PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 :		(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: **WO 96/34295**
G01R 33/26	**A1**	(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 31. Oktober 1996 (31.10.96)

(21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP96/01738

(22) **Internationales Anmeldedatum:** 25. April 1996 (25.04.96)

(30) **Prioritätsdaten:**
195 15 173.9 25. April 1995 (25.04.95) DE

(71) **Anmelder** *(für alle Bestimmungsstaaten ausser US)*: GEOFORSCHUNGSZENTRUM POTSDAM [DE/DE]; Telegrafenberg A 17, D-14473 Potsdam (DE).

(72) **Erfinder; und**
(75) **Erfinder/Anmelder** *(nur für US)*: PULZ, Eberhard [DE/DE]; Teichstrasse 3, D-14823 Niemegk (DE).

(74) **Anwälte:** HERTZ, Oliver usw.; Brienner Strasse 52, D-80333 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten:** CA, RU, US.

Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) **Title:** PROCESS FOR RECOVERING SIGNALS FROM NARROW-BAND, OPTICALLY PUMPED MAGNETOMETERS

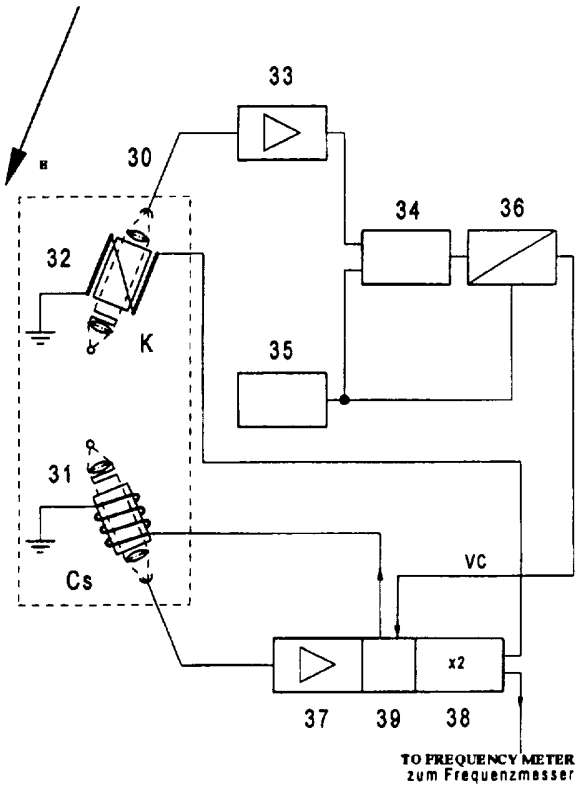
(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR SIGNALGEWINNUNG VON SCHMALBANDIGEN OPTISCH GEPUMPTEN MAGNETOMETERN

(57) **Abstract**

A process is disclosed for recovering the signals from optically pumped magnetometers. A large-band, self-excited magnetometer (31, 37) is coupled to an absorption cell (32, 40) in such a way that it works as a voltage-controlled oscillator.

(57) **Zusammenfassung**

Es werden Verfahren zur Signalgewinnung von optisch gepumpten Magnetometern beschrieben, bei denen ein breitbandiges selbstschwingendes Magnetometer (31, 37) derart mit einer Absorptionszelle (32, 40) gekoppelt wird, daß es wie ein spannungsgesteuerter Oszillator arbeitet.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	**GB**	Vereinigtes Königreich	**MX**	Mexiko
AT	Österreich	**GE**	Georgien	**NE**	Niger
AU	Australien	**GN**	Guinea	**NL**	Niederlande
BB	Barbados	**GR**	Griechenland	**NO**	Norwegen
BE	Belgien	**HU**	Ungarn	**NZ**	Neuseeland
BF	Burkina Faso	**IE**	Irland	**PL**	Polen
BG	Bulgarien	**IT**	Italien	**PT**	Portugal
BJ	Benin	**JP**	Japan	**RO**	Rumänien
BR	Brasilien	**KE**	Kenya	**RU**	Russische Föderation
BY	Belarus	**KG**	Kirgisistan	**SD**	Sudan
CA	Kanada	**KP**	Demokratische Volksrepublik Korea	**SE**	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	**KR**	Republik Korea	**SG**	Singapur
CG	Kongo	**KZ**	Kasachstan	**SI**	Slowenien
CH	Schweiz	**LI**	Liechtenstein	**SK**	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	**LK**	Sri Lanka	**SN**	Senegal
CM	Kamerun	**LR**	Liberia	**SZ**	Swasiland
CN	China	**LK**	Litauen	**TD**	Tschad
CS	Tschechoslowakei	**LU**	Luxemburg	**TG**	Togo
CZ	Tschechische Republik	**LV**	Lettland	**TJ**	Tadschikistan
DE	Deutschland	**MC**	Monaco	**TT**	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	**MD**	Republik Moldau	**UA**	Ukraine
EE	Estland	**MG**	Madagaskar	**UG**	Uganda
ES	Spanien	**ML**	Mali	**US**	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	**MN**	Mongolei	**UZ**	Usbekistan
FR	Frankreich	**MR**	Mauretanien	**VN**	Vietnam
GA	Gabon	**MW**	Malawi		

Verfahren zur Signalgewinnung von schmalbandigen optisch gepumpten Magnetometern

Die Erfindung betrifft Verfahren und Vorrichtungen zur Signalgewinnung nach dem Prinzip optisch gepumpter Magnetometer.

Optisch gepumpte Magnetometer sind seit Anfang der 60-er Jahre bekannt und seitdem in steigendem Umfang als Meßeinrichtungen für magnetische Felder eingesetzt worden. Mit diesen Magnetometern kann z.B. das Erdmagnetfeld mit außerordentlich hoher Genauigkeit bestimmt werden. Die theoretischen Grundlagen und die Arbeitsweise optisch gepumpter Magnetometer sind an sich bekannt. Das Grundprinzip ist stets, daß ein Lichtstrahl definierter Polarisation und Richtung ein Medium, üblicherweise Cäsium, aber auch Kalium, Helium oder Rubidium, durchquert und daß dabei eine Ausgangsfrequenz erzeugt wird, die der Größe des lokalen Magnetfeldes entspricht.

Im Stand der Technik sind in den vergangenen Jahrzehnten verschiedene Arten von optisch gepumpten Magnetometern entwickelt worden. Die einfachste Ausführungsform ist ein selbstschwingendes Cs-Magnetometer, in dem ein auf eine Resonanzlinie des Cäsiums abgestimmter Lichtstrahl die mit Cäsium gefüllte Absorptionszelle durchquert und auf eine Photozelle fällt. Das Ausgangssignal der Photozelle wird verstärkt, um 90° phasenverschoben und einer um die Absorptionszelle angeordneten Spule zugeführt. Im eingeschwungenen Zustand erzeugt ein derartiges selbstoszillierendes Magnetometer eine dem umgebenden

Magnetfeld H proportionale Frequenz f:

$$f \simeq 3{,}5 \frac{Hz}{nT} * H$$

Dieser Magnetometertyp besitzt jedoch einen systematischen Fehler und eine verhältnismäßig breite Resonanzlinie, so daß die erzeugte Frequenz nicht exakt dem tatsächlichen Feldwert entspricht.

Aus diesem Grund wurden sogenannte Tandem-Magnetometer (s. Fig. 1) entwickelt, bei denen ein selbstoszillierendes Magnetometer mit einem weiteren, schmalbandigen, optischen Magnetometer gekoppelt ist. Ein solches Tandem-Magnetometer ist beispielsweise der Veröffentlichung von J.H. Allen et al in J. Geomagn. Geoelectr. 24, S. 105-125 (1972) zu entnehmen. Dieses Magnetometer erzeugt jedoch ein magnetisches Störfeld und beide Sensoren müssen entfernt voneinander angeordnet werden, was von großem Nachteil ist. Verwendet man dagegen eine Anordnung mit einem konventionellen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO) wie zum Beispiel in der Publikation von E.B. Alexandrov et al. in OPTICAL ENGINEERING, April 1992, Vol. 31, No. 4 demonstriert, so führt das zu einem eingeschränkten dynamischen Verhalten und zu Problemen bei schnellen magnetischen Feldänderungen.

Es ist somit ausgehend von diesem Stand der Technik Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Verfahren bzw. Vorrichtungen zur Signalgewinnung nach dem Prinzip optisch gepumpter Magnetometer anzugeben, die mit einer kompakten Magnetometer-Anordnung, die kein magnetisches Störfeld erzeugt, mit verringertem elektronischem Aufwand durchführbar bzw. betreibbar sind.

Diese Aufgabe wird durch Verfahren bzw. Vorrichtungen mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung besteht im Prinzip darin, ein breitbandiges, selbstschwingendes Magnetometer als spannungsgesteuerten Oszillator (VCO) zu verwenden. In einer Ausführungsform der Erfindung wird der breitbandige selbstschwingende Teil eines Tandem-Magnetometers so umgestaltet, daß dieser Teil wie ein spannungsgesteuerter Oszillator (VCO) arbeitet. Dabei wird eine spannungsgesteuerte Phasenverschiebung verwendet, um die Frequenz des selbstschwingenden Magnetometers innerhalb eines Bereiches abzustimmen. In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird anstelle eines konventionellen VCO in der Anordnung nach Alexandrov et al. ein breitbandiges, selbstschwingendes Magnetometer eingesetzt, das wie ein VCO arbeitet. Die Erfindung ermöglicht den Aufbau eines kompakten, störungsfreien Sensors.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Tandem-Magnetometer nach dem Stand der Technik;

Fig. 2 eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 1 ist ein Tandem-Magnetometer nach dem Stand der Technik dargestellt, bei dem ein selbstschwingendes Cs-Magnetometer 10 mit einer schmalbandigen K-Absorptionszelle 20 gekoppelt ist. Mit der Gesamtanordnung soll die Stärke des umgebenden Magnetfeldes H gemessen werden. Im Prinzip wird die Ausgangsfrequenz des selbstschwingenden Magnetometers entsprechend dem gyromagnetischen Verhältnis der verwendeten Resonanz (für Rb, K = 2, für He = 8) vervielfacht und der Hochfrequenzspule des schmalbandigen Magnetometers

zugeführt. In der Absorptionszelle 20 wird mit Hilfe einer niederfrequenten Modulation die schmale Resonanzlinie derart abgetastet, daß ein Phasensignal erzeugt wird, dessen Stärke ein Maß für die Abweichung von der Resonanz ist. Dieses Verfahren wird in der bereits genannten Publikation von Allen et al. beschrieben. Das zu messende Magnetfeld wird dabei niederfrequent (hier 5 Hz) moduliert, indem eine Helmholtzspule, deren Achse parallel zur Magnetfeldrichtung justiert wurde, von einem Niederfrequenzgenerator gespeist wird (21 in Fig. 1) Die Resonanzfrequenz wird mit Hilfe einer zum Magnetfeld senkrecht stehenden Spule der Absorptionszelle zugeführt. Je nachdem, ob die eingespeiste Resonanzfrequenz etwas über oder unter der tatsächlichen Resonanzfrequenz f_0 liegt, erscheint hinter dem Verstärker (22 in Fig. 1) ein 5 Hz-Signal in Phase mit der Modulationsfrequenz oder entgegengesetzt (siehe Fig. 4 von Allen und Bender).

Über den phasenempfindlichen Gleichrichter 23 wird durch Phasenvergleich eine elektrische Größe erzeugt, die dazu benutzt wird, die eingestreute Frequenz auf die Resonanzfrequenz f_0 zu halten. Im Falle der Fig. 1 wird die Helmholtzspule 12 von einem Strom durchflossen, der so groß ist, daß die doppelte Cs-Frequenz z.B. der Resonanz der K-Frequenz entspricht (= f_0). Das Störmagnetfeld wird von dieser Spule 12 erzeugt. In der Nähe dieser Spule kann man dann keine exakte Messung mehr durchführen.

Im einzelnen ist der Sensor 11 des selbstschwingenden Magnetometers mit seiner Achsenrichtung in 45°-Stellung zu der Richtung des äußeren Feldes angeordnet. Der Sensor befindet sich inmitten eines Helmholtz- Spulenpaares 12, mit dem das Magnetfeld und somit die Ausgangsfrequenz des selbstschwingenden Magnetometers variiert werden kann. Das Ausgangssignal der Photozelle des Sensors 11 wird in der üblichen Weise in einem Verstärker 13 verstärkt, um 90° phasenverschoben und der Hochfrequenzspule des Sensors zugeführt.

Die Ausgangsfrequenz des selbstschwingenden Magnetometers wird zusätzlich in einem Frequenzvervielfacher 14 verdoppelt und der Hochfrequenzspule der K-Absorptionszelle 20 zugeführt. In einem zweiten Spulenpaar, parallel zur Richtung des zu messenden Feldes, wird mit Hilfe des Modulationsfrequenzgenerators 21 eine Modulation erzeugt und damit das Schmalbandsignal abgetastet. Das Ausgangssignal des Modulationsfrequenzgenerators 21 und das im Verstärker 22 verstärkte Ausgangssignal der Photozelle der K- Absorptionszelle werden einem Phasenkomparator oder phasenempfindlichen Gleichrichter 23 zugeführt.

Je nach Abweichung der Ausgangsfrequenz des selbstschwingenden Magnetometers von der schmalen Resonanzlinie erzeugt der Phasenkomparator ein positives oder negatives Signal und veranlaßt somit eine Stromerhöhung oder -erniedrigung des dem Helmholtz-Spulenpaar 12 zugeführten Stromes. Zwischen den Phasenkomparator 23 und dem Helmholtz-Spulenpaar 12 kann noch ein Tiefpass, ein Integrator oder ein Korrekturglied 24 geschaltet werden. Durch die Änderung des Gesamtmagnetfeldes am Ort des Sensors 11 wird die Ausgangsfrequenz des selbstschwingenden Magnetometers erneut auf die schmale Resonanzlinie abgestimmt.

Da die Helmholtzspule 12 ein magnetisches Störfeld erzeugt, müssen beide Sensoren weit voneinander positioniert werden.

In Fig. 2 ist eine Ausführungsform einer Magnetometer-Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Diese Anordnung erlaubt die Zusammenfassung der Cs- und K-Magnetometersensoren 31 und 32 in einem kompakten Meßkopf 30. Die Absorptionszelle des K-Magnetometersensors weist vorzugsweise eine sehr schmale Resonanzlinie (beispielsweise < 10 nT) auf. Das Ausgangssignal der Photozelle des K-Magnetometersensors 32 wird in einem Verstärker

33 verstärkt und einem ersten Eingang eines Phasenkomparators 34 zugeführt, auf dessen zweiten Eingang das Signal eines Modulationsfrequenzgenerators 35 gegeben wird.

Der Modulationsfrequenzgenerator 35 hat dieselbe Funktion wie derjenige in Fig. 1 mit dem Unterschied, daß gemäß Fig. 2 auf eine zusätzliche Modulationsspule zur Variation des Magnetfeldes verzichtet und stattdessen die Resonanzfrequenz frequenzmoduliert wird (z.B. niederfrequente Modulation mit rd. 5 Hz). Das kann entweder mit dem Phasenstellglied 39 oder vorzugsweise mit dem Frequenzvervielfacher 38 (Ausbildung als PLL-Schleife) realisiert werden.

In dem selbstschwingenden Teil wird das Ausgangssignal der Photozelle des Cs-Magnetometersensors 31 dem Verstärker 37 zugeführt, dessen Ausgang mit der Hochfrequenzspule des Sensors 31 verbunden ist. Das Ausgangssignal des Verstärkers 37 wird in dem Frequenzvervielfacher 38 verdoppelt und der Hochfrequenzspule des schmalbandigen Sensors 32 zugeführt. Zuvor erfährt das Ausgangssignal des Verstärkers 37 jedoch eine Frequenzkorrektur in einem Frequenzkorrekturglied 39 durch das von dem Phasenkomparator 34 über das Integrator-/Korrekturglied 36 zugeführte Regelsignal.

Das erfinderische Prinzip besteht somit darin, den selbstschwingenden Teil des Magnetometers so zu gestalten, daß er wie ein spannungsgesteuerter Oszillator (VCO) arbeitet.

Die Bedingung zur Schwingungsentfachung eines selbstschwingenden Magnetometers, bei dem das Signal der Photozelle verstärkt und zur Hochfrequenzspule zurückgeführt wird, besteht darin, daß dieser Kreis verlustfrei ist (Verstärkung: 1) und daß die Summe aller Phasenverschiebungen innerhalb des Kreises verschwindet. Falls beispielsweise die optische Achse des Sensors und die Achse der Hochfrequenzspule parallel ausgerichtet sind, so beträgt die optische Phasenverschiebung -90°, so daß die Summe der elektrischen Phasenverschiebungen

+90° betragen muß. Wird diese Bedingung wesentlich verletzt, erlischt das Signal. Durch bewußtes Abweichen von $\varphi = +90°$ wird eine Frequenzverschiebung realisiert. Geringfügige Phasenfehler bewirken eine Frequenzverschiebung wie folgt:

Bezeichnet man mit φ_K die Phasenverschiebung im Sensor 31 (passiver Teil) und mit φ_V die Phasenverschiebung im Verstärker 37, so gilt für die Schwingungsbedingung

$$\varphi = \varphi_K + \varphi_V = 0 \qquad (1)$$

Nimmt man an, eine Störung im aktiven Teil (Verstärker 37) bewirke eine Störung $\Delta\varphi_V$, dann muß sich im frequenzbestimmenden Teil zwangsläufig eine Änderung $\Delta\varphi_K$ herausbilden, so daß wieder gilt

$$\varphi = 0 = \Delta\varphi_V + \Delta\varphi_K \qquad (2)$$

Das wird durch die Frequenzänderung

$$\Delta f = \frac{df}{d\varphi_K} \Delta\varphi_K$$

erreicht.

Mit (2) kombiniert ergibt sich:

$$\Delta f = -\frac{df}{d\varphi_K} \Delta\varphi_K$$

Eine Phasenverschiebung im Verstärker 37 bewirkt also proportional eine Frequenzverschiebung, die nur von dem Faktor $df/d\varphi_K$ bestimmt wird. $df/d\varphi_K$ ist ein Maß für die Linienbreite der Resonanz. Durch bewußte Veränderung aller Parameter erreicht man sehr einfach eine breite Linie und somit eine wirksame Frequenzverschiebung mit Hilfe einer spannungsgesteuerten Phasenverschiebung. Die Helmholtzspulen 12 aus Fig. 1 können somit entfallen.

Die Vorteile dieser Anordnung sind folgende:

1. Der Aufbau eines kompakten Sensors ist möglich, der kein magnetisches Störfeld erzeugt.

2. Der elektronische Aufwand verringert sich erheblich.

3. Die trägheitslose Nachführung der Resonanzfrequenz infolge Magnetfeldänderungen ist gewährleistet, ebenso ein großer Dynamikbereich von 15 000 ... 120 000 nT. Es sind Reaktionszeiten von weniger als 1 ms erreichbar.

4. Es ist eine hohe Langzeitstabilität (unterhalb von 0,05 nT) erreichbar.

5. Es kann mit einer absoluten Genauigkeit von weniger als 0,05 nT gearbeitet werden.

6. Es werden keine magnetischen Störungen erzeugt, so daß nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in unmittelbarer Nähe mit weiteren Magnetometern gearbeitet werden kann.

Erfindungsgemäß können zum Beispiel Zellen ggf. unter Anpassung der gyromagnetischen Verhältnisse wie folgt kombiniert werden:
Cs (b) - Cs/He(s), Cs(b) - K(s), K(b) - K(s),
Cs(b) - Ru(s), Ru(b) - Ru(s), wobei "b" für breitbandig und "s" für schmalbandig steht. Unter diesen Zellenkombinationen hat Cs-Cs/He den besonderen Vorteil, daß beide Zellen mit einer gemeinsamen Lichtquelle betrieben werden können.

Eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung ist in Fig. 3 dargestellt. Die gezeigte Anordnung ist im Prinzip aus der Publikation von E.B. Alexandrov et al. in OPTICAL ENGINEERING, April 1992, Vol. 31, No. 4, bekannt und wurde ursprünglich für den Einsatz von Kalium als Arbeitsmedium entwickelt. Das hier

skizzierte Magnetometer entspricht der selbstschwingenden Anordnung, d.h. die optische Achse der Absorptionszelle 40 und Magnetfeldrichtung stehen unter einem Winkel von 45° zueinander. Aufgrund der Linienstruktur des Kaliums ist es jedoch sehr schwierig, ein selbstschwingendes Magnetometer zu bauen.

Man bedient sich deshalb der folgenden Verfahrensweise. Das Kalium besitzt vier Resonanzlinien, wobei die Linie mit der größten Intensität je nach Art des Lichts (rechts/links zirkular polarisiert) der kleinsten oder größten Resonanzfrequenz entspricht. Mit Hilfe eines spannungsgesteuerten Oszillators (VCO) 43 nähert man sich von unten oder oben der Resonanz der stärksten Linie. Bei Erreichen der Resonanz liefert der Photodiodenverstärker 41 genau die Resonanzfrequenz. Durch Phasenvergleich des Verstärkerausgangs mit der Frequenz des VCO durch den Phasenkomparator 42 produziert man eine Spannung zur Steuerung des VCO. Erfindungsgemäß wird nun anstelle eines konventionellen VCO ein selbstschwingendes Breitbandmagnetometer derart eingesetzt, daß es wie ein spannungsgesteuerter Oszillator arbeitet. Wie in der Ausführungsform nach der Fig. 2 wird also auch hier einem Phasenschieber des selbstschwingenden Magnetometers ein Korrektursignal zugeführt. Bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 erzeugt der Komparator 42 das Korrektursignal und führt es dem Phasenschieber des selbstschwingenden Magnetometers zu. Mit dem Frequenzzähler 44 kann die Ausgangsfrequenz des selbstschwingenden Magnetometers gemessen werden. Es können dabei auch andere Arbeitsmedien als Kalium verwendet werden.

Mit dieser Anordnung wird ein verbessertes dynamisches Verhalten gegenüber der Anordnung von Alexandrov et al. erreicht.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Signalgewinnung an optisch gepumpten Magnetometern, mit einem selbstschwingenden optischen Magnetometer (31, 37, 39), dessen Ausgangsfrequenz der Hochfrequenzspule einer auf einer schmalen Resonanzlinie arbeitenden Referenz-Absorptionszelle (32) zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß das selbstschwingende Magnetometer wie ein spannungsgesteuerter Oszillator arbeitet, wobei eine Abweichung der Resonanzfrequenz von der schmalen Resonanzlinie der Referenz-Absorptionszelle (32) in ein Spannungssignal umgesetzt wird, und daß das Spannungssignal dem selbstschwingenden Magnetometer derart zugeführt wird, daß in diesem eine Frequenzverschiebung induziert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der Referenz-Absorptions-Zelle eine Linienabtastung derart durchgeführt wird, daß das zu messende Magnetfeld mit einer niederfrequenten Modulationsfrequenz moduliert wird, und daß das Ausgangssignal der Referenz-Absorptionszelle einem ersten Eingang und die Modulationsfrequenz einem zweiten Eingang eines phasenempfindlichen Gleichrichters (34) zugeführt wird, und daß das Ausgangssignal des Gleichrichters dem selbstschwingenden Magnetometer zugeführt wird.

3. Verfahren zur Signalgewinnung an optisch gepumpten Magnetometern, bei welchem der Hochfrequenzspule einer Absorptionszelle (40) ein Signal von einem spannungsgesteuerten Oszillator (43) zugeführt wird und das Ausgangssignal des mit der Photodiode der Absorptionszelle verbundenen Verstärkers (41) einem ersten Eingang und das Augangssignal des Oszillators einem zweiten Eingang eines phasenempfindlichen Gleichrichters (42) zugeführt wird und das Augangssignal des Gleichrichters dem Oszillator zugeführt wird, **dadurch**

gekennzeichnet, daß der Oszillator ein selbstschwingendes Magnetometer ist und daß das Spannungssignal dem selbstschwingenden Magnetometer derart zugeführt, daß in diesem eine Frequenzverschiebung induziert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Ausgangssignal des Gleichrichters einem Phasenschieber (39) zugeführt wird und daß die Frequenzverschiebung durch eine Phasenverschiebung in dem selbstschwingenden Magnetometer bewirkt wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine Schaltungsanordnung (33, 34, 35) zur Erzeugung eines Spannungssignals, das repräsentativ ist für die Abweichung der Referenz-Absorptionszelle (32) von der schmalen Resonanzlinie, wobei die Schaltungsanordnung (33, 34, 35) mit dem selbstschwingenden Magnetometer (31, 37, 39) verbunden ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schaltungsanordnung (33, 34, 35) einen Verstärker (33) enthält, dessen Eingang mit der Photozelle der Referenz-Absorptionszelle verbunden ist und dessen Ausgang mit dem ersten Eingang eines phasenempfindlichen Gleichrichters (34) verbunden ist, und einem Frequenzgenerator (35), der mit dem zweiten Eingang und mit dem Ausgang des phasenempfindlichen Gleichrichters verbunden ist und daß der Phasenschieber (39) des selbstschwingenden Magnetometers mit dem Ausgang des Gleichrichters (34) verbunden ist.

7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 3.

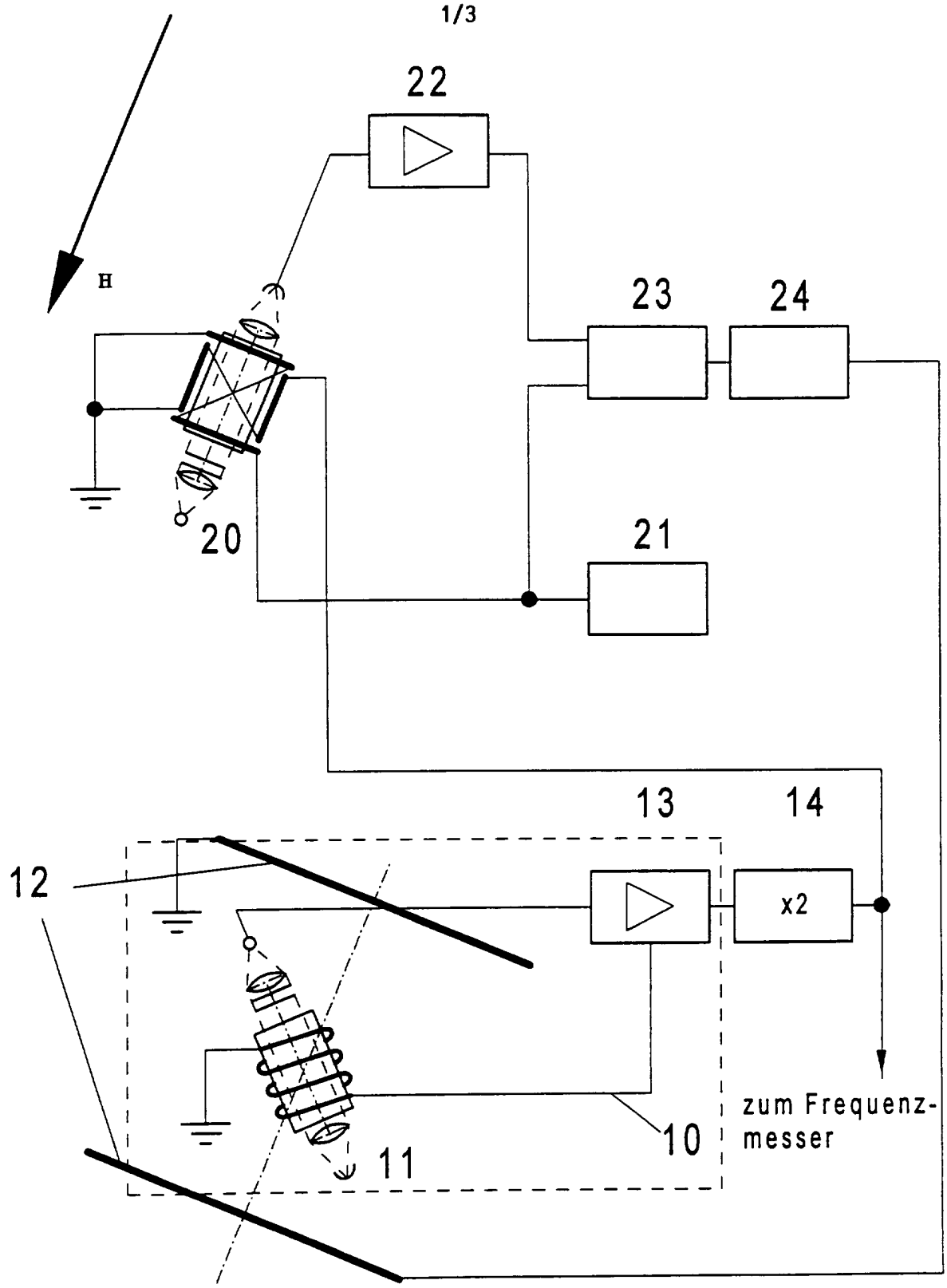


Fig. 1

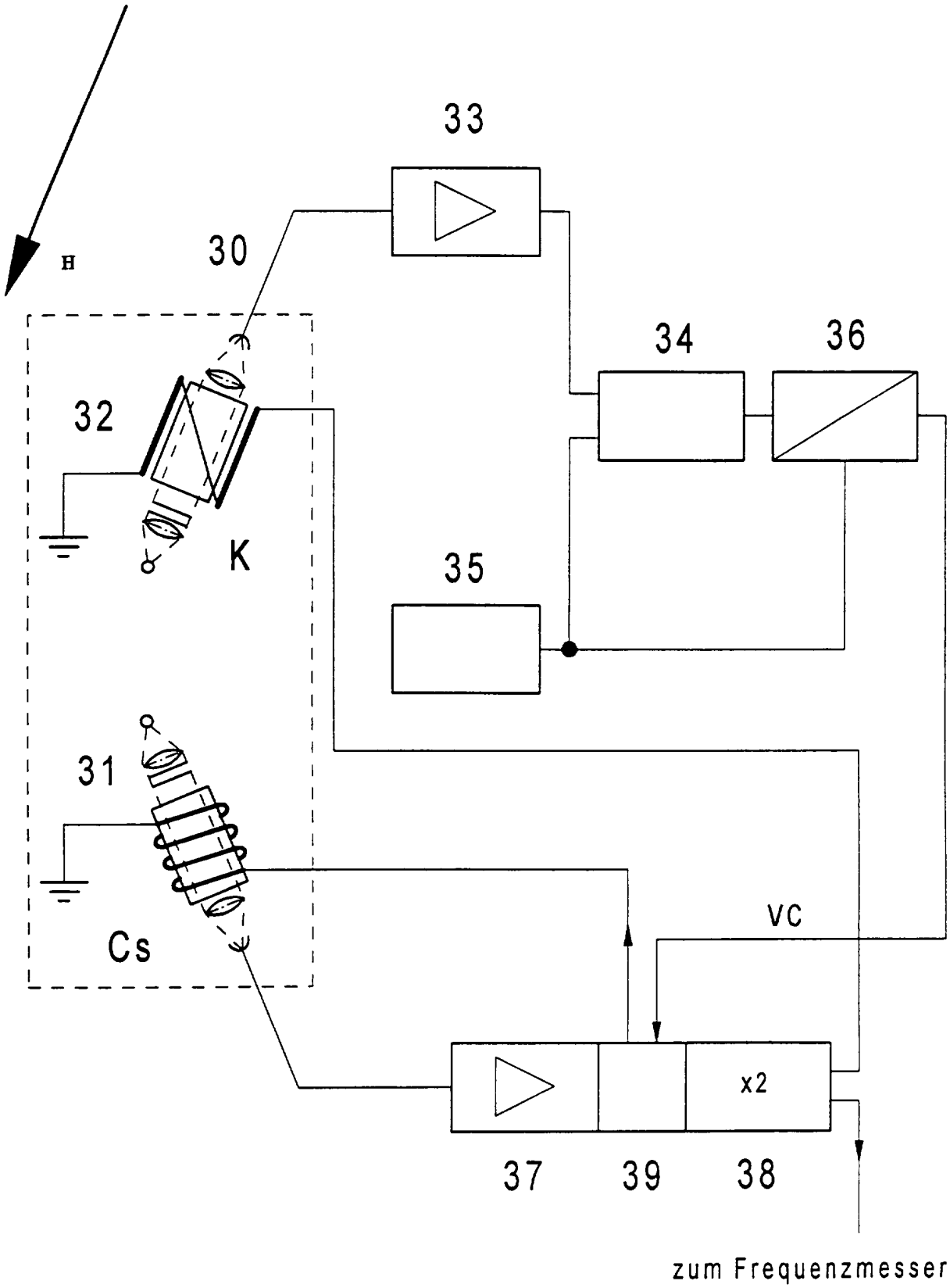


Fig. 2

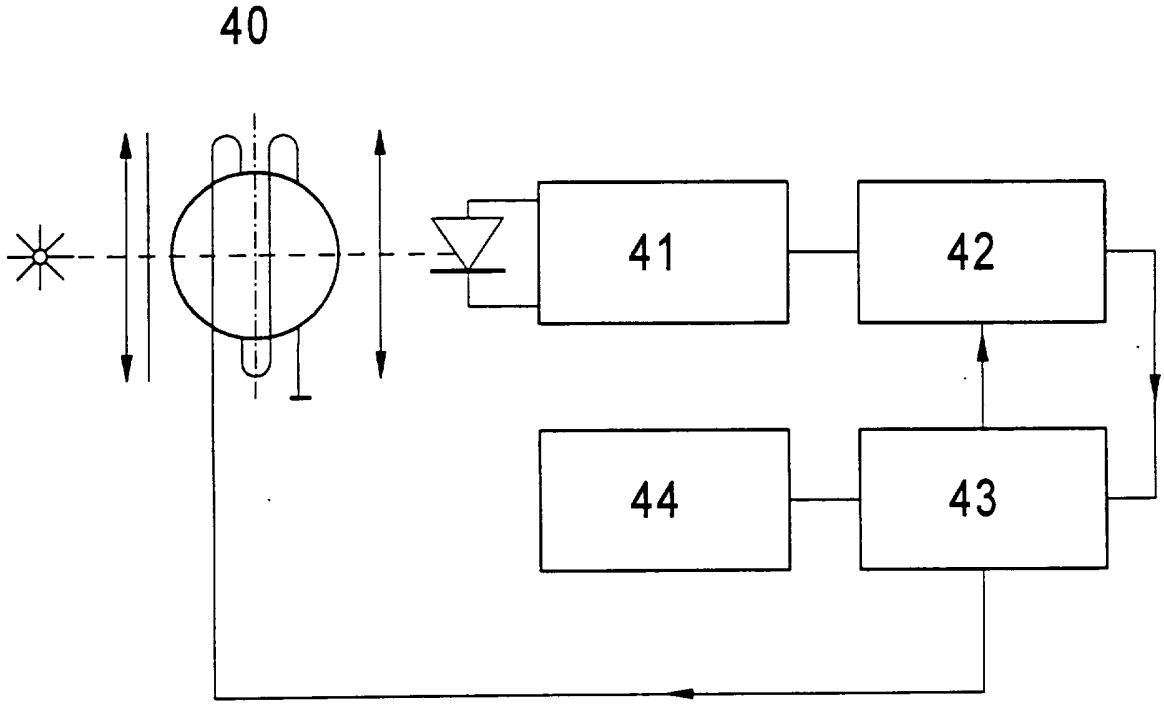


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. nal Application No
PCT/EP 96/01738

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01R33/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	OPTICAL ENGINEERING, vol. 31, 1992, pages 711-717, XP000265429 E.B. ALEXANDROV, V.A. BONCH-BRUEVICH: "Optically pumped atomic magnetometers after three decades" cited in the application see pages 714-715, paragraph 4.2 and fig. 6 --- -/--	3,7

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

1

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 July 1996	-7. 08. 96

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+ 31-70) 340-3016	Volmer, W

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. nal Application No
PCT/EP 96/01738

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JOURNAL OF GEOMAGNETISM & GEOELECTRICITY, vol. 24, 1972, pages 105-125, XP000576475 J.H. ALLEN, P.L. BENDER: "Narrow Line Rubidium Magnetometer for High Accuracy Field Measurements" cited in the application see page 107, paragraph 2 - page 109, paragraph 1; figure 2 see pages 109-112, paragraphs 2.1 and 2.2 see pages 113 and 114. paragraph 4 ---	1,2,4-6
X	EP,A,0 288 927 (TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED) 2 November 1988 see column 1, line 38 - column 2, line 25; figure 1 ---	3,7
X	US,A,3 714 552 (L.R. HIRSCHEL) 30 January 1973 see column 4, line 24 - line 56 see column 5, line 31 - column 6, line 5 see figures 2,8 -----	3,7

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

Inter nal Application No
PCT/EP 96/01738

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-288927	02-11-88	US-A- 4780672	25-10-88
		JP-A- 1028577	31-01-89
US-A-3714552	30-01-73	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte. ...nales Aktenzeichen
PCT/EP 96/01738

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G01R33/26

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 G01R

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	OPTICAL ENGINEERING, Bd. 31, 1992, Seiten 711-717, XP000265429 E.B. ALEXANDROV, V.A. BONCH-BRUEVICH: "Optically pumped atomic magnetometers after three decades" in der Anmeldung erwähnt siehe Seiten 714 - 715, Paragraph 4.2 und Fig. 6 --- -/--	3,7

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

1

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
25.Juli 1996	- 7. 08. 96

Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+ 31-70) 340-3016	Volmer, W

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 96/01738

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JOURNAL OF GEOMAGNETISM & GEOELECTRICITY, Bd. 24, 1972, Seiten 105-125, XP000576475 J.H. ALLEN, P.L. BENDER: "Narrow Line Rubidium Magnetometer for High Accuracy Field Measurements" in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 107, Absatz 2 - Seite 109, Absatz 1; Abbildung 2 siehe Seiten 109 - 112, Paragraphen 2.1 und 2.2 siehe Seiten 113 und 114, Paragraph 4 ---	1,2,4-6
X	EP,A,0 288 927 (TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED) 2.November 1988 siehe Spalte 1, Zeile 38 - Spalte 2, Zeile 25; Abbildung 1 ---	3,7
X	US,A,3 714 552 (L.R. HIRSCHEL) 30.Januar 1973 siehe Spalte 4, Zeile 24 - Zeile 56 siehe Spalte 5, Zeile 31 - Spalte 6, Zeile 5 siehe Abbildungen 2,8 -----	3,7

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internales Aktenzeichen
PCT/EP 96/01738

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP-A-288927	02-11-88	US-A-	4780672	25-10-88
		JP-A-	1028577	31-01-89
US-A-3714552	30-01-73	KEINE		