



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 266 183 A1

4(51) G 01 V 1/16

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 V / 307 199 7

(22) 24.09.87

(44) 22.03.89

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, Patentabteilung, Otto-Nuschke-Straße 22/23, Berlin, 1080, DD

(72) Unterreitmeier, Erhard, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys., DD

(54) Seismischer Mehrkomponentensensor

(55) Seismometer, Mehrkomponentenmessung, Zentralmasse, Vierfachbindung, Tetraedergestell, Tetraedermasse, natürliche Redundanz, zyklische Testung, umschaltbare Richtcharakteristiken, Gasfüllung, Flüssigkeitsfüllung, Signalbündelung

(57) Seismischer Mehrkomponentensensor für die Messung der räumlichen Bodenbewegung von Erdbeben und ähnlichen Erscheinungen. Er besitzt in einem äußeren ortsfesten Gestell in Tetraederform eine innere zentrale Masse M, die mit vier elastischen Elementen an den Ecken oder Seiten des Gestells elastisch aufgehängt ist. Den vier elastischen Bindungen zum Gestell sind Signalabnahme- sowie Dämpfungs- und Rückführungseinrichtungen zugeordnet. Der Sensor hat eine Minimalzahl von Elementen und eine natürliche Redundanz. Er läßt sich in den einzelnen vier Komponenten durch zyklische Vertauschung der Vortikalkomponente prüfen und eichen. Die Masse hat im wesentlichen Tetraedergestalt. Als Medium kommt eine Luft- oder Flüssigkeitsfüllung in Frage. Es ist durch Signalbündelung der vier Komponenten auf unterschiedliche Richtcharakteristiken umzuschalten. Fig. 4

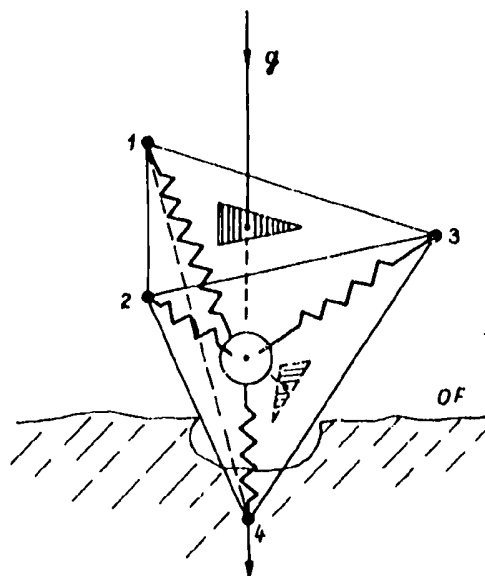


Fig. 4

Patentansprüche:

1. Seismischer Mehrkomponentensensor mit einer zentralen seismischen Masse im Gestell und mit elastischen Elementen zwischen dieser Masse und dem Gestell und mit Signalwandlern und Dämpfungs- und Rückführungseinrichtungen, **gekennzeichnet dadurch**, daß das Gestell des seismischen Mehrkomponentensensors ein regulärer Tetraeder ist und die seismische Masse in seinem räumlichen Mittelpunkt angeordnet ist und vier elastische Elemente zwischen der Masse und dem Gestell vorhanden sind und Signalwandler sowie Dämpfungs- und Rückführungseinrichtungen für die Lage und Bewegung der Masse im Gestell den vier elastischen Elementen zugeordnet sind.
2. Seismischer Mehrkomponentensensor nach Patentanspruch 1., **gekennzeichnet dadurch**, daß die vier elastischen Elemente zwischen der seismischen Masse und den vier Tetraederecken angeordnet sind.
3. Seismischer Mehrkomponentensensor nach Patentanspruch 1., **gekennzeichnet dadurch**, daß die vier elastischen Elemente zwischen der seismischen Masse und den Mittelpunkten der vier Tetraederecken angeordnet sind.
4. Seismischer Mehrkomponentensensor nach Patentanspruch 1., **gekennzeichnet dadurch**, daß die seismische Masse Tetraedergestalt hat und ihre Tetraederflächen bei Abwesenheit von seismischen Signalen im wesentlichen parallel zu den Flächen des Gestell-Tetraeders liegen.
5. Seismischer Mehrkomponentensensor nach Patentanspruch 1., **gekennzeichnet dadurch**, daß die Spitze des Gestelltetraeders abwärts in Richtung der Schwerkraft weist, wobei der Sensor nach Art eines Geophons mit dem Untergrund gekoppelt wird.
6. Seismischer Mehrkomponentensensor nach Patentanspruch 1. und Patentanspruch 5., **gekennzeichnet dadurch**, daß die vier elastischen Elemente gleichartige Zugfedern sind.
7. Seismischer Mehrkomponentensensor nach Patentanspruch 1. und Patentanspruch 5., **gekennzeichnet dadurch**, daß die vier elastischen Elemente und die Wandlereinrichtungen vier gleichartige Piezowandler sind, die zwischen Masse und Gestell kraftschlüssig angeordnet sind und einen hochfrequenten Beschleunigungssensor bilden.
8. Seismischer Mehrkomponentensensor nach Patentanspruch 1. und Patentanspruch 5., **gekennzeichnet dadurch**, daß die vier Wandler durch Lichtwellenleiterabschnitte gebildet sind, die in ihrem elastischen Bereich durch Druck und Zug zwischen Masse und Gestell beansprucht werden.
9. Seismischer Mehrkomponentensensor nach Patentanspruch 1. und Patentanspruch 5., **gekennzeichnet dadurch**, daß zwischen Masse und Gestell ein elastisches Medium vorhanden ist und abgegrenzte räumliche Bereiche des Mediums die elastischen Bindungen sind und die Wandlereinrichtungen im elastischen Medium zwischen Masse und Gestell eingebettet sind.
10. Seismischer Mehrkomponentensensor nach Patentanspruch 1. und Patentanspruch 6., **gekennzeichnet dadurch**, daß die vier gleichartigen Zugfedern isoliert zwischen Gestell und Masse fixiert sind und elektrisch leitende isolierte Verbindungen mit kleiner Federkonstante von den masseseitigen Enden der Zugfedern zum Gestell vorhanden sind und die vier Zugfedern als veränderbare Induktivitäten in an sich bekannte Wandlereinrichtungen einbezogen sind.

Hierzu 5 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft Seismometer und verwandte Instrumente, bei denen mit einer seismischen Masse M die Bodenbewegung gleichzeitig in mehreren Komponenten gemessen wird.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Es ist schon vor längerer Zeit vorgeschlagen worden, ein seismisches Universalinstrument dadurch zu realisieren, daß eine zentrale seismische Masse M in einem würfelförmigen Gestell mit mehreren Federn allseitig elastisch aufgehängt ist und die Bewegung der Masse im Gestell bei seismischen Signalen zur Registrierung in Komponenten zerlegt wird. Hierzu sind in der Horizontalen zwei Federpaare mit Zug und Gegenzug auf die Masse M zur Zentrierung und eine Zugfeder in der Vertikalen zum Tragen der Masse M und zu deren vertikaler Justierung eingesetzt (Ehlert, R.; Zusammenstellung, Erläuterung und kritische Beurteilung der wichtigsten Seismometer ..., Beiträge zur Geophysik, Band III, S. 350-474, Leipzig 1898).

Dieser Vorschlag ist in erweiterter und verbesserter Form später noch einmal für ein Schwingungsmeßgerät gemacht worden. (DE-OS 42c, 42 D 18284 — 20. 7. 1954—31. 10. 1956).

Hier sind im würfelförmigen Gestell acht Zugfedern zur Aufhängung der seismischen Masse M eingesetzt, von denen je zwei hintereinander mit Zug und Gagenzug auf die Masse M wirken. Die Lage der Masse im Gestell wird mit induktiven oder kapazitiven Meßmitteln elektrisch angezeigt. Diese Anordnung ist in ähnlicher Form auch für elektrodynamische Seismographen (SU 913.301), für piezoelektrische Seismometer (SU 397.868) und für elektrostatische Beschleunigungsmesser (DE-OS 3147011 & FR 25272-80) bekanntgemacht worden. Dort sind allerdings die elastischen Bindungen dann jeweils anwendungsspezifisch ausgeführt.

Diese bekannten Lösungen benutzen ausschließlich paarige Federn oder andere vergleichbare elastische Elemente in einem würfelförmigen Gestell zur elastischen Aufhängung der Masse M und zur Erzielung einer möglichst gleichen Eigenfrequenz f_0 der schwingenden Masse M in allen Komponenten; üblicherweise in zwei horizontalen und einer vertikalen als gefordertes orthogonales Meßsystem.

Die Forderung, ein einheitliches f_0 zu sichern, ist jedoch durch die paarige Anlage der elastischen Elemente schwer zu erreichen, da die geometrische Zentrierung der Masse M im Gestell (Gleichgewichtslage) auch bei unterschiedlichen Eigenfrequenzen der drei Komponenten erreichbar ist. Außerdem ist der technische Fertigungsaufwand für die vielen und möglichst identischen Zugfedern o. ä. Elemente bez. Temperaturgang, Alterung u. ä. durch die paarige Anlage der elastischen Elemente ziemlich hoch. Das hat die Fertigung und Anwendung solcher Seismometer stark erschwert bzw. unmöglich gemacht.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist eine Verringerung des Aufwandes für die Realisierung eines seismischen Mehrkomponentensensors sowie die Verbesserung seiner Gebrauchseigenschaften.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für seismische Mehrkomponentensensoren mit einer zentralen seismischen Masse M im Gestell und mit elastischen Elementen zwischen dieser Masse M und dem Gestell und mit zugeordneten Signalwandlern und Dämpfungs- und Rückföhrungseinrichtungen eine konstruktive Anordnung für die Teile eines solchen Mehrkomponentensensors anzugeben, die es gestattet, mit einer Minimalzahl von elastischen Elementen zwischen Masse M und Gestell des Sensors auszukommen, die es ermöglichen, die Qualität des Sensors einerseits zu erhöhen und den Aufwand für die Herstellung und Prüfung desselben andererseits zu senken.

Erfindungsgemäß wird das dadurch erreicht, daß das Gestell des seismischen Mehrkomponentensensors ein regulärer Tetraeder ist und die seismische Masse M in seinem räumlichen Mittelpunkt angeordnet ist und vier elastische Elemente zwischen der Masse M und dem Gestell vorhanden sind und Signalwandler sowie Dämpfungs- und Regulierungseinrichtungen für die Lage und Bewegung der Masse M im Gestell den vier elastischen Elementen zugeordnet sind. Die im räumlichen Mittelpunkt angeordnete Masse M hat vorzugsweise die gleiche Tetraedergestalt wie das Gestell, und ihre Begrenzungsflächen verlaufen bei Abwesenheit von äußeren Signalen parallel zu den Tetraederflächen des Gestells (Nullage). Die vier elastischen Elemente zwischen Gestell und Masse M sowie die beigeordneten Signalwandler und Dämpfungs- und Regelungseinrichtungen sind wahlweise zwischen M und den vier Tetraederecken oder -flächen angeordnet.

Der so aufgebaute Sensor hat keine paarigen elastischen Elemente mehr, wie etwa gegeneinander ziehende Federn, sondern nur vier einzelne elastische Elemente, die die seismische Masse M im Gestell zentrieren.

Damit ist er kein üblicher Dreikomponentensensor mehr, sondern einer mit vier Komponenten, von denen jeweils eine die vertikale Komponente ist, und bei denen jeweils die drei anderen Komponenten gegen diese vertikale bei der Eichung wie auch bei der laufenden Messung vorteilhaft geprüft werden können. Das kann z. B. bei der Prüfung durch das Kippen des Tetraedergestells von einer Aufstellfläche auf eine benachbarte für alle vier Komponenten zyklisch durchgeführt werden.

Überdies hat der erfindungsgemäße Sensor durch die zusätzliche vierte Komponente eine natürliche Redundanz bez. Ausfall einer Komponente im Betrieb oder etwa nach starken Transportbelastungen vor dem Installationsvorgang am Meßort. Das begünstigt das automatische Aussetzen eines solchen seismischen Sensors in beliebiger Umgebung bei Forschungsvorhaben der Seismologie.

Die verringerte Anzahl der notwendigerweise nahezu identischen elastischen Elemente erleichtert die Realisierung und Prüfung des erfindungsgemäßen seismischen Sensors. Seine Geometrie erleichtert auch eine Temperaturkompensation der Gleichgewichtslage über die Federkonstante der elastischen Elemente. Das Medium im Sensor kann von unterschiedlicher Dichte sein. Je nach Einsatzfall ist Luft oder Schutzgas unter Normaldruck oder höherem Druck zur Erzielung von Luftdämpfung im Sensor oder Vakuum zur Erlangung höchster Meßempfindlichkeit wählbar. Es kann aber auch eine Flüssigkeitsfüllung realisiert werden, und es kann ebenso ein elastisches Medium als Füllung im Sensor vorhanden sein, in dem die seismische Masse M zentral eingebettet ist, wobei einzelne räumliche Bereiche des elastischen Mediums die Rolle der o. g. elastischen Elemente übernehmen, und wo über die chemisch-physikalische Zusammensetzung des Mediums und/oder über eingebettete Wanderelemente zwischen Masse und Gestell die Relativbewegung der Masse M bei äußeren seismischen Einflüssen erfaßt und gewandelt wird. Die Flüssigkeitsfüllung ihrerseits unterstützt die Realisierung eines seismischen Sensors für extreme Anwendungsbedingungen unter hohen Drücken.

Ausführungsbeispiele

In Fig. 1 bis Fig. 5 sind Ausführungen zu vorteilhaften Varianten gemacht und ist deren Aufbau schematisch dargestellt. Fig. 1 zeigt die allgemeinen geometrischen Bezüge am tetragonalen Sensor mit der Masse M im räumlichen Mittelpunkt des Tetraeders mit den Ecken 1, 2, 3, 4, den Einheitsvektoren der Richtungen der Bindungen e_1, e_2, e_3, e_4 , zwischen M und den Ecken,

sowie den Flächenmittelpunkten MP 123...MP 234, den Seitenflächen 123...234 und den Seitenhalbierenden (1, 2) der Kante $1/2$ im Dreieck 123. Die notwendigen Dämpfungs-/Rückföhrungseinrichtungen und Signalwandler zur Erfassung der Relativbewegung der Masse M im Gestell — Tetraeder 1, 2, 3, 4 sind zwischen M und den Ecken oder M und den Flächenmittelpunkten gemeinsam oder getrennt angeordnet. Für diese Einrichtungen sind alle bekannten elektrodynamischen, elektronischen, optischen u. ä. Meßprinzipien einsetzbar.

Fig. 2 ist ein Schnitt durch den Gestell-Tetraeder in der Ebene (Eckpunkte 3, 4; Seitenhalbierende (1, 2)').

Zwischen der Masse M und den Eckpunkten 3, 4 sind die zwei von vier elastischen Bindungen, speziell Zugfedern, Fe3, Fe4 vorhanden. In deren Richtung, entgegengesetzt zu M, sind an den Flächenmittelpunkten MP 123, MP 124 die Wandler- bzw. Rückföhrungs-/Dämpfungseinrichtungen W3, W4 bzw. RD3, RD4 angeordnet. Zwischen M und den Flächenmittelpunkten kann auch eine leitende isolierte Verbindung geringer Federkraft, etwa als eine leitende isolierte Verbindung geringer Federkraft, etwa als eine Windung eines Metallbandes ausgeföhrte werden. Das erlaubt mit isolierten Federn Fe 1...Fe 4 deren gleichzeitige Einbeziehung in bekannte Wandlerschaltungen als induktive Wandlerelemente für die Ermittlung der Lage der Masse im Tetraeder.

Fig. 3 zeigt eine Ausführung mit Druck- oder Zugfedern als elastische Bindungen in Sicht auf die Fläche 234 in den Tetraeder hinein und mit verdeckter Ecke 1 sowie verdeckter, zur Ecke 1 föhrender, Feder Fe 1. Der zentralen, kugelförmig gewählten, Masse M stehen Abstandswandler, speziell kapazitiv, gegenüber, deren Hauptempfindlichkeitsrichtung jeweils zwischen Ecke und dem gegenüberliegenden Flächenmittelpunkt verläuft; z. B. zwischen Ecke 3 und MP 124, Ecke 4 und MP 123 usw. Alternativ sind auch optische Abstandswandler einsetzbar, die z. B. die verspiegelte Oberfläche der Masse abtasten und deren Lage in elektrische Signale umsetzen. Die elektrischen Bindungen sind auf vielfältige Art wählbar und der gewählten Ausführung anpaßbar.

Fig. 4 zeigt eine besonders günstig realisierbare Ausführung, in der eine Spitze des Tetraeders abwärts weist und als Aufstellungshilfe nach Art eines Explorationsgeophons bez. der Oberfläche OF des Untergrundes dient und worin drei Zugfedern bez. der Schwerkraft auf die Masse tragend sind und die vierte Zugfeder in Richtung der Schwerkraft zentrierend wirkt. Hierzu ist durch die zyklische Vertauschung der abwärts zeigenden Ecke ein Abgleich der Masse im Gestell zu erreichen, bei dem alle vier Zugfedern gleichmäßig beansprucht sind und damit gleiche Schwingungsdauern des tetragonalen Sensors in allen vier Komponentenrichtungen aufweisen. Vorteilhaft ergibt sich dann auch nur ein kleiner Bereich von Parasitärresonanzen durch Eigenschwingungen der Zugfedern anstatt vieler einzelner Resonanzen wie bei Anordnungen mit vielen paarigen Federn. Besonders für diese Ausführung ist daher die Ermittlung der Lage von M über die Induktivität der Federn vorteilhaft.

Fig. 5 ist die weitere Ausgestaltung der seismischen Masse M gezeigt. M ist ebenso wie das Gestell 1234 als Tetraeder ausgeföhrte. Die vier elastischen Elemente greifen zwischen den Ecken des Gestells und den benachbarten Ecken von M an, die Flächen des Masse-Tetraeders liegen parallel zu der jeweils benachbarten Fläche des Gestell-Tetraeders. Das begünstigt die Ausführung sehr kurzperiodischer Schwinger, zudem als elastische und Wandlerelemente Piezowandler zwischen Masse-Tetraeder und Gestell-Tetraeder eingesetzt sind, die gleichzeitig die Masse tragen und zentrieren sowie deren Lage im Gestell in elektrische Signale wandeln. Diese tetragonalen Sensoren sind dann gleichzeitig sehr klein realisierbar und insbesondere für Schwingungsüberwachung an Gebäuden, Maschinen usw. gut einsetzbar. Auch hierbei sind durch Wahl von je drei Komponenten aus vier vorhandenen unterschiedliche Richtcharakteristiken für den Sensor einstellbar, wobei die verbleibende vierte Komponente als Reserve fungiert oder als Referenznormal zur Überprüfung der drei Betriebskomponenten herangezogen wird.

Als alternative Wandler sind zwischen Masse und Gestell oder begleitend zu den konkreten elastischen Bindungen bekannte Anordnungen aus Lichtwellenleitern als Faserwickel oder Faserstück eingesetzt, die auf Druck oder Zug mit Dämpfungs- oder Phasenänderungen im Lichtweg reagieren.

Eine weitere Ausführung hat in Fig. 4 eine nach unten weisende Spitze und eine tetragonale Masse wie in Fig. 5.

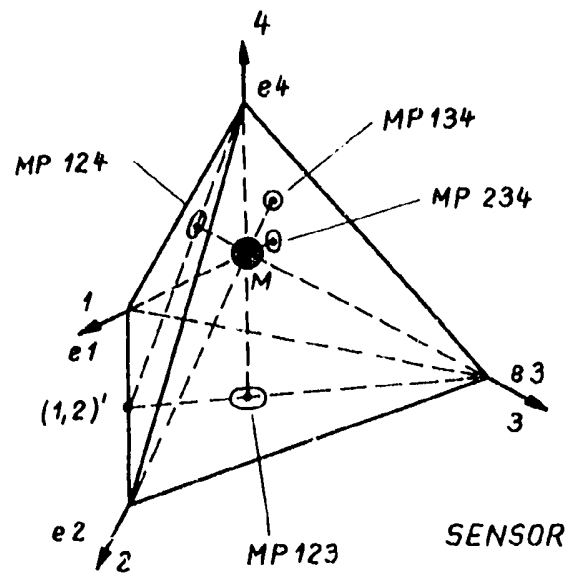


Fig. 1

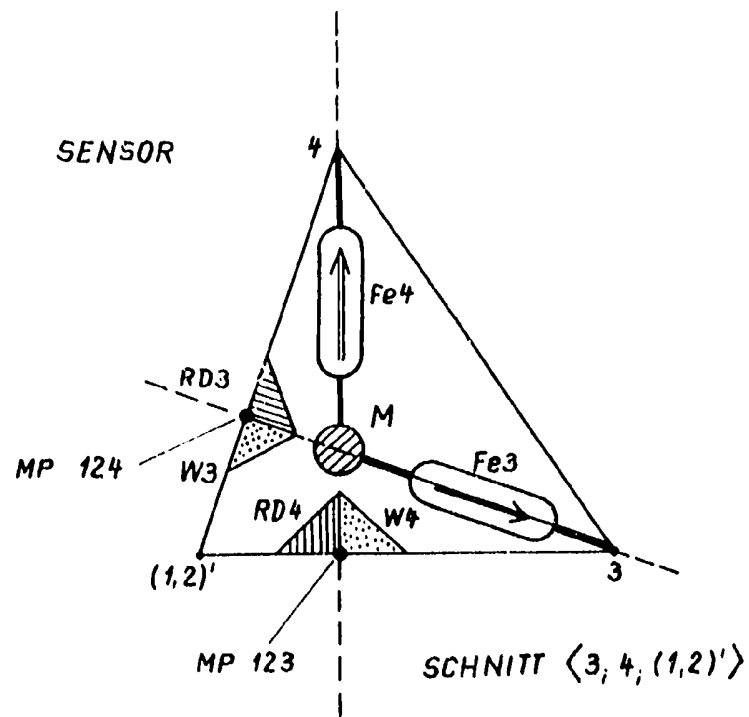


Fig. 2

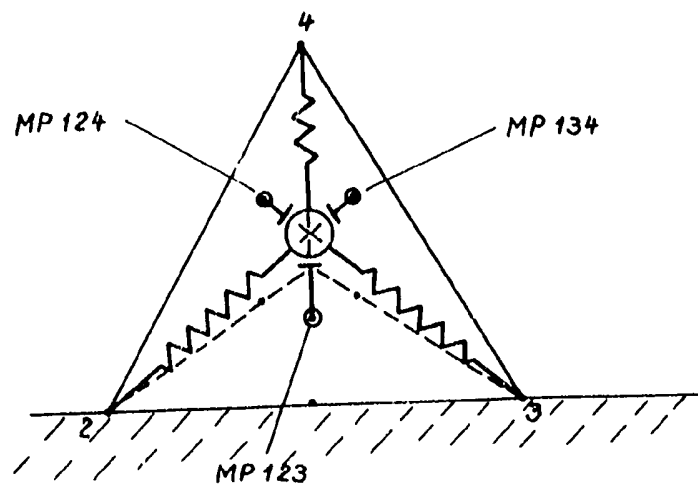


Fig. 3

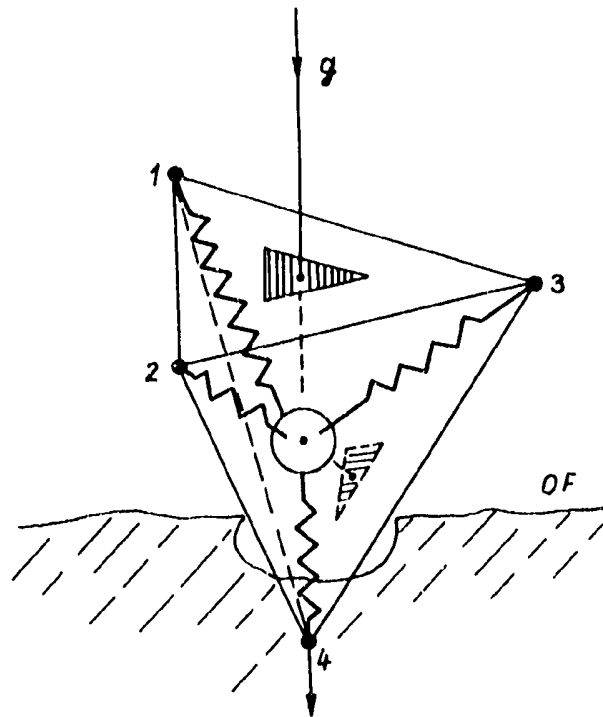


Fig. 4

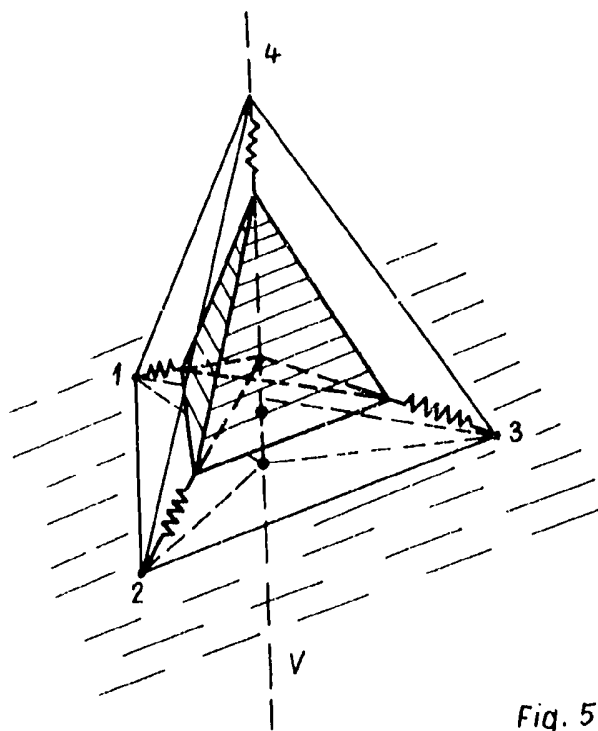


Fig. 5