nicht gezeigt) gekoppelt, wobei die Ansteuerungssignale eine mechanische Vibration der Zinken mittels des piezoelektrischen Effekts anregen und die Ansprechsignale in Form von elektrischer Ladung vorliegen, die durch den umgekehrten piezoelektrischen Effekt in Antwort auf durch die Coriolis-Kraft erzeugte Spannung erzeugt wird.

[0021] Bei einigen Stimmgabeln ist die Ansprechfrequenz von der Ansteuerungsfrequenz separiert und Fehlersignale können als Ergebnis von Rotationseingaben bei der Separationsfrequenz auftreten, und zwar typischerweise während der Vibration der Einheit. Um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, solche Fehler zu erfassen, können für unterschiedliche Messelemente innerhalb einer Einheit unterschiedliche Frequenzseparationen verwendet werden. So kann beispielsweise ein Sensor in einer Einheit eine Separation von ungefähr 340 Hz zwischen seiner Ansteuerungsfrequenz und seiner Ansprechfrequenz aufweisen und der andere Sensor kann eine Separation von ungefähr 280 Hz aufweisen. Diese Werte sind nicht kritisch und es können irgendwelche geeigneten Separationen verwendet werden.

[0022] Bei einem redundanten Sensor und unterschiedlichen Freuquenzseparationen für die Sensoren darin wird die Wahrscheinlichkeit von nicht erfassten vibrationsinduzierten Fehlern stark reduziert, da es höchst unwahrscheinlich ist, dass gleiche vibrationsinduzierte Fehler bei den Separationsfrequenzen beider Sensoren gleichzeitig auftreten.

[0023] Obwohl die Messelemente als Doppelstimmgabeln illustriert sind, können andere Typen von Schwingungsmesselementen, einschließlich Einfachstimmgabeln, verwendet werden, falls dies gewünscht ist.

[0024] In jedem Kanal des Ratensensors laufen die Ansprechsignale von der Stimmgabel durch einen Ladungsverstärker **28** zu einem Vorverstärker **29** und dann zu einem Demodulator **31**. Die Signale von dem Demodulator laufen durch einen Tiefpassfilter **32** und dann zu einem Ausgangsverstärker **33**, wobei das Ratenausgangssignal als Basisbandsignal am Ausgang des Ausgangsverstärkers erscheint.

[0025] Anregungssignale werden an die Ansteuerungszinken durch eine Ansteuerungsschaltung **34** angelegt, welche beispielsweise von dem in dem Patent Nr. US 6,510,737 gezeigten Typ sein kann, deren Offenbarung hierin durch Bezugnahme eingeschlossen ist.

[0026] Die Ausgänge der Ausgangsverstärker **33** in den beiden Kanälen sind mit separaten Stiften des Ausgangsverbinders **24** verbunden und den beiden Kanälen wird außerdem Betriebsstrom durch den Verbinder und eine Stromkonditionierschaltung **36** innerhalb des Gehäuses zugeführt. Redundante (separate) Stromkonditionierschaltungen können als Möglichkeit für erhöhte Zuverlässigkeit verwendet werden.

[0027] In Situationen, in denen zusätzliche Redundanz erwünscht ist, können zusätzliche Messelemente und Verarbeitungsschaltungen in der Einheit enthalten sein. Dies kann eine leichte Zunahme der Größe des Gehäuses nötig machen, jedoch wird eine Einheit solcher Größe noch immer viel kleiner sein als drei einzelne eigenständige Einheiten.

[0028] In anderen Ausführungsformen können zwei Freiheitsgrade der Ratenmessausgabe mit einer Redundanz um eine oder mehrere Achsen vorgesehen sein. In diesen Ausführungsformen sind drei oder mehrere Messelemente in einer einzigen Einheit

montiert, wobei wenigstens eines der Elemente so orientiert ist, dass seine Achse orthogonal zu den Achsen der anderen verläuft, um eine Rotation um eine zweite Achse zu messen. Eine Redundanz der Ausgabe wird durch eine Mehrzahl von Messelementen bereitgestellt, die entlang einer oder beider der Achsen in dieser Vorrichtung ausgerichtet sind.

[0029] So sind beispielsweise in der in Fig. 3 illustrierten Ausführungsform Sensorelemente **38**, **39** entlang zueinander orthogonaler Achsen **41**, **42** ausgerichtet, wobei für jedes von ihnen Redundanz durch Messelemente **43**, **44** bereitgestellt wird. Wie in der Ausführungsform der Fig. 1 stellt eine separate Verarbeitungsschaltung ein unabhängiges Ratenausgangssignal für jedes der Messelemente in diesen Ausführungsformen bereit.

[0030] In einer anderen Ausführungsform wird ein redundantes Messelement von zwei oder mehreren orthogonal angebrachten Sensoren gemeinsam verwendet. In dieser Ausführungsform ist die Eingangsachse des redundanten Messelements in einem Winkel zu den Eingangsachsen der anderen Messelemente angeordnet, so dass es eine Komponente der Rotation um die Eingangsachsen der anderen Elemente erfasst.

[0031] Beispielsweise wird in der in Fig. 4 illustrierten Ausführungsform zwei nichtredundanten Ratenmesselementen **46**, **47**, welche so angebracht sind, dass ihre Achsen **48**, **49** orthogonal zueinander sind, beiden ein redundantes Signal von einem Messelement **51** bereitgestellt, dessen Eingangsachse **52** in einem Winkel von 45° in Bezug auf die Achsen der beiden nicht-redundanten Elemente orientiert ist. Das im Winkel von 45° zu den beiden Hauptmessachsen orientierte Messelement kann als Überprüfung der Funktion der Hauptmesselemente verwendet werden, indem seine Ausgabe mit der entsprechenden Vektorsumme der anderen beiden Ausgaben verglichen wird. Auch hier stellen separate Verarbeitungsschaltungen ein unabhängiges Ratenausgangssignal für jedes der Messelemente bereit.

[0032] In der Ausführungsform der Fig. 5 sind die Eingangsachsen **58**, **59**, **61** dreier Messelemente **54**, **56**, **57** orthogonal zueinander und die Eingangsachse **63** eines vierten Messelements **62** ist parallel zur Eingangsachse des Messelements **54**, um Redundanz für dieses Messelement bereitzustellen.

[0033] In der Ausführungsform der Fig. 6 sind die drei Eingangsachsen **68**, **69**, **71** dreier Messelemente **64**, **66**, **67** orthogonal zueinander und die Eingangsachse **73** eines vierten Messelements **72** verläuft in einem nicht-orthogonalen Winkel relativ zu den Eingangsachsen wenigstens zweier der anderen drei Messelemente. Mit dieser Anordnung stellt das vierte Messelement eine Redundanz für die zwei oder drei Messelemente bereit, zu denen seine Achse nicht orthogonal ist.

[0034] Die Erfindung weist eine Anzahl wichtiger Merkmale und Vorteile auf. Indem zwei Messkanäle eine gemeinsame gedruckte Schaltplatine, eine Stromkonditionierschaltung, ein einziges Gehäuse und gemeinsame mechanische Isolatoren teilen, sind die Gesamtkosten der beiden Kanäle der Ratenausgabe wesentlich niedriger als die zweier separater Ratensensoreinheiten. Mit redundanten Sensoren in einer einzigen Einheit werden ferner auch nur eine Montageposition, ein Satz Verbindungskabel, ein Satz Montageschrauben und ein Installationsvorgang benötigt.

[0035] Mit redundanten Sensoren kann ferner ein reduziertes Genauigkeitsniveau in dem redundanten Kanal toleriert werden, da dieser Kanal nur dazu verwendet wird, zu überprüfen, dass die Ausgabe des Hauptkanals gültig ist. Dies vergrößert tendenziell die Sensorausbeute während der Herstellung, da es nicht notwendig ist, dass alle Ratenmesselemente die strengeren Leistungsanforderungen des Hauptkanals erfüllen. Es verbessert tendenziell außerdem die Leistungsfähigkeit des Hauptkanals, da die Messelemente mit der besten Leistungsfähigkeit in diesem verwendet werden können. Der Nettoeffekt ist die Bereitstellung einer gesteigerten Leistungsfähigkeit bei reduzierten Kosten mit zusätzlicher Zuverlässigkeit der Redundanz.

[0036] Der zur Verarbeitung der redundanten Ausgaben verwendete Algorithmus könnte beispielsweise aus der Kombination zweier redundanter Ausgaben sowohl als Summen- als auch als Differenzsignale gebildet sein. Das Summensignal würde als die Hauptausgabe für die Fahrzeugstabilitätssteuerung/-regelung oder andere Zwecke verwendet werden, während das Differenzsignal dazu verwendet werden könnte, die Gültigkeit der Ausgabe herzustellen. Ein Messelement, welches wesentlich bessere Leistungsfähigkeit zeigt als seine vorgeschriebene Anforderung, könnte mit einem Messelement abgeglichen werden, welches etwas schlechter ist als diese Anforderung. Die Summe dieser beiden, effektiv ein Mittelwert, könnte noch immer innerhalb der ursprünglichen Spezifikationsfehlergrenze liegen. Würde jedoch das Differenzsignal einen vorbestimmten Wert überschreiten, so würde das System einen Fehler detektieren und es würden keine fehlerhaften Bremsaktionen durchgeführt werden.

[0037] Aus dem Vorstehenden ist offensichtlich, dass ein neuer und verbesserter redundanter Ratensensor sowie Verfahren bereitgestellt worden sind. Wenngleich nur bestimmte, zur Zeit bevorzugte Ausführungsformen im Detail beschrieben wurden, so können doch – wie für den Fachmann offensichtlich – bestimmte Änderungen und Modifikationen durchge-

führt werden, ohne den Rahmen der Erfindung, wie er durch die folgenden Ansprüche definiert ist, zu verlassen.

Patentansprüche

1. Redundanter Ratensensor, umfassend:
eine Mehrzahl von Ratenmesselementen (**16**, **17**), die auf einer gemeinsamen Schaltplatine (**18**) angebracht sind;
separate Verarbeitungsschaltungen (**22**, **23**), die auf der gemeinsamen Schaltplatine (**18**) angebracht und mit jeweiligen der Ratenmesselemente (**16**, **17**) verbunden sind, um ein unabhängiges Raten-Ausgangssignal für jedes der Ratenmesselemente (**16**, **17**) bereitzustellen, und
einen mit den Verarbeitungsschaltungen (**22**, **23**) verbundenen Ausgangsverbinder (**24**), um die unabhängigen Raten-Ausgangssignale für die Ratenmesselemente (**16**, **17**) zu liefern,
gekennzeichnet durch:
ein äußeres Gehäuse (**11**), in welchem die gemeinsame Schaltplatine (**18**), die Ratenmesselemente (**16**, **17**) und die Verarbeitungsschaltungen (**22**, **23**) angebracht sind, und
ein separates Gehäuse innerhalb des äußeren Gehäuses (**11**) für jedes der Ratenmesselemente (**16**, **17**), wobei
der Ausgangsverbinder (**24**) von außerhalb des äußeren Gehäuses (**11**) her zugänglich ist.

2. Redundanter Ratensensor nach Anspruch 1, ferner umfassend Mittel (**34**) innerhalb des Gehäuses (**11**), um jedes der Ratenmesselemente (**16**, **17**) bei einer unterschiedlichen Ansteuerungsfrequenz anzuregen.

3. Redundanter Ratensensor nach entweder Anspruch 1 oder Anspruch 2, in welchem jedes der Ratenmesselemente (**16**, **17**) eine Ansteuerungsfrequenz und eine Ansprechfrequenz aufweist, welche um eine vorbestimmte Größe auseinanderliegen, wobei die Ansteuerungsfrequenz und die Ansprechfrequenz für verschiedene der Ratenmesselemente (**16**, **17**) um verschiedene Größen auseinanderliegen.

4. Redundanter Ratensensor nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 3, in welchem die Messelemente in dem Gehäuse (**11**) angebrachte erste und zweite Schwingungsratenmesselemente (**38**, **39**) einschließen, wobei die Empfangsachsen (**42**, **41**) der beiden Messelemente senkrecht zueinander sind, um Rotation um senkrechte Achsen erfassen zu können, und ein drittes im Gehäuse angebrachtes Schwingungsratenmesselement (**43**, **44**), wobei die Empfangsachse des dritten Schwingungsratenmesselements parallel zur Empfangsachse des ersten Messelements ist, um eine Redundanz bezüglich des ersten Messelements vorzusehen.

5. Redundanter Ratensensor nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 3, in welchem die Ratenmesselemente (**16**, **17**) in dem äußeren Gehäuse (**11**) angebrachte erste und zweite Schwingungsratenmesselemente (**46**, **47**) einschließen, wobei die Empfangsachsen (**48**, **49**) der beiden Schwingungsratenmesselemente (**46**, **47**) senkrecht zueinander sind, um Rotation um senkrechte Achsen erfassen zu können, und ein drittes im äußeren Gehäuse (**11**) angebrachtes Schwingungsratenmesselement (**51**), wobei die Empfangsachse (**52**) des dritten Schwingungsratenmesselements (**51**) schräg zur Empfangsachse (**48**, **49**) des ersten und des zweiten Schwingungsratenmesselements (**46**, **47**) ist, um eine Redundanz bezüglich des ersten und des zweiten Schwingungsratenmesselements (**46**, **47**) vorzusehen.

6. Redundanter Ratensensor nach Anspruch 5, in welchem die Achse (**52**) des dritten Schwingungsratenmesselements (**51**) in einem Winkel von 45° zu den Empfangsachsen (**48**, **49**) des ersten und des zweiten Schwingungsratenmesselements (**46**, **47**) ist.

7. Redundanter Ratensensor nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 3, in welchem die Messelemente drei im äußeren Gehäuse (**11**) angebrachte Schwingungsratenmesselemente (**54**, **56**, **57**) einschließen, wobei die Eingangsachsen (**58**, **59**, **61**) der drei Schwingungsratenmesselemente (**54**, **56**, **57**) senkrecht zueinander sind, um Rotation um senkrechte Achsen erfassen zu können, und ein viertes im äußeren Gehäuse (**11**) angeordnetes Schwingungsratenmesselement (**62**, **72**), um eine Redundanz bezüglich mindestens einem der drei Schwingungsratenmesselemente (**54**, **56**, **57**) vorzusehen.

8. Redundanter Ratensensor nach Anspruch 7, in welchem die Empfangsachse (**63**) des vierten Schwingungsratenmesselements (**62**) parallel zur Empfangsachse (**58**) eines der drei Schwingungsratenmesselemente (**54**) ist.

9. Redundanter Ratensensor nach Anspruch 7, in welchem die Empfangsachse (**73**) des vierten Schwingungsratenmesselements (**72**) schräg zu den Empfangsachsen (**68**, **69**) von mindestens zwei der drei Schwingungsratenmesselemente ist.

10. Redundanter Ratensensor nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, in welchem jedes der Schwingungsratenmesselemente eine Stimmgabel enthält.

11. Redundanter Ratensensor nach Anspruch 8, in welchem jede der Stimmgabeln aus Quarz hergestellt ist.

12. Verfahren der Trägheitsratenmessung, um-

fassend die Schritte:
Überwachen der Trägheitsrate mit einer Mehrzahl von Schwingungsmesselementen (**16**, **17**),
Anregen jedes der Messelemente (**16**, **17**) bei einer unterschiedlichen Ansteuerungsfrequenz,
Verarbeiten von Signalen von jedem der Messelemente (**16**, **17**) in einer separaten Verarbeitungsschaltung (**21**, **22**), um ein unabhängiges Raten-Ausgangssignal für jedes der Messelemente (**16**, **17**) bereitzustellen, und
Liefern der unabhängigen Raten-Ausgangssignale an einen Verbinder, dadurch gekennzeichnet, dass:
die Messelemente (**16**, **17**) und die Verarbeitungsschaltungen (**21**, **22**) innerhalb eines äußeren Gehäuses (**11**) eingeschlossen sind,
jedes der Messelemente (**16**, **17**) in seinem eigenen Gehäuse innerhalb des äußeren Gehäuses (**11**) eingeschlossen ist, und
der Verbinder von außerhalb des äußeren Gehäuses (**11**) zugänglich ist.

13. Verfahren nach Anspruch 12, in welchem jedes der Messelemente (**16**, **17**) bei einer Ansprechfrequenz betrieben wird, die von der Ansteuerungsfrequenz um einen vorbestimmten Betrag auseinanderliegt, wobei die Ansteuerungsfrequenz und die Ansprechfrequenz für verschiedene der Messelemente um verschiedene Größen auseinanderliegen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

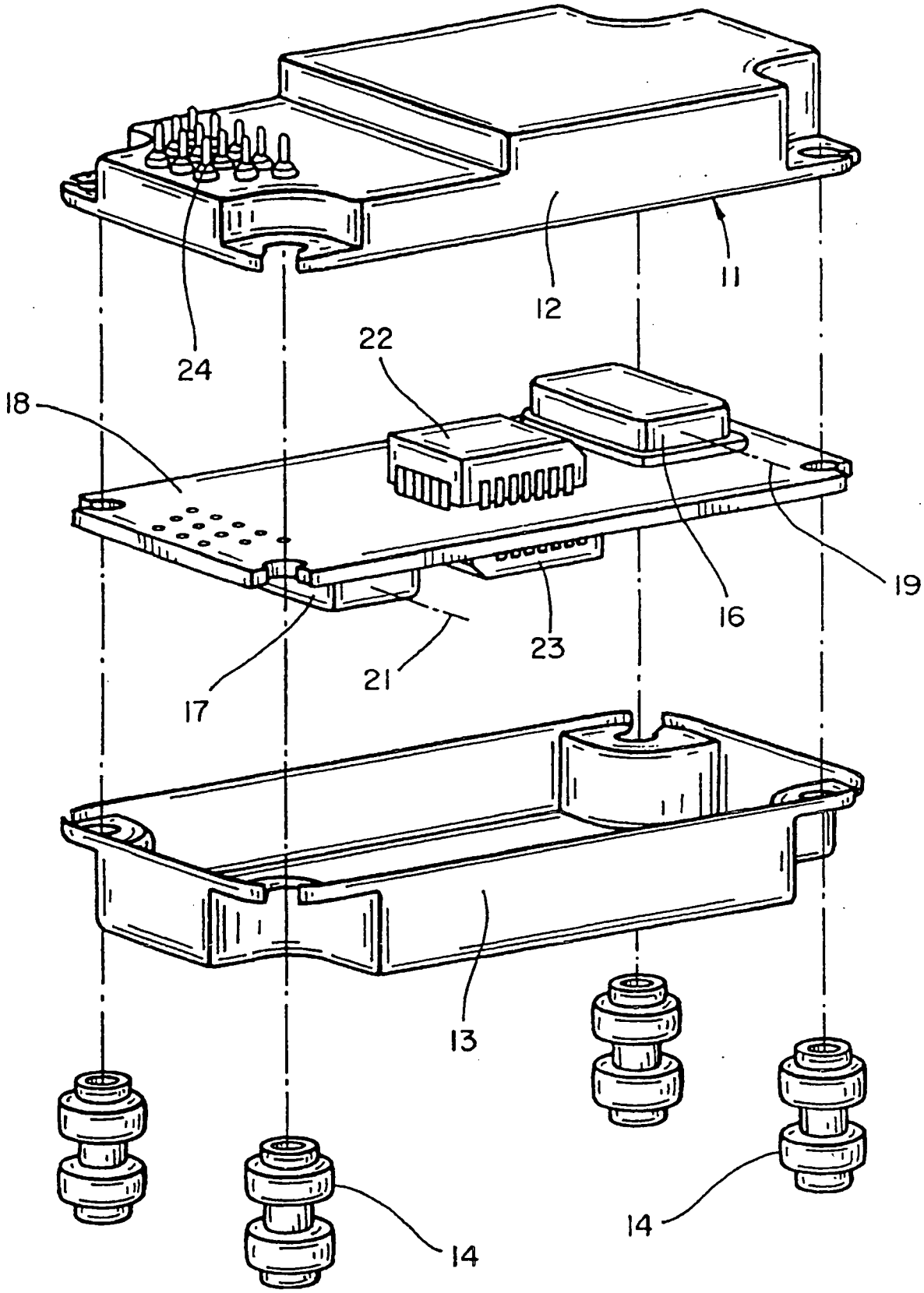

FIG_1

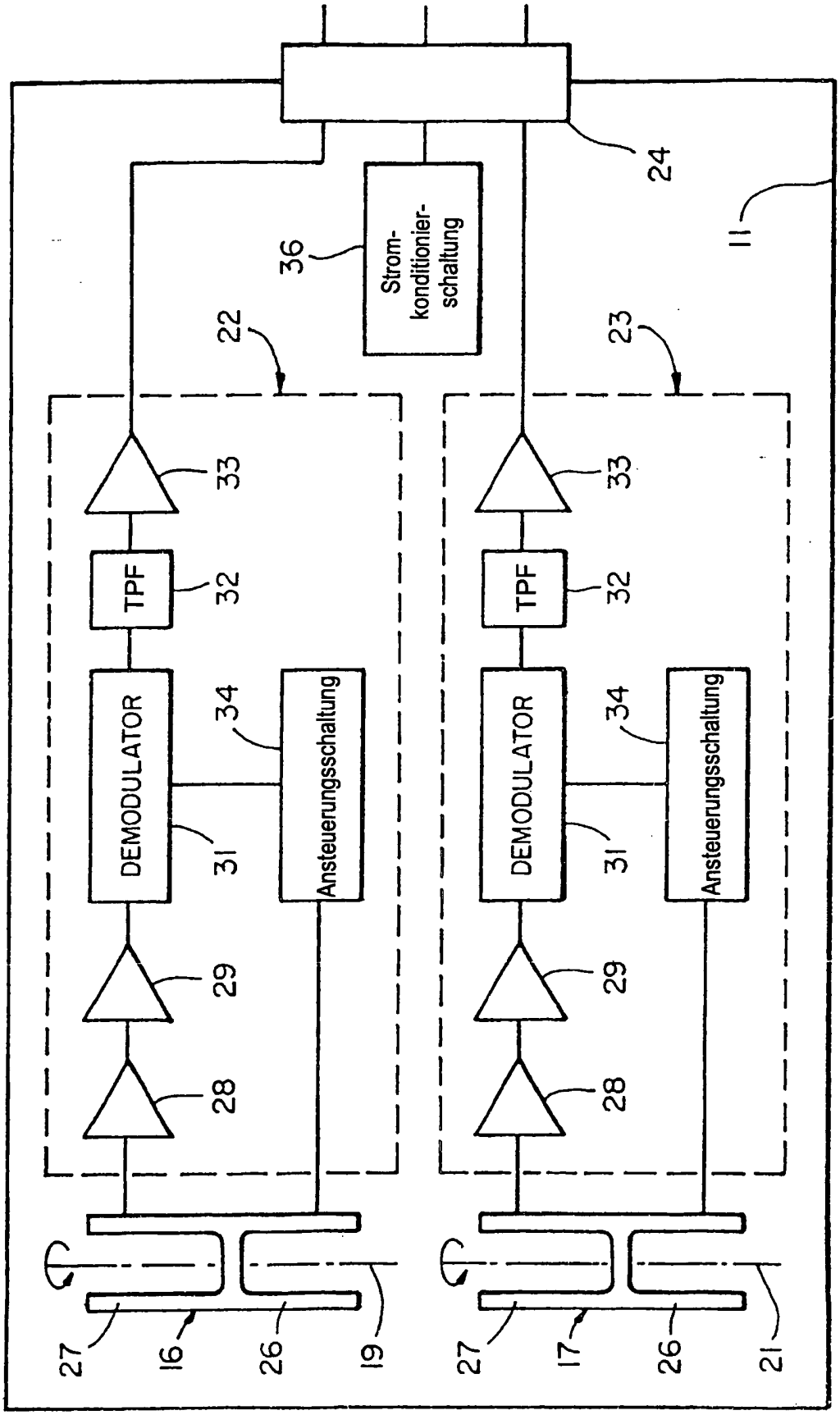
24
11
36
Strom-
konditionier-
schaltung
22
23
33
TPF
32
DEMODULATOR
34
31
Ansteuerungsschaltung
29
28
27
16
26
19
17
21

FIG_2

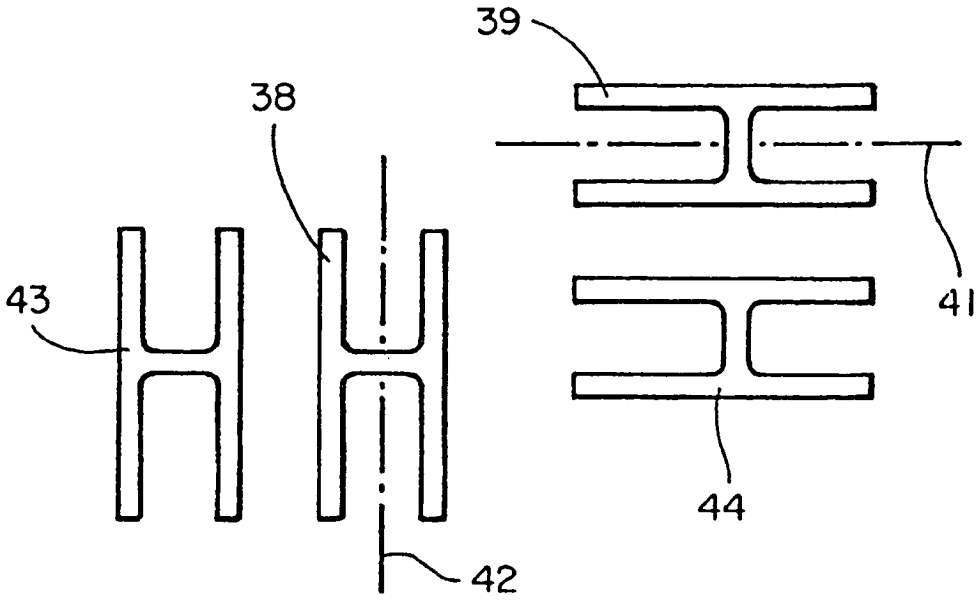

FIG_3

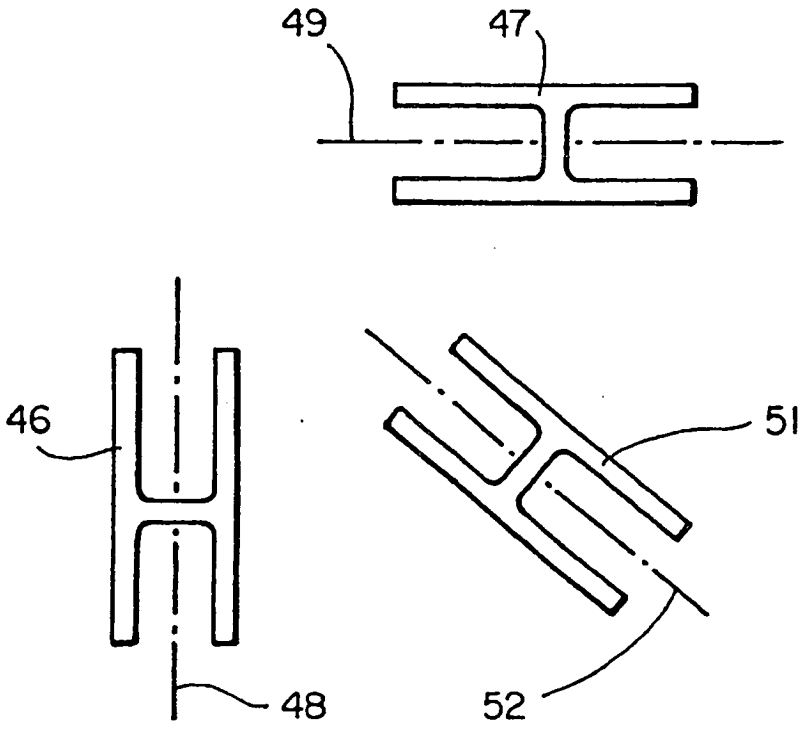

FIG_4

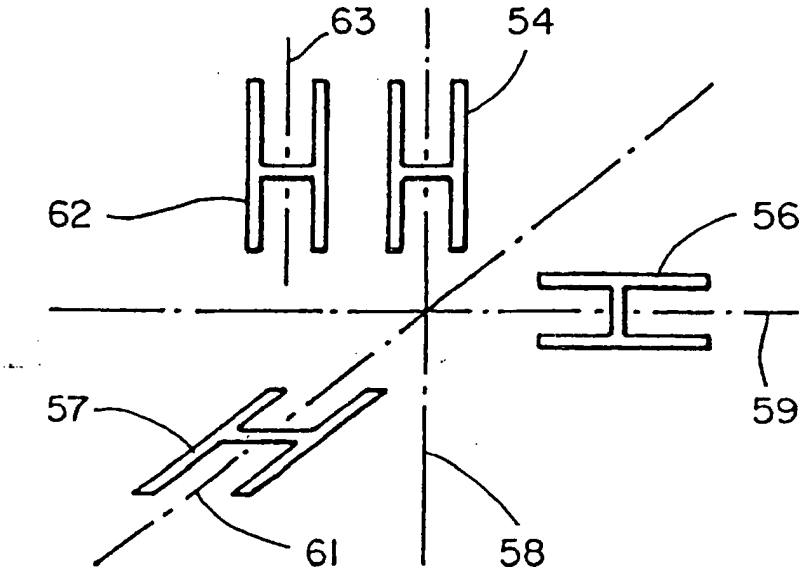

FIG_5

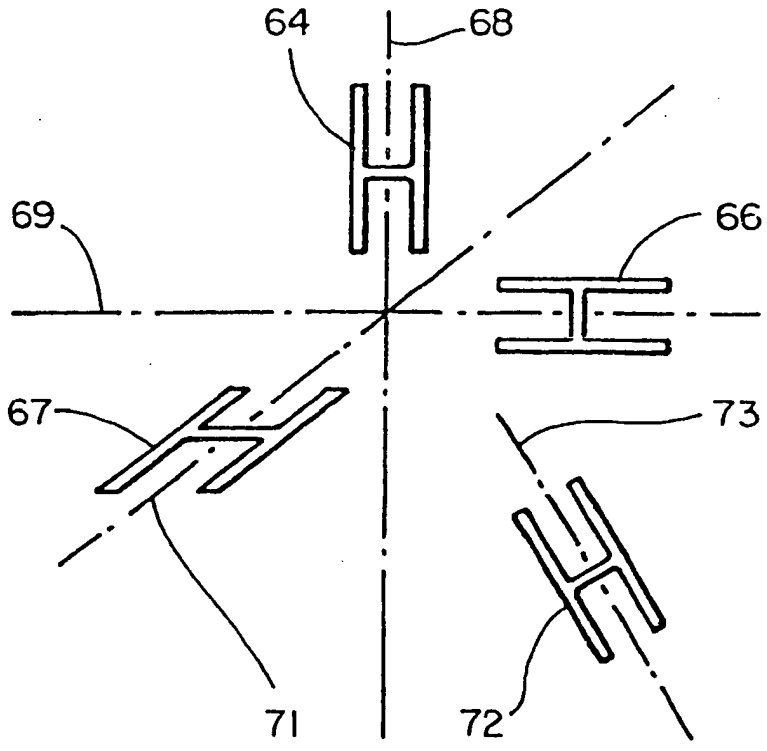

FIG_6