



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 07 018 T2 2004.06.03**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 041 403 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G01V 1/143**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 07 018.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 400 766.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **20.03.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.10.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.12.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.06.2004**

(30) Unionspriorität:

9904001 30.03.1999 FR

(74) Vertreter:

Vonnemann, Kloiber & Kollegen, 80796 München

(73) Patentinhaber:

**Compagnie Générale de Géophysique, Massy, FR;
Gaz de France (Service National), Paris, FR;
Institut Français du Pétrole, Rueil-Malmaison,
Hauts-de-Seine, FR**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

Meynier, Patrick, 78400 Chatou, FR

(54) Bezeichnung: **Kompakter seismischer Vibrator und Verfahren zur seiner Verwendung in seismische Überwachung und Prospektion**

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] Die vorliegende Erfindung betrifft einen kompakten elektromechanischen Vibrator und ein Verfahren zur Durchführung.

[0002] Ein solcher Vibrator findet vor allem im Rahmen von seismischen Untersuchungsvorgängen Anwendungen, wo man seismische Abbildungen einer unterirdischen auszubeutenden Formation ausgehend von elastischen Wellen bildet, die durch geeignete seismische Empfänger aufgenommen werden, wobei diese Wellen durch die Diskontinuitäten des Unterbodens in Erwidern auf Wellen zurückgesandt werden, die durch eine Quelle ausgesandt werden, bei der es sich um eine Impulsquelle handelt: Explosivladung in einem Loch, Luftgeschütze, die durch ein Schiff auf dem Meer geschleppt werden, usw. oder Vibratoren, die Signale variabler Dauer, im allgemeinen mit variabler Frequenz aussenden. Die Frequenzvariation kann über einen gewissen Frequenzbereich kontinuierlich sein (Abtastung oder "Sweep") wie in dem Patent US 2 688 124 beschrieben oder auch mit diskontinuierlicher Variation mit Binärcode wie in dem Patent FR 2 589 587 beschrieben.

[0003] Die Vibratoren können z.B. vom elektromagnetischen oder elektrohydraulischen oder auch piezoelektrischen Typ sein. Ein Vibrator vom piezoelektrischen Typ umfasst im allgemeinen eine Grundplatte, die mit dem Boden gekoppelt ist, eine relativ schwere inerte Masse bzw. Trägheitsmasse (im folgenden inerte Masse genannt), die mit dem Schalltrichter mittels eines oder mehrerer piezoelektrischer Signalumsetzer gekoppelt ist. Jeder Signalumsetzer umfasst z.B. ein Gestänge, das aus einem einzigen Stück oder aus einem Stapel von Scheiben aus piezoelektrischer Keramik, die in Reihe gekoppelt ist, besteht und er ist mit einem Generator von Vibrationsignalen verbunden, welche frequenz- oder phasenmoduliert sind. Ein piezoelektrischer Vibrator ist z.B. in dem Patent US 5 005 665 beschrieben.

[0004] Um eine Vibrationskraft und eine Vibrationsamplitude zu erhalten, die ausreichend ist, ist es notwendig, keramische Säulen von relativ großer Länge, in der Größenordnung von 1 m in der Praxis zu verwenden. Aufgrund dieser Mehrstufigkeit wird die inerte Masse relativ hoch angeordnet, obwohl der Vibrator instabil ist und schlecht geeignet, bei selbst leicht abschüssigem Gelände ohne eine vorherige Verankerung zu arbeiten. Im übrigen erweisen sich die keramischen Säulen großer Länge als zerbrechlicher. Dieses Problem wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren gemäß Anspruch 11 gelöst.

[0005] Durch das Patent 3 110 825 kannte man einen Vibrator, der dazu vorgesehen war, in Wasser zu arbeiten, welcher einen ersten Signalumsetzer umfasste, der aus einer piezoelektrischen röhrenförmigen Säule bestand, die zwischen einem Schalltrichter und einer Platte angeordnet war, einen zweiten pi-

ezelektrischen röhrenförmigen Signalumsetzer, der in einem Innenraum eingeschlossen war, der durch den ersten gebildet wurde, und einen Generator, der dazu ausgelegt war, auf sie Steuersignale der Art anzuwenden, dass der Vibrator bei einer Viertelwelle arbeitet.

[0006] Die Vorrichtung gemäß der Erfindung ist ausgelegt, um seismische Wellen in einer festen Umgebung auszusenden. Sie umfasst einen elektro-mechanischen Vibrator, der mit einem Schalltrichter versehen ist, der dazu vorgesehen ist, im Betrieb mit einer einzigen Oberfläche dieser festen Umgebung gekoppelt zu werden, Vibrationsmittel, die wenigstens zwei elektromechanische Signalumsetzer, jeder mit wenigstens einem länglichen Motorelement, umfassen, wobei jedes Motorelement des ersten Signalumsetzers den Schalltrichter mit einer Relaisplatte starr verbindet und wobei jedes Motorelement des zweiten Signalumsetzers durch ein erstes Ende starr an jeder Relaisplatte befestigt ist und durch sein gegenüberliegendes Ende mit einer zweiten Platte verbunden ist, die zwischen dem Schalltrichter und der Relaisplatte und einem Erregungsgenerator befestigt ist.

[0007] Sie ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Platte eine genügend schwere inerte Masse ist, der Erregungsgenerator ausgelegt ist, um gegenüber den Signalumsetzern zueinander phasenversetzte Vibrations-signale derart anzuwenden, dass die Bewegungen der Relaisplatte und des Schalltrichters im wesentlichen in Phase gesetzt werden und die relative Bewegung des Schalltrichters in Bezug zur inerten Masse maximiert wird.

[0008] Gemäß einer Ausführungsform umfasst der Vibrator ein Paar von Signalumsetzern, die an der selben Seite einer Relaisplatte angeordnet sind und starr mit ihr gekoppelt sind, wobei jedes Motorelement des zweiten Signalumsetzers direkt die Relaisplatte mit der inerten Masse verbindet.

[0009] Gemäß einer anderen Ausführungsform umfasst der Vibrator wenigstens zwei Paare von Signalumsetzern, wobei die Signalumsetzer jedes Paares auf derselben Seite einer Relaisplatte angeordnet sind und starr mit ihr verbunden sind, wobei jedes Motorelement des zweiten Signalumsetzers durch ein erstes, starr mit der Relaisplatte verbundenes Ende und durch sein gegenüberliegendes, mit der inerten Masse verbundenes Ende mit den Motorelementen des zweiten Paares von Signalumsetzern und Relaisplatten verbunden ist.

[0010] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfassen die elektromechanischen Signalumsetzer eine oder mehrere Stützen, die aus einem Material vom piezoelektrischen oder magnetostriktiven Typ sind.

[0011] Mit einer solchen Anordnung von wenigstens einem Paar von elektromagnetischen Signalumsetzern mit Motorelementen von begrenzter Länge, die mittels einer oder mehrerer Relaisplatten gekoppelt und verbunden sind, kann die inerte Masse sehr nah an den Schalltrichter zurückgeführt werden. Man er-

hält einen gleichzeitig sehr robusten und sehr stabilen Vibrator mit an Höhe vermindertem Raumbedarf.

[0012] Vorzugsweise umfasst jeder Signalumsetzer mehrere längliche Motorelemente, die parallel angeordnet und parallel zu den Phasenversetzungsmitteln verbunden sind.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vermindert man den Raumbedarf des Vibrators, indem man eine oder mehrere Aussparungen durch die inerte Masse hindurch anordnet, von wo die Motorelemente jedes Signalumsetzers durchtreten.

[0014] Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist wenigstens ein Sitz in der inerten Masse derart ausgespart, dass ein Teil der Länge der Motorelemente des zweiten Signalumsetzers in deren Dicke sitzt.

[0015] Vorzugsweise umfasst der Erregungsgenerator Verbindungsmittel, die das getrennte Erregen der beiden Signalumsetzer jedes Paares mit in Amplitude und Phase modulierbaren Erregersignalen ermöglichen.

[0016] Bei Anwendungen, wo das Stabilitätskriterium nicht besonders gewünscht ist, ist es möglich, einen Vibrator zu verwenden, der wenigstens drei elektromechanische Signalumsetzer umfasst, die den Schalltrichter und die inerte Masse miteinander verbinden, wobei diese Signalumsetzer miteinander mittels wenigstens zweier Relaisplatten verbunden sind, wobei der Erregergenerator mit den verschiedenen Signalumsetzern mittels von Phasenversetzungsmitteln verbunden ist, die dazu ausgelegt sind, auf sie jeweils Erregersignale anzuwenden, die zueinander derart phasenversetzt sind, dass sie die durch die verschiedenen Signalumsetzer ausgesandten Vibratorsignale koppeln.

[0017] In bestimmten Anwendungen, wo der Vibrator in einem durch ein Bohrloch zur Ausbeutung einer Lagerstätte verlängerten Hohlraum angeordnet werden muss, können der Schalltrichter, die inerte Masse und jede Relaisplatte mit einer zentralen Aussparung zum Durchtritt eines Rohres versehen sein.

[0018] Das Verfahren gemäß der Erfindung ermöglicht die seismische Überwachung einer unterirdischen Zone wie einer unterirdischen Lagerstätte zum Lagern von Fluiden. Es umfasst das Koppeln von Mitteln zum Empfang von elastischen Wellen mit der Zone und es ist dadurch gekennzeichnet, dass es umfasst:

- das Installieren für die Überwachungsdauer der Zone von wenigstens einer Vorrichtung zum Aussenden seismischer Wellen in einer festen Umgebung, wobei diese Vorrichtung umfasst: einen elektro-mechanischen Vibrator, der mit einem Schalltrichter versehen ist, der mit einer einzigen Oberfläche dieser festen Umgebung gekoppelt ist, Vibrationsmittel, die wenigstens zwei elektromechanische Signalumsetzer mit wenigstens einem länglichen Motorelement umfassen, wobei jedes Motorelement des ersten Signalumsetzers den Schalltrichter starr mit einer Relaisplatte ver-

bindet und wobei jedes Motorelement des zweiten Signalumsetzers durch ein erstes Ende starr an der Relaisplatte befestigt ist und durch sein gegenüberliegendes Ende mit einer zweiten Platte verbunden ist, die zwischen dem Schalltrichter und der Relaisplatte angeordnet ist, wobei die zweite Platte eine genügend schwere inerte Masse ist,

- das Installieren eines Netzes elektrischer Kabel, die mit den Signalumsetzern jedes Vibrators verbunden sind; und

– die Verbindung der Kabel dieses Netzes zu einer zentralen Station, welche wenigstens einen Erregungsgenerator, der ausgelegt ist, um jeweils zu den Signalumsetzern zueinander phasenversetzte Vibrationssignale derart anzuwenden, dass die Bewegungen der Relaisplatte und des Schalltrichters im wesentlichen in Phase gesetzt werden und die relative Bewegung des Schalltrichters in Bezug zur inerten Masse maximiert wird, Mittel für eine selektive Verbindung des Vibrators von jeder Vorrichtung mittels dieses Netzes von elektrischen Kabeln und Mittel zur Aufzeichnung der Signale umfasst, die von der unterirdischen Zone in Erwiderung der selektiv durch die Vibratoren in die Erde übertragenen seismischen Wellen ausgesandt werden.

[0019] Die Vibratoren sind vorzugsweise in wenigstens einem Hohlraum angeordnet, der in der Erde ausgespart ist, und die Empfänger der elastischen Wellen, die mit der Formation in einem oder mehreren in die Formation gebohrten Löchern gekoppelt, deren Platzierungen ggf. unterschiedlich von den Hohlräumen sind. Sie sind in geeigneter Weise mit dem Hohlraum gekoppelt, um in den Formationen Longitudinal- oder Transversalwellen zu erzeugen.

[0020] Für seismische Überwachungsvorgänge einer unterirdischen Zone kann man eine Vielzahl von Anordnungen von Vibratoren und Empfängern verteilen und zu Überwachungszyklen mit Erregung der verschiedenen Vibratoren (aufeinanderfolgend oder gleichzeitig gemäß den speziellen Varianten) und Aufzeichnung der Wellen übergehen, die in Erwiderung auf die durch die Vibratoren ausgesandten und von den verschiedenen Empfängern empfangenen Wellen durch die Formation zurückgesandt werden.

[0021] Der Vibrator gemäß der Erfindung kann ebenso gut im Rahmen von seismischen Bodenuntersuchungsvorgängen in der Erde wie für seismische Überwachungsvorgänge in der Erde oder auf dem Boden einer Wassermasse verwendet werden.

[0022] Aufgrund seiner Robustheit und seiner Kompaktheit kann der Vibrator gemäß der Erfindung leicht fest in einem Hohlraum installiert werden, der in der Erde ausgespart ist, und durch Unterbrechungen mittels des Netzes in Rahmen von periodischen Überwachungsvorgängen der unterirdischen Zone erregt werden oder auch für seismische Untersuchungsvorgänge verwendet werden.

[0023] Andere Merkmale und Vorteile des Vibrators gemäß der Erfindung werden beim Lesen der nachfolgenden Beschreibung von nicht begrenzenden Ausführungsbeispielen hervortreten, wo die Signalumsetzer vom piezoelektrischen Typ sind, bezugnehmend auf die anliegenden Zeichnungen, worin:

- die **Fig. 1** eine schematische Ansicht eines Schnittes einer ersten Ausführungsform des Vibrators gemäß der Erfindung zeigt, dessen Motorelemente Säulen sensibler piezoelektrischer Elemente sind;
- die **Fig. 2** eine Ansicht von oben im Schnitt gemäß CC desselben Vibrators ist, welche die jeweilige Anordnung der Säulen der beiden piezoelektrischen Signalumsetzer zeigt;
- die **Fig. 3** schematisch eine dritte Ausführungsform des Vibrators mit zwei koaxialen Signalumsetzern zeigt;
- die **Fig. 4** schematisch eine vierte Ausführungsform des Vibrators mit zwei koaxialen Signalumsetzern zeigt;
- die **Fig. 5** ein Grundschema ist, dass eine Ausführungsform zeigt, wo der Vibrator zwei piezoelektrische, verschachtelte Signalumsetzer umfasst;
- die **Fig. 6** ein erstes Anordnungsbeispiel zur periodischen seismischen Überwachung einer unterirdischen Zone zeigt;
- die **Fig. 7** eine Vielfachquellen-, Vielfachbohrloch-Installation zur periodischen seismischen Überwachung einer unterirdischen Zone zeigt; und
- die **Fig. 8** schematisch ein Vibratorbeispiel zeigt, das eine ungerade Anzahl von Signalumsetzern umfasst.

[0024] Der Vibrator V gemäß der Erfindung wird durch mechanisches Koppeln von Signalumsetzern ausgeführt, die jeder mehrere Säulen umfassen, welche jede in an sich bekannter Weise durch Stapelung von empfindlichen, elektrisch in Reihe verbundenen, z.B. piezoelektrischen Elementen bestehen.

[0025] Die Ausführungsform der **Fig. 1, 2** umfasst zwei Signalumsetzer **1, 2**, die gegenüber angebracht sind und jeder mehrere aus gestapelten Tellern bestehende Säulen umfassen. Ein erstes Ende jeder Säule A des ersten piezoelektrischen Signalumsetzers **1** ist starr mit einem Schalltrichter (Grundplatte) **3** befestigt, der ausgelegt ist, um gegen die Oberfläche des Bodens bzw. der Erde oder des Bodens eines Loches angelegt zu werden. An deren gegenüberliegendem Ende sind die Säulen A starr an eine Relaisplatte **4** befestigt. Jede Säule B des zweiten piezoelektrischen Signalumsetzers **2** ist starr durch ein erstes Ende an der Relaisplatte **4** befestigt und durch sein gegenüberliegendes Ende an einer inerten, genügend schweren Masse **5** befestigt. Die Anordnung ist derart, dass die inerte Masse **5** bei der Relaisplatte **4** durch die Säulen B des zweiten piezoelektrischen Signalumsetzers **2** gefedert wird, wobei die Relais-

platte **4** selbst durch die Säulen A getragen wird, welche auf dem Schalltrichter **3** ruhen.

[0026] Die Säulen von jedem piezoelektrischen Signalumsetzer **1** oder **2** sind elektrisch parallel mit einem Vibrationssignalerzeuger **6** verbunden, der Phasenversetzungsmittel **7** umfasst. Die beiden piezoelektrischen Signalumsetzer **1, 2** werden mit diesen Phasenversetzungsmitteln **7** derart verbunden, dass deren jeweilige Vibrationen sich koppeln. Die Amplitude der auf den Schalltrichter **3** angewandten Bewegungen im Verhältnis zur inerten Masse **5** ist maximal, wenn die beiden Signalumsetzer in Gegenphase gespeist werden.

[0027] Durch diese Kopplung von Signalumsetzern **1, 2** mit den Säulen mittlerer Länge erhält man die gleiche Kraft und die gleiche Auslenkung wie jene, die mit einem einzigen Signalumsetzer, der lange Säulen aus Keramik verwendet, welche zerbrechlicher sind. Die durchgeführte Montage, welche die inerte Masse in die Nähe des Schalltrichters heranzuführt, ermöglicht es, einen kompakten und stabileren Vibrator zu erhalten.

[0028] Die Kombination der beiden Signalumsetzer zeigt einen anderen Vorteil, wenn man die Verbindungsmittel verwendet, welche es ermöglicht, sie getrennt von dem Generator **6** aus zu speisen. Indem man die Amplitude der zu den beiden Signalumsetzern **1, 2** jeweils zugeführten Signale sowie die Phasenversetzung, die ihnen die Phasenversetzungsmittel **7** auferlegen, variieren lässt, kann man die Antwortkurve des Vibrators korrigieren und insbesondere sein Frequenzspektrum ausgleichen.

[0029] Vorzugsweise werden Öffnungen **8** durch die inerte Masse **5** hindurch eingebracht, welche den freien Durchtritt der Säulen A des ersten piezoelektrischen Signalumsetzers **1** ermöglichen, welcher den Schalltrichter **3** mit der Relaisplatte **4** verbindet. Auf diese Weise vermindert man die Oberfläche am Boden des Vibrators sowie die Dimensionen der Relaisplatte, was sie starrer macht. Vorzugsweise, wie es in der **Fig. 2** angezeigt ist, sind die Säulen der beiden Signalumsetzer **1, 2** mit regelmäßigen Winkelintervallen zueinander verteilt.

[0030] Man gewinnt gleichermaßen an Höhe, indem man die Hohlräume **9** in der inerten Masse **5** derart anordnet, dass ein Teil der Länge der Säulen B des zweiten piezoelektrischen Signalumsetzers **2** in deren Dicke angeordnet ist.

[0031] Die von dem Generator **6** gelieferte Spannung kann an Frequenz und/oder Amplitude derart moduliert werden, dass bekannte seismische Untersuchungstechniken unter Verwendung von Vibratoren mit gleitender Frequenz eingesetzt werden.

[0032] Die Signalumsetzer **1, 2** können ebenfalls konzentrisch angeordnet werden, wie in den **Fig. 3, 4** gezeigt.

[0033] Gemäß der Ausführungsform der **Fig. 3** ist der Schalltrichter **3** mit der Relaisplatte **4** durch eine einzige zentrale Säule A gekoppelt, welche durch Stapelung sensibler Scheiben gebildet wird. Das

Koppeln zwischen der Relaisplatte **4** und der inerten Masse **5** wird durch eine Stapelung B von ringförmigen Tellern sichergestellt, die um eine zentrale Säule A herum angeordnet sind. Die inerte Masse **5** umfasst einen zentralen Hohlraum **11**, der den freien Durchtritt der zentralen Säule A ermöglicht.

[0034] Gemäß der Ausführungsform der **Fig. 4** ist dies eine Stapelung A von ringförmigen Tellern, welche den Schalltrichter **3** und die Relaisplatte **4** starr verbindet, während die Verbindung zwischen jener und der inerten Masse **5** durch eine Säule B verwirklicht ist, welche das Innere der Stapelung A durchläuft.

[0035] Gemäß der Ausführungsform der **Fig. 5** kann man ebenfalls ein zweites Paar von mit dem ersten verbundenen Signalumsetzern verwenden, die es durch eine doppelte Verstärkung ermöglichen, die Masse **5** in die Nähe des Schalltrichters **3** zurückzuführen. In einer solchen Anordnung verbindet ein erster Satz von Säulen A den Schalltrichter **3** mit einer ersten Relaisplatte R1, ein zweiter Satz von Säulen B verbindet in entgegengesetzter Richtung die erste Relaisplatte R1 mit einer zweiten Relaisplatte R2, welche selbst durch einen Satz von Säulen C mit einer dritten Relaisplatte R3 in der Nähe der ersten Relaisplatte R1 verbunden ist. Die Säulen D verbinden schließlich die dritte Relaisplatte R3 mit der inerten Masse **5** in der Nähe der zweiten Relaisplatte und des Schalltrichters **3**.

[0036] Mit einer solchen Anordnung von vier Signalumsetzern, die an Amplitude getrennt erregt werden und passend voneinander phasenversetzt sind, erhöht man die Regelungsmöglichkeiten der Gesamtantwortkurve des Vibrators.

[0037] Die beschriebene Anordnung von Einsetzpunkten der Säulen der Signalumsetzer jeweils zwischen der Relaisplatte (**4**, R1) einerseits und des Schalltrichters **3** und der inerten Masse **5** ist nicht begrenzend. Man kann jede andere Positionierung der verschiedenen Säulen zueinander wählen, die es ermöglicht, die inerte Masse in die Nähe der Oberfläche zur Kopplung des Vibrators mit dem Boden zu bringen.

[0038] In Anwendungen, wo die Stabilität des Vibrators, die man, wie man es gesehen hat, erhält, indem man die inerte Masse **5** in die Nähe des Schalltrichters **3** führt, nicht speziell gewünscht ist, ist es möglich, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen, eine überzählige Anzahl von Signalumsetzern zu verwenden, wie schematisch in der **Fig. 8** dargestellt. Die Säulen A von einem ersten Signalumsetzer verbinden den Schalltrichter **3** mit einer ersten Relaisplatte R1. Von einer gleichen Seite dieser ersten Relaisplatte verbinden die Säulen B eines zweiten Signalumsetzers sie mit einer zweiten Relaisplatte R2. Die inerte Masse **5** wird mit der zweiten Relaisplatte R2 durch Säulen C eines dritten Signalumsetzers verbunden, welche auf derselben Seite von dieser wie die Säulen B angeordnet sind.

[0039] Der Vibrator, wie er beschrieben worden ist,

kann als permanente Quelle im Rahmen von seismischen Überwachungsverfahren einer unterirdischen Lagerstätte verwendet werden, beispielsweise beschrieben in den Patenten FR 2.674.029 (US 5,243,562), EP 0.748.457 (US 5,724,311) oder der Patentanmeldung FR 98/02.170, wo man an einer Untersuchungsstelle fest seismische Empfänger und eine oder mehrere Quellen von elastischen Wellen installiert, die mit den Mitteln zur Energiezufuhr derart gekoppelt sind, dass periodische seismische Ableasuren durchgeführt werden.

[0040] Vibratoren G, wie jene oben beschriebenen, können (**Fig. 6**) leicht mit der Oberfläche gekoppelt werden oder in der Nähe der Oberfläche angeordnet werden. Man installiert sie vorzugsweise in den unterirdischen Hohlräumen S, welche tief genug sind (z.B. einige zehn Meter).

[0041] Der Schalltrichter **3** des Vibrators kann mit dem Boden und/oder mit den Wänden derart kontaktiert werden, dass in den umgebenden Formationen gemäß den Fällen Longitudinalwellen oder Transversalwellen oder Abscherwellen erzeugt werden.

[0042] Jeder Vibrator wird durch elektrische Kabel **12**, die ggf. vergraben sind, mit einem Vibrationssignalgenerator in einer Zentralstation **13** verbunden, die im übrigen ausgelegt ist, um die von den Empfängermitteln R, welche in ein oder mehrere Bohrlöcher W hinabgelassen sind, in Antwort auf die verschiedenen ausgesandten Vibrationssignale aufgenommenen Signale zu sammeln und aufzuzeichnen.

[0043] Die Bohrlöcher W können speziell gebohrt werden, um dort Empfänger R in einer Tiefe von einigen hundert Metern zu installieren. Eines oder mehrere unter ihnen können gleichermaßen Untersuchungsbohrlöcher der unterirdischen Zone sein, wobei die Empfänger hinter einem Schalungsrohr (casing) installiert werden oder auch mit einem Rohr zur Ausbeutung der Bohrlöcher verbunden sind.

[0044] Jeder Hohlraum kann durch Erweiterung eines Loches W für Empfänger in seinem oberen Teil gebildet werden oder bei einigen Metern mit der Öffnung eines Bohrlochs überkreuzt sein. Für die Anwendungen, wo der Hohlraum einer Installation bzw. Anlage durch ein Rohr zur Ausbeutung einer unterirdischen Zone durchquert ist, verwendet man einen Vibrator, der dazu geeignet ist, um es herum angeordnet zu sein. Zu diesem Zweck sind der Schalltrichter **3**, die inerte Masse **5** und jede Relaisplatte **4** eines solchen Vibrators mit einer zentralen Öffnung versehen, die den Durchtritt eines Rohrs ermöglicht.

[0045] Gemäß der in der **Fig. 7** schematisierten Ausführungsform überkreuzt man mehrere Paare von Bohrlöchern W und Hohlräumen S, wie jene der **Fig. 6** im Abstand zueinander über die gesamte zu überwachende unterirdische Zone.

[0046] Die Vibratoren können aufeinanderfolgend erregt werden. Die seismischen Signale, die in Erwiderung auf die durch einen Vibrator ausgesandten Wellen empfangen werden, werden durch Empfänger R in den verschiedenen Bohrlöchern und korre-

liert mit den ausgesandten seismischen Wellen aufgenommen.

[0047] Die Vibratoren können auch gleichzeitig mit der Bedingung betätigt werden, dass jeder zu jedem Moment durch spezifische Signale erregt wird, die durch kontinuierliches Frequenzgleiten oder auch durch eine diskontinuierliche Variation mit Binärcode, wie in dem Patent FR 2 589 587, das bereit zitiert wurde, derart angeregt werden, dass man durch Korrelation mit den empfangenen Signalen in den verschiedenen Bohrlöchern W den Ort von deren Aussendung identifizieren kann.

[0048] Man hat Anwendungen des Vibrators gemäß der Erfindung in der Erde bzw. im Boden beschrieben. Es ist hingegen offensichtlich, dass er mit dem Boden einer Wassermasse für seismische Überwachungsvorgänge unterirdischer Zonen gekoppelt werden kann.

[0049] Er kann ebenfalls für seismische Forschungsvorgänge verwendet werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Aussenden seismischer Wellen in einer festen Umgebung, umfassend einen elektro-mechanischen Vibrator, der mit einem Schalltrichter (3) versehen ist, der dazu vorgesehen ist, im Betrieb mit einer einzigen Oberfläche dieser festen Umgebung gekoppelt zu werden, Vibrationsmittel, die wenigstens zwei elektromechanische Signalumsetzer (1, 2), jeder mit wenigstens einem länglichen Motorelement, umfassen, wobei jedes Motorelement (A) des ersten Signalumsetzers (1) den Schalltrichter (3) starr mit jeder Relaisplatte (4, R1) verbindet und wobei jedes Motorelement (B) des zweiten Signalumsetzers (2) durch ein erstes Ende starr an jeder Relaisplatte (4, R1) befestigt ist und durch sein gegenüberliegendes Ende mit einer zweiten Platte (5) verbunden ist, die zwischen dem Schalltrichter (3) und der Relaisplatte (4, R1) und einem Erregungs-generator (6, 7) befestigt ist, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Platte (5) eine genügend schwere inerte Masse ist, der Erregungs-generator (6, 7) ausgelegt ist, um gegenüber den Signalumsetzern zueinander phasenversetzte Vibrationssignale derart anzuwenden, dass die Bewegungen der Relaisplatte und des Schalltrichters im wesentlichen in Phase gesetzt werden und die relative Bewegung des Schalltrichters in Bezug zur inerten Masse (5) maximiert wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Vibrator ein Paar von Signalumsetzern (1, 2) umfasst, die an der selben Seite einer Relaisplatte (4, R1) angeordnet sind und starr mit ihr gekoppelt sind, wobei jedes Motorelement (B) des zweiten Signalumsetzers (2) direkt die Relaisplatte (4) mit der inerten Masse (5) verbindet.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Vibrator wenigstens zwei

Paare von Signalumsetzern (1, 2), (1', 2') umfasst, wobei die Signalumsetzer jedes Paares auf derselben Seite einer Relaisplatte (R1, R3) angeordnet sind und starr mit ihr verbunden sind, wobei jedes Motorelement (B) des zweiten Signalumsetzers (2) des ersten Paares durch ein erstes, starr mit der Relaisplatte (D1) verbundenes Ende und durch sein gegenüberliegendes, mit der inerten Masse (5) verbundenes Ende mit den Motorelementen (C, D) des zweiten Paares (1', 2') von Signalumsetzern und Relaisplatten (R2, R3) verbunden ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Signalumsetzer mehrere Motorelemente umfasst, die parallel zueinander angeordnet und parallel zu den Phasenversetzungsmitteln (7) verbunden sind.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Aussparung (8) durch die inerte Masse (5) hindurch angeordnet ist, die den freien Durchtritt von Motorelementen (A, B, C) wenigstens eines Signalumsetzers ermöglicht.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Sitz (9) in der inerten Masse (5) derart ausgespart ist, dass ein Teil der Länge der Motorelemente (B, D) von wenigstens einem anderen Signalumsetzer in deren Dicke sitzt.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie Mittel zum getrennten Erregen der Signalumsetzer mit in Amplitude und Phase modulierbaren Erregersignalen derart umfasst, dass die Frequenzantwort des Vibrators ausgeglichen wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie wenigstens drei elektromechanische Signalumsetzer umfasst, die den Schalltrichter (3) und die inerte Masse (5) miteinander verbinden, wobei diese Signalumsetzer miteinander mittels wenigstens zweier Relaisplatten verbunden sind, wobei der Erregergenerator (6) mit den verschiedenen Signalumsetzern mittels von Phasenversetzungsmitteln (7) verbunden ist, die dazu ausgelegt sind, auf sie jeweils Erregersignale anzuwenden, die zueinander derart phasenversetzt sind, dass sie die durch die verschiedenen Signalumsetzer ausgesandten Vibratorsignale koppeln.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schalltrichter (3), die inerte Masse (5) und jede Relaisplatte (4) eine Aussparung zum Durchtritt eines Rohres umfasst.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Motorelemente vom piezoelektrischen oder magnetostruktiven Typ sind.

11. Verfahren zur seismischen Überwachung einer unterirdischen Zone wie einer unterirdischen Lagerstätte zum Lagern von Fluiden, umfassend das Koppeln von Mitteln (R) zum Empfang von elastischen Wellen mit der Zone, dadurch gekennzeichnet, dass es umfasst:

- das Installieren für die Überwachungsdauer der Zone von wenigstens einer Vorrichtung zum Aussenden seismischer Wellen in einer festen Umgebung, umfassend einen elektro-mechanischen Vibrator (V), der mit einem Schalltrichter (3) versehen ist, der mit einer einzigen Oberfläche dieser festen Umgebung gekoppelt ist, Vibrationsmittel, die wenigstens zwei elektromechanische Signalumsetzer (1, 2) mit wenigstens einem länglichen Motorelement umfassen, wobei jedes Motorelement (A) des ersten Signalumsetzers (1) den Schalltrichter (3) starr mit einer Relaisplatte (4, R1) verbindet und wobei jedes Motorelement (B) des zweiten Signalumsetzers (2) durch ein erstes Ende starr an der Relaisplatte (4, R1) befestigt ist und durch sein gegenüberliegendes Ende mit einer zweiten Platte (5) verbunden ist, die zwischen dem Schalltrichter (3) und der Relaisplatte (4, R1) angeordnet ist, wobei die zweite Platte (5) eine genügend schwere inerte Masse ist,
- das Installieren eines Netzes elektrischer Kabel (12), die mit den Signalumsetzern (1, 2) jedes Vibrators (V) verbunden sind; und
- die Verbindung der Kabel (12) dieses Netzes zu einer zentralen Station (13), welche wenigstens einen Erregungsgenerator (6, 7), der ausgelegt ist, um jeweils zu den Signalumsetzern zueinander phasenversetzte Vibrationssignale derart anzuwenden, dass die Bewegungen der Relaisplatte und des Schalltrichters im wesentlichen in Phase gesetzt werden und die relative Bewegung des Schalltrichters in Bezug zur inerten Masse (5) maximiert wird, Mittel für eine selektive Verbindung des Vibrators (V) von jeder Vorrichtung mittels dieses Netzes von elektrischen Kabeln (12) und Mittel zur Aufzeichnung der Signale umfasst, die von der unterirdischen Zone in Erwidern der selektiv durch den Vibrator jeder Vorrichtung in die Erde übertragenen seismischen Wellen ausgesandt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass es die Installation wenigstens eines Vibrators (V) in wenigstens einem Hohlraum (S), der in der Erde ausgespart ist und dessen Kopplung mit den Formationen, die den Hohlraum umgeben, derart umfasst, dass dort Longitudinal- oder Transversalwellen erzeugt werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass es das Koppeln der Empfänger (R) von elastischen Wellen in wenig-

tens einem Bohrloch (W) umfasst, das in die Formation gebohrt ist.

14. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass es die Verteilung mehrerer Anordnungen von Vibratoren (V) und Empfängern (R) in der Zone umfasst, die mit der Formation unter der Oberfläche gekoppelt sind, und die Realisierung von Überwachungszyklen mit Erregung der verschiedenen Vibratoren und Aufzeichnung der Wellen, die in Erwidern auf die durch die Vibratoren ausgesandten und von den verschiedenen Empfängern empfangenen Wellen durch die Formation zurückgesandt werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die verschiedenen Vibratoren (V) aufeinanderfolgend betätigt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die verschiedenen Vibratoren (V) durch die spezifischen Signale erregt und gleichzeitig betätigt werden.

17. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10 bei der seismischen Bodenforschung.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG.1

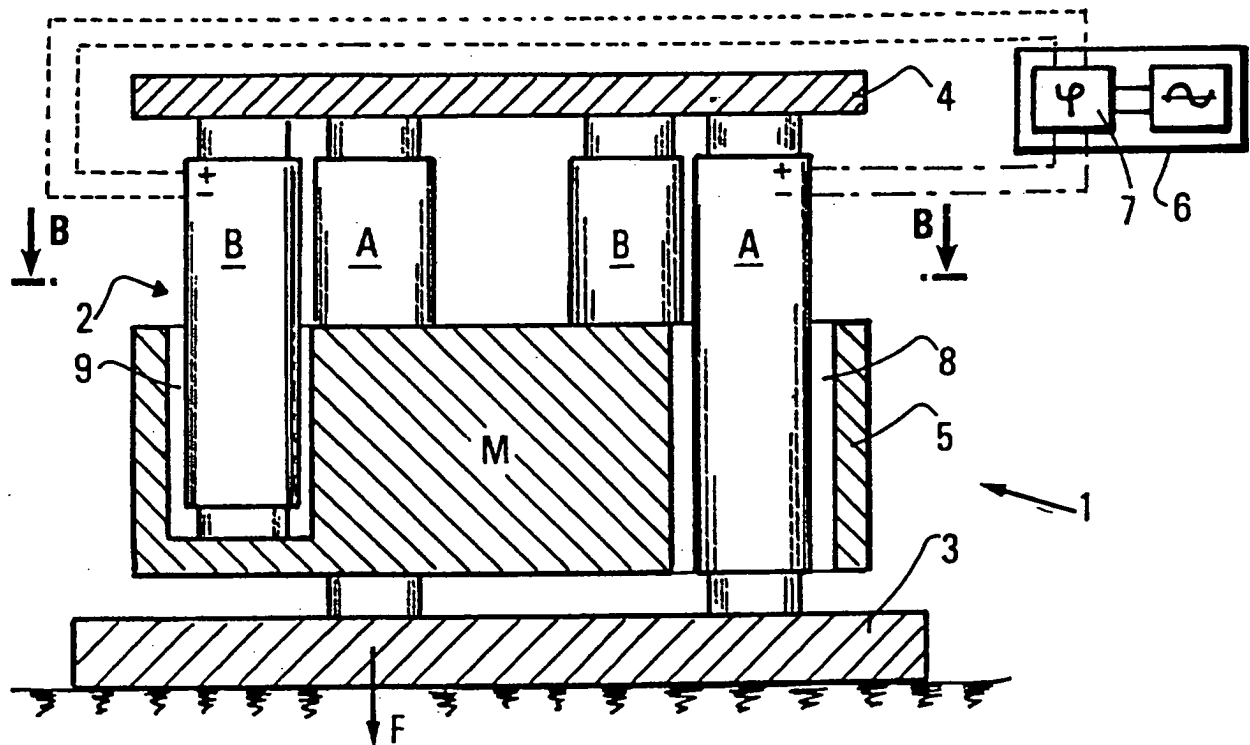


FIG.2

