

<p>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>G01R 33/032</b></p>	<b>A1</b>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 96/18113</b></p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 13. Juni 1996 (13.06.96)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE95/01668</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 27. November 1995 (27.11.95)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: P 44 43 948.2 9. December 1994 (09.12.94) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOSSELMANN, Thomas [DE/DE]; Im Heuschlag 9, D-91054 Erlangen (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: CA, CN, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p>	

(54) Title: PROCESS AND DEVICE FOR MEASURING A MAGNETIC FIELD WITH TWO OPPOSED LIGHT SIGNALS USING THE FARADAY EFFECT AND COMPENSATING FOR INTENSITY VARIATIONS

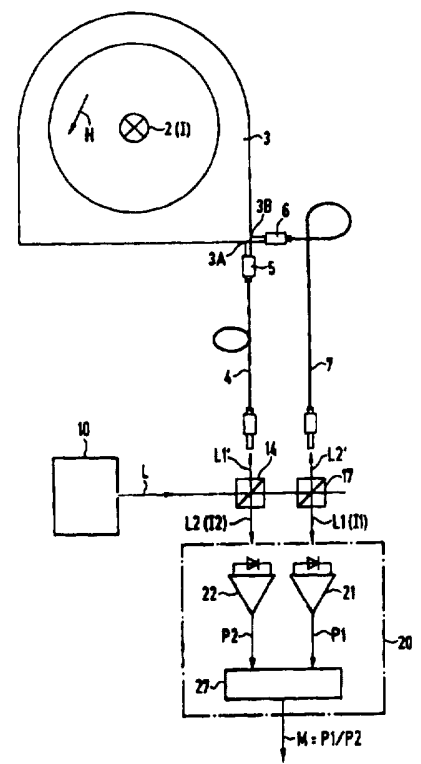
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM MESSEN EINES MAGNETFELDES MIT ZWEI GEGENLÄUFIGEN LICHTSIGNALEN UNTER AUSNUTZUNG DES FARADAY-EFFEKTS MIT KOMPENSATION VON INTENSITÄTSÄNDERUNGEN

**(57) Abstract**

Two opposed light signals (L1, L2) are emitted by an optical series mounting having a first optical transmission section (4), a first polariser (5), a Faraday sensor (3), a second polariser (6) and a second optical transmission section (7). A measurement signal (M) for the magnetic field (H) is formed proportionally to a quotient  $I_1/I_2$  or  $I_2/I_1$  of the light intensities  $I_1$  and  $I_2$  of both light signals (L1 and L2) after said light signals have crossed the optical series mounting. Intensity variations in the transmission sections (4, 7) may thus be compensated for.

**(57) Zusammenfassung**

Durch eine optische Reihenschaltung aus einer ersten optischen Übertragungsstrecke (4), einem ersten Polarisator (5), einer Faraday-Sensoreinrichtung (3), einem zweiten Polarisator (6) und einer zweiten optischen Übertragungsstrecke (7) werden zwei gegenläufige Lichtsignale (L1, L2) gesendet. Es wird von Auswertemitteln (20) ein Meßsignal (M) für das Magnetfeld (H) gebildet, das proportional zu einem Quotienten  $I_1/I_2$  oder  $I_2/I_1$  der Lichtintensitäten  $I_1$  und  $I_2$  der beiden Lichtsignale (L1 bzw. L2) nach deren Durchlaufen der optischen Reihenschaltung ist. Dadurch können Intensitätsänderungen in den Übertragungsstrecken (4, 7) kompensiert werden.



**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

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

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

## Beschreibung

Verfahren und Anordnung zum Messen eines Magnetfeldes mit  
zwei gegenläufigen Lichtsignalen unter Ausnutzung des  
5 Faraday-Effekts mit Kompensation von Intensitätsänderungen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum  
Messen eines Magnetfeldes.

10 Es sind optische Meßanordnungen und Meßverfahren zum Messen  
eines Magnetfeldes unter Ausnutzung des magnetooptischen  
Faraday-Effekts bekannt. Unter dem Faraday-Effekt versteht  
man die Drehung der Polarisationssebene von linear polarisier-  
tem Licht in Abhängigkeit von einem Magnetfeld. Der Drehwin-  
15 kel ist aber proportional zum Wegintegral über das Magnetfeld  
entlang des von dem Licht zurückgelegten Weges mit der soge-  
nannten Verdet-Konstanten als Proportionalitätskonstante. Die  
Verdet-Konstante ist im allgemeinen material-, temperatur-  
und wellenlängenabhängig. Zum Messen des Magnetfeldes wird  
20 eine Faraday-Sensoreinrichtung aus einem optisch transparen-  
ten Material wie beispielsweise Glas in dem Magnetfeld ange-  
ordnet. Das Magnetfeld bewirkt eine Drehung der Polarisati-  
onsebene von durch die Faraday-Sensoreinrichtung gesendetem  
linear polarisiertem Licht um einen Drehwinkel, die für ein  
25 Meßsignal ausgewertet werden kann. Eine bekannte Anwendung  
finden solche magnetooptischen Meßverfahren und Meßanordnun-  
gen beim Messen elektrischer Ströme. Die Faraday-Sensorein-  
richtung wird dazu in der Nähe eines Stromleiters angeordnet  
und erfaßt das von einem Strom in dem Stromleiter erzeugte  
30 Magnetfeld. Im allgemeinen umgibt die Faraday-Sensoreinrich-  
tung den Stromleiter, so daß das Meßlicht den Stromleiter in  
einem geschlossenen Weg umläuft. Der Betrag des Drehwinkels  
ist in diesem Fall in guter Näherung direkt proportional zur  
Amplitude des zu messenden Stromes. Die Faraday-Sensorein-  
35 richtung kann als massiver Glasring um den Stromleiter ausge-  
bildet sein oder auch den Stromleiter in Form einer Meßwick-

lung aus einer lichtleitenden Faser (Faserspule) mit wenigstens einer Windung umgeben.

Vorteile dieser magnetooptischen Meßanordnungen und Meßverfahren gegenüber herkömmlichen induktiven Stromwandlern sind die Potentialtrennung und die Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen. Probleme bereiten bei dem Einsatz von magnetooptischen Stromwandlern jedoch Einflüsse von mechanischen Vibrationen auf die Sensoreinrichtung und die optischen Zuleitungen, die zu die Messung verfälschenden Intensitätsänderungen führen können.

Um Vibrationseinflüsse auf die Messung zu reduzieren, ist bekannt, zwei gegenläufige, d.h. in entgegengesetzten Richtungen sich ausbreitende, Lichtsignale durch eine Faraday-Sensoreinrichtung zu senden. Dieser bekannten Maßnahme liegt der Gedanke zugrunde, daß die von den beiden Lichtsignalen auf ihrem gemeinsamen Lichtweg erfahrene lineare Doppelbrechung infolge von Vibrationen als reziproker Effekt von dem nicht-reziproken Faraday-Effekt durch geeignete Signalverarbeitung unterschieden werden kann.

In einer ersten bekannten Ausführungsform werden zwei gegenläufige, linear polarisierte Lichtsignale durch eine optische Faserspule als Faraday-Sensoreinrichtung gesendet, die einen Stromleiter umgibt. Nach Durchlaufen der Sensoreinrichtung wird jedes der beiden Lichtsignale von einem polarisierenden Strahlteiler in zwei senkrecht zueinander polarisierte Anteile zerlegt. Mit den insgesamt vier Lichtanteilen wird von einer Signalverarbeitung ein Meßsignal für einen elektrischen Strom in dem Stromleiter abgeleitet. Die optische Faser weist neben dem Faraday-Effekt auch eine im Vergleich zum Faraday-Effekt hohe zirkulare Doppelbrechung auf, die als Eichgröße für ein Temperaturkompensationsverfahren verwendet wird. Als optische Faser ist eine mechanisch tordierte Faser (Twisted fibre) oder eine während des Ziehprozesses tordierte Faser mit einer hohen linearen Doppelbrechung (Spun-HiBi-fibre)

vorgesehen. Die beiden gegenläufigen Lichtsignale durchlaufen in dieser bekannten Ausführungsform nur die Faraday-Sensoreinrichtung auf einem gemeinsamen Lichtweg und werden beim Austritt aus der Faraday-Sensoreinrichtung wieder durch  
5 optische Koppler voneinander getrennt (WO 92/13280).

In zwei weiteren bekannten Ausführungsformen durchlaufen zwei Lichtsignale eine optische Reihenschaltung aus einer ersten Lichtleitfaser, einem ersten Polarisator, einer Faraday-Sensoreinrichtung, einem zweiten Polarisator und einer zweiten  
10 Lichtleitfaser in zueinander entgegengesetztem Umlaufsinn. Beide Lichtsignale werden nach Durchlaufen der optischen Reihenschaltung von entsprechenden photoelektrischen Wandlern in jeweils ein elektrisches Intensitätssignal umgewandelt.

15 Bei der ersten, aus der US 4,916,387 bekannten Ausführungsform ist als Faraday-Sensoreinrichtung ein massiver Glasring vorgesehen, der den Stromleiter umgibt. Die Polarisationsachsen der beiden Polarisatoren sind um einen Winkel von  $45^\circ$  zueinander gedreht. Zur Kompensation von unerwünschten Intensitätsänderungen in den optischen Zuleitfasern wird bei diesem aus US 4,916,387 bekannten Meßsystem davon ausgegangen,  
20 daß sich die unerwünschten Intensitätsänderungen (noise) und die Intensitätsänderungen aufgrund des Faraday-Effekts additiv überlagern mit unterschiedlichen Vorzeichen in den beiden elektrischen Intensitätssignalen und damit voneinander getrennt werden können. Eine genauere physikalische Betrachtung führt jedoch zu dem Ergebnis, daß mechanischen Bewegungen der beiden Lichtleitfasern zum Übertragen der beiden Lichtsignale  
30 sich im wesentlichen als zeitlich veränderliche Dämpfungsfaktoren in den Lichtintensitäten der beiden Lichtsignale auswirken. Wie solche unterschiedlichen Dämpfungsfaktoren in den beiden Lichtleitfasern ausgeglichen werden können, geht aus der US 4,916,387 nicht hervor.

35 Bei der zweiten, aus *Journal of Lightwave Technology*, Vol.12. No. 10, October 1994, Seiten 1882 bis 1890 bekannten Ausfüh-

rungsform ist eine Faserspule aus einer Single-Mode-Faser mit einer niedrigen Doppelbrechung als Faraday-Sensoreinrichtung vorgesehen. Die Polarisationsachsen der beiden Polarisatoren schließen einen von  $0^\circ$  verschiedenen Polarisatorwinkel miteinander ein, der vorzugsweise  $45^\circ$  beträgt. Licht einer einzigen Lichtquelle wird in die zwei Lichtsignale aufgeteilt, und diese Lichtsignale werden jeweils über einen optischen Koppler in die zugeordnete Lichtleitfaser eingekoppelt. Aus den beiden elektrischen Intensitätssignalen, die den Lichtintensitäten der zugeordneten Lichtsignale nach Durchlaufen der Reihenschaltung entsprechen, wird ein Meßsignal abgeleitet, das dem Quotienten aus der Differenz und der Summe der beiden Intensitätssignale entspricht. Damit können die Dämpfungsfaktoren der beiden Lichtleitfasern im wesentlichen kompensiert werden. Die Lichtintensitäten der beiden Lichtsignale beim Einkoppeln in die Reihenschaltung müssen allerdings genau gleich eingestellt werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Meßverfahren und eine Meßanordnung zum Messen eines Magnetfeldes und insbesondere zum Messen eines elektrischen Stromes durch Messen dessen Magnetfeldes anzugeben, bei denen Intensitätsänderungen in den optischen Übertragungstrecken für zwei gegenläufige Lichtsignale praktisch vollständig eliminiert sind.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 4. Zwei Lichtsignale durchlaufen eine optische Reihenschaltung aus einer ersten optischen Übertragungstrecke, einem ersten Polarisator, einer Faraday-Sensoreinrichtung, einem zweiten Polarisator und einer zweiten optischen Übertragungstrecke in zueinander entgegengesetzten Durchlaufrichtungen. Als Meßsignal für das Magnetfeld wird ein zu einem Quotienten aus den beiden Lichtintensitäten der beiden Lichtsignale jeweils nach deren Durchlaufen der optischen Reihenschaltung proportionales Signal gebildet. Dieses Meßsignal ist im wesentlichen unabhängig von Intensitätsänderungen in den beiden Übertragungs-

strecken. Zum Herleiten des Meßsignals sind entsprechende Auswertemittel vorgesehen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Verfahrens und der Anordnung gemäß der Erfindung ergeben sich aus den jeweils abhängigen Ansprüchen.

Die Polarisationsachsen der beiden Polarisatoren werden bezogen auf die Durchlaufrichtung eines der beiden Lichtsignale unter einem vorgegebenen Polarisatorwinkel zueinander eingestellt, der ungleich einem ganzzahligen Vielfachen von  $180^\circ$  oder  $\pi$  ist. In einer vorteilhaften Ausführungsform wird der Polarisatorwinkel zwischen den Polarisationsachsen der beiden Polarisatoren auf ein ganzzahliges Vielfaches von etwa  $45^\circ$  oder  $\pi/4$  eingestellt. Damit wird der Arbeitspunkt des Meßverfahrens und der Meßanordnung so eingestellt, daß die Meßempfindlichkeit maximal ist.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in deren

- FIG. 1 eine Meßanordnung zum Messen eines Magnetfeldes mit einer Faraday-Sensoreinrichtung und Auswertemitteln  
FIG. 2 die Abhängigkeit des Meßsignals vom Faraday-Meßwinkel in einem Diagramm und  
FIG. 3 die Polarisationsachsen der beiden Polarisatoren jeweils schematisch dargestellt sind.

In der FIG. 1 sind eine Faraday-Sensoreinrichtung mit 3, zwei optische Übertragungsstrecken mit 4 und 7 zwei Polarisatoren mit 5 und 6, eine Lichtquelle mit 10, zwei optische Strahlteiler mit 14 bzw. 17 und Auswertemittel mit 20 bezeichnet.

Die Faraday-Sensoreinrichtung 3 besteht aus wenigstens einem den magnetooptischen Faraday-Effekt zeigenden Material. Unter dem Einfluß eines die Sensoreinrichtung 3 wenigstens teilweise durchdringenden Magnetfeldes  $\mathbf{H}$  wird die Polarisation von durch die Sensoreinrichtung 3 laufendem polarisierten

Licht aufgrund des Faraday-Effekts geändert. Die Sensoreinrichtung 3 kann in an sich bekannter Weise mit einem oder mehreren massiven Körpern, vorzugsweise aus Glas, oder auch mit mindestens einer optischen Faser ausgebildet sein. Die  
5 Sensoreinrichtung 3 weist zwei optische Anschlüsse 3A und 3B derart auf, daß an einem Anschluß 3A oder 3B eingekoppeltes Licht die Sensoreinrichtung 3 durchläuft und am jeweils anderen Anschluß 3B bzw. 3A wieder ausgekoppelt wird. Der erste Anschluß 3A der Sensoreinrichtung 3 ist über den ersten Polarisator 5 mit einem Ende der ersten optischen Übertragungsstrecke 4 optisch gekoppelt. Der zweite Anschluß 3B der Sensoreinrichtung 3 ist über den zweiten Polarisator 6 mit einem Ende der zweiten optischen Übertragungsstrecke 7 optisch gekoppelt.

15

Die in FIG. 3 dargestellten Polarisationsachsen (polarization axis, transmission axis) A1 und A2 der beiden Polarisatoren 5 bzw. 6 sind unter einem vorgegebenen Polarisatorwinkel  $\alpha$  zueinander eingestellt, der ungleich einem ganzzahligen Vielfachen von  $\pi$  ist. Als Polarisatoren 5 und 6 können alle  
20 bekannten Ausführungsformen verwendet werden, beispielsweise Polfilter oder polarisierende Strahlteiler wie Wollaston-Prismen.

25 Das von der Sensoreinrichtung 3 abgewandte andere Ende der ersten Übertragungsstrecke 4 ist über den Strahlteiler 14 sowohl mit der Lichtquelle 10 als auch mit den Auswertemitteln 20 optisch verbunden. Das von der Sensoreinrichtung 3 abgewandte andere Ende der zweiten Übertragungsstrecke 7 ist über  
30 den Strahlteiler 17 ebenfalls sowohl mit der Lichtquelle 10 als auch mit den Auswertemitteln 20 optisch verbunden. Die beiden Strahlteiler 14 und 17 sind ebenfalls optisch miteinander gekoppelt. Der Strahlteiler 14 teilt das Licht L der Lichtquelle 10 in zwei Lichtanteile. Der erste Lichtanteil  
35 bildet ein erstes Lichtsignal L1', das in die Übertragungsstrecke 4 eingekoppelt wird. Aus dem zweiten Lichtanteil des Lichts L koppelt der zweite Strahlteiler 17 einen Teil aus

als zweites Lichtsignal L2', das in die zweite Übertragungs-  
strecke 7 eingekoppelt wird. Beide Lichtsignale L1' und L2'  
durchlaufen die optische Reihenschaltung aus erster Über-  
tragungsstrecke 4, erstem Polarisator 5, Sensoreinrichtung 3,  
5 zweitem Polarisator 6 und zweiter Übertragungsstrecke 7 in  
zueinander entgegengesetzten Durchlaufrichtungen und werden  
als nun mit L1 bzw. L2 bezeichnete Lichtsignale wieder aus  
der Reihenschaltung ausgekoppelt. Die Lichtquelle 10 und die  
zwei Strahlteiler 14 und 17 bilden somit Mittel zum Senden  
10 von zwei gegensinnig die Reihenschaltung durchlaufenden  
Lichtsignalen durch die Reihenschaltung.

Die beiden Strahlteiler 14 und 17 können wenigstens teilweise  
auch durch optische Koppler ersetzt werden. Ferner kann auch  
15 ein weiterer Strahlteiler oder Koppler vorgesehen sein, der  
das Licht L der Lichtquelle 10 in zwei Lichtsignale teilt,  
die dann getrennt dem Strahlteiler 14 bzw. dem Strahlteiler  
17 zugeführt werden. Die beiden Lichtsignale können dann ins-  
besondere mit gleichen Ausgangslichtintensitäten in die Rei-  
20 henschaltung eingekoppelt werden. Außerdem können auch an-  
stelle des Kopplers 11 und der einen Lichtquelle 10 auch zwei  
Lichtquellen vorgesehen sein, die jeweils ein Lichtsignal L1'  
bzw. L2' senden. Schließlich können die Mittel zum Senden von  
zwei gegensinnig die Reihenschaltung durchlaufenden Licht-  
25 signalen L1 und L2 durch die Reihenschaltung auch mit zwei  
abwechselnd als Sender und Empfänger betriebenen pho-  
toelektrischen Wandlern gebildet sein.

Das erste Lichtsignal L1' wird nach Durchlaufen der ersten  
30 Übertragungsstrecke 4 von dem ersten Polarisator 5 linear po-  
larisiert und als nunmehr linear polarisiertes Lichtsignal  
L1' am Anschluß 3A in die Sensoreinrichtung 3 eingespeist.  
Beim Durchlaufen der Sensoreinrichtung 3 wird die Polarisati-  
onsebene des linear polarisierten ersten Lichtsignals L1' um  
35 einen vom Magnetfeld  $H$  abhängigen Faraday-Meßwinkel  $\rho$  ge-  
dreht. Ein positiver Winkelwert entspricht dabei und im fol-  
genden dem mathematisch positiven Drehsinn, also dem Gegen-

uhrzeigersinn, ein negativer Winkelwert dagegen dem mathematisch negativen Drehsinn, d.h. dem Uhrzeigersinn, bezogen auf die Ausbreitungsrichtung des betrachteten Lichtsignals. Das in seiner Polarisationssebene um den Faraday-Meßwinkel  $\rho$  gedrehte erste Lichtsignal  $L1'$  wird nun dem zweiten Polarisator 6 zugeführt. Der zweite Polarisator 6 läßt nur den auf seine Polarisationsachse projizierten Anteil des ankommenden ersten Lichtsignals  $L1'$  durch und hat somit für das erste Lichtsignal  $L1'$  die Funktion eines Polarisationsanalysators. Der vom zweiten Polarisator 6 transmittierte Anteil des ersten Lichtsignals  $L1'$  ist nun mit  $L1$  bezeichnet und wird über die zweite Übertragungsstrecke 7 und den Koppler 13 zu den Auswertemitteln 20 übertragen.

Das zweite Lichtsignal  $L2'$  passiert zunächst die zweite Übertragungsstrecke 7 und wird sodann von dem ersten Polarisator 5 linear polarisiert. Das linear polarisierte zweite Lichtsignal  $L2'$  wird nun am Anschluß 3A in die Sensoreinrichtung 3 eingekoppelt. Beim Durchlaufen der Sensoreinrichtung 3 wird die Polarisationssebene des linear polarisierten zweiten Lichtsignals  $L2'$  um einen vom Magnetfeld  $H$  abhängigen Faraday-Meßwinkel  $-\rho$  gedreht, der wegen der nicht-reziproken Eigenschaft des Faraday-Effekts das entgegengesetzte Vorzeichen und den gleichen Betrag wie beim ersten Lichtsignal  $L1'$  hat. Das in seiner Polarisationssebene um den Meßwinkel  $-\rho$  gedrehte zweite Lichtsignal  $L2'$  wird nun dem zweiten Polarisator 6 zugeführt. Der zweite Polarisator 6 läßt nur den auf seine Polarisationsachse projizierten Anteil des ankommenden zweiten Lichtsignals  $L2'$  durch und wirkt somit für das zweite Lichtsignal  $L2'$  als Polarisationsanalysator. Der vom zweiten Polarisator 6 transmittierte Anteil des zweiten Lichtsignals  $L2'$  ist nun mit  $L2$  bezeichnet und wird über die erste Übertragungsstrecke 4 und den Koppler 12 zu den Auswertemitteln 20 übertragen.

35

Die Meßanordnung gemäß FIG. 1 ist vorzugsweise zum Messen eines elektrischen Stromes  $I$  in wenigstens einem Stromleiter

2 vorgesehen. Die Faraday-Sensoreinrichtung 3 erfaßt das von diesem Strom I induktiv erzeugte Magnetfeld  $H$  und dreht die Polarisations Ebenen der beiden Lichtsignale  $L1'$  und  $L2'$  um einen vom Magnetfeld  $H$  und damit vom Strom I abhängigen Meßwinkel  $\rho$  bzw.  $-\rho$ . In der dargestellten, besonders vorteilhaften Ausführungsform umgibt die Sensoreinrichtung 3 den Stromleiter 2, so daß beide Lichtsignale  $L1'$  und  $L2'$  den Strom I in einem praktisch geschlossenen Lichtpfad umlaufen. Der Meßwinkel  $\rho$  ist in diesem Fall im wesentlichen direkt proportional zum elektrischen Strom I. Die Sensoreinrichtung 3 kann als massiver Glasring mit die Lichtsignale  $L1'$  und  $L2'$  umlenkenden inneren Reflexionsflächen oder auf eine andere bekannte Art und Weise, beispielsweise als Faserspule, ausgebildet sein.

15 Die Lichtintensitäten  $I1'$  und  $I2'$  der beiden Lichtsignale  $L1'$  und  $L2'$  vor dem Einkoppeln in die Reihenschaltung werden vorzugsweise in einem fest vorgegebenen Verhältnis zueinander eingestellt, also  $I1' = K \cdot I2' = K \cdot I0$  mit einer vorgegebenen konstanten Ausgangsintensität  $I0$ . Der das Verhältnis der beiden Lichtintensitäten  $I1'$  und  $I2'$  definierende Kopplungsfaktor  $K$  ergibt sich in der dargestellten Ausführungsform aus den beiden Kopplungsverhältnissen der beiden Strahlteiler 14 und 17. Wenn die Kopplungsverhältnisse der beiden Strahlteiler 14 und 17 beispielsweise jeweils 1:1 betragen, ergibt sich ein Kopplungsfaktor  $K = 2$ .

30 Die beiden Lichtsignale  $L1'$  bzw.  $L1$  und  $L2'$  bzw.  $L2$  erfahren in den beiden Übertragungsstrecken 4 und 7 jeweils die gleichen Intensitätsänderungen beispielsweise infolge von Dämpfungsverlusten. Diese Intensitätsänderungen gehen im wesentlichen in Form von Dämpfungsfaktoren ein. Der reelle, im allgemeinen zeitabhängige Dämpfungsfaktor einer optischen Übertragungsstrecke ist definiert als das Verhältnis der Lichtintensität von an einem Ende der Übertragungsstrecke ankommendem Licht zu der Ausgangslichtintensität des Lichts beim Einkoppeln in das andere Ende der Übertragungsstrecke. Seien

35

A der reelle Dämpfungsfaktor der ersten Übertragungsstrecke 4  
 und B der Dämpfungsfaktor der zweiten Übertragungsstrecke 7.  
 Dann gelten für die Lichtintensitäten I1 und I2 der beiden  
 Lichtsignale L1 und L2 nach Durchlaufen der optischen Reihen-  
 schaltung die allgemeinen Beziehungen:

$$I_1 = I_0 \cdot A \cdot B \cdot \cos^2(\rho + \alpha) \quad (1)$$

$$I_2 = K \cdot I_0 \cdot B \cdot A \cdot \cos^2(\rho - \alpha) \quad (2).$$

Die Ausdrücke  $\cos^2(\rho + \alpha)$  in der Gleichung (1) für I1 und  
 $\cos^2(\rho - \alpha)$  in der Gleichung (2) für I2 beschreiben die Inten-  
 sitätsänderungen der beiden Lichtintensitäten I1 und I2 in  
 10 Abhängigkeit vom Faraday-Meßwinkel  $\rho$  und dem Polarisatorwin-  
 kel  $\alpha$ . Aus den beiden Gleichungen (1) und (2) kann man er-  
 kennen, daß sich die Faktoren vor den  $\cos^2$ -Termen für beide  
 Lichtintensitäten I1 und I2 nur in dem konstanten Kopplungs-  
 15 faktor K unterscheiden.

Die Auswertemittel 20 leiten aus den Lichtintensitäten I1 und  
 I2 der beiden Lichtsignale L1 und L2 nach Durchlaufen der  
 Reihenschaltung ein Meßsignal M für das Magnetfeld **H** ab, das  
 20 proportional zu einem Quotienten I1/I2 oder I2/I1 der beiden  
 Lichtintensitäten I1 und I2 der gegenläufigen Lichtsignale L1  
 und L2 nach Durchlaufen der Reihenschaltung ist. Dieses Meß-  
 signal M ist dann unter Berücksichtigung der Beziehungen (1)  
 und (2) für die Lichtintensitäten I1 und I2

25

$$M \sim I_1/I_2 = \cos^2(\rho + \alpha) / (K \cdot \cos^2(\rho - \alpha)) \quad (3)$$

oder

$$M \sim I_2/I_1 = (K \cdot \cos^2(\rho - \alpha)) / \cos^2(\rho + \alpha) \quad (4).$$

30 Die Dämpfungsfaktoren A und B erscheinen nicht mehr in den  
 Beziehungen (3) und (4). Das so gebildete Meßsignal M für das  
 Magnetfeld **H** ist somit von beispielsweise durch Vibrationen  
 verursachten Intensitätsänderungen in den Übertragungs-  
 strecken 4 bzw. 7 praktisch unabhängig.

35

Deshalb können in allen Ausführungsformen auch einfache, ver-  
 gleichsweise preiswerte Telekommunikationslichtfasern

(Multimode-Fasern) als Übertragungsstrecken 4 und 7 verwendet werden, da deren relativ hohe Dämpfungen und Vibrationsempfindlichkeiten im Meßsignal M kompensiert sind. Als Übertragungsstrecken 4 und 7 können aber auch andere Lichtwellenleiter oder Freistrahlanordnungen verwendet werden.

Die Auswertemittel 20 enthalten in der dargestellten Ausführungsform zum Ableiten des Meßsignals M aus den beiden Lichtintensitäten I1 und I2 der beiden gegenläufigen Lichtsignale L1 und L2 zwei photoelektrische Wandler 21 und 22 und eine Recheneinheit 27. Jedes der beiden Lichtsignale L1 und L2 wird von dem jeweils zugeordneten Wandler 21 bzw. 22 in jeweils ein elektrisches Intensitätssignal P1 bzw. P2 umgewandelt, das ein direktes Maß für die Lichtintensität I1 bzw. I2 des jeweiligen Lichtsignals L1 bzw. L2 ist. Diese beiden elektrischen Intensitätssignale P1 und P2 werden zwei Eingängen der Recheneinheit 27 zugeführt. Die Recheneinheit 27 bildet den Quotienten  $P1/P2$  oder  $P2/P1$  aus den beiden elektrischen Intensitätssignalen P1 und P2, der als Meßsignal M an einem Ausgang der Recheneinheit 27 ansteht.

Die Recheneinheit 27 enthält in einer Ausführungsform zum Bilden des Meßsignals M einen Analog/Digital-Wandler zum Digitalisieren der beiden elektrischen Intensitätssignale P1 und P2 und einen Mikroprozessor oder einen digitalen Signalprozessor zum Bilden des Quotienten aus den beiden digitalisierten Intensitätssignalen P1 und P2.

Die Recheneinheit 27 kann aber auch einen analogen Dividierer enthalten, dessen beide Eingänge jeweils mit dem Ausgang eines der photoelektrischen Wandler 21 und 22 elektrisch verbunden sind und an dessen Ausgang das Quotientensignal  $P1/P2$  oder  $P2/P1$  ansteht.

Ein besonderer Vorteil der Meßsignalauswertung gemäß den Beziehungen (3) und (4) bzw. gemäß  $M = P1/P2$  oder  $M = P2/P1$  besteht darin, daß die Ausgangslichtintensitäten I1' und I2'

für die beiden Lichtsignale  $L1'$  und  $L2'$  beim Einkoppeln in die optische Reihenschaltung nicht identisch sein müssen im Gegensatz zu der aus dem Stand der Technik bekannten Signalauswertung mit einem Meßsignal, das dem Quotienten

5  $(I1-I2)/(I1+I2)$  aus Differenz und Summe der beiden Lichtintensitäten  $I1$  und  $I2$  der beiden Lichtsignale  $L1$  und  $L2$  nach Durchlaufen der Reihenschaltung entspricht. Wenn die Ausgangslichtintensitäten  $I1'$  und  $I2'$  voneinander abweichen, der Kopplungsfaktor  $K$  also nicht gleich 1 ist, kann dies beim

10 Verfahren und der Anordnung gemäß der Erfindung einfach durch Anpassen der Verstärkung des Meßsignals  $M$ , also durch einfaches Multiplizieren des Meßsignals  $M$  mit einem Anpassungsfaktor, an eine geeichte Signalhöhe kompensiert werden.

15 Das Meßsignal  $M$  gemäß den Beziehungen (3) und (4) hängt in vergleichsweise komplizierter, jedoch eindeutiger Weise von dem Meßwinkel  $\rho$  und damit vom Magnetfeld  $H$  ab und kann deshalb auch elektronisch auf eine lineare Meßskala transformiert werden, falls dies gewünscht ist. Die FIG. 2 veranschaulicht in einem Diagramm die Abhängigkeit des Meßsignals

20  $M = I1/I2$  vom Faraday-Meßwinkel  $\rho$  nochmals graphisch für einen Polarisatorwinkel  $\alpha = \pi/4$ .

Ein Polarisatorwinkel  $\alpha$  zwischen den beiden Polarisationsachsen  $A1$  und  $A2$  der beiden Polarisatoren 5 und 6 von wenigstens annähernd  $\pm 45^\circ$  bzw.  $\pm \pi/4$  ist besonders vorteilhaft, da der Arbeitspunkt dann bei einer maximalen Meßempfindlichkeit

25 liegt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen eines Magnetfeldes (**H**) mit einer den Faraday-Effekt zeigenden Sensoreinrichtung (3), bei dem
- 5 a) ein erstes Lichtsignal (L1) eine optische Reihenschaltung aus einer ersten optischen Übertragungsstrecke (4), einem ersten Polarisator (5), der Sensoreinrichtung (3), einem zweiten Polarisator (6) und einer zweiten optischen Übertragungsstrecke (7) durchläuft,
- 10 b) ein zweites Lichtsignal (L2) diese optische Reihenschaltung in zur Durchlaufrichtung des ersten Lichtsignals (L1) entgegengesetzter Richtung durchläuft,
- c) ein Meßsignal (M) für das Magnetfeld (**H**) gebildet wird, das proportional zu einem Quotienten ( $I_1/I_2$ ) der Lichtintensitäten ( $I_1, I_2$ ) der beiden Lichtsignale (L1, L2)
- 15 jeweils nach deren Durchlaufen der optischen Reihenschaltung ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Polarisationsachsen (A1, A2) der beiden Polarisatoren (5, 6) in einem Polarisatorwinkel ( $\alpha$ ) zueinander eingestellt werden, der wenigstens annähernd einem ungeradzahligen Vielfachen von  $45^\circ$  oder  $\pi/4$  entspricht.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem das Magnetfeld (**H**) eines elektrischen Stromes (I) gemessen wird und das Meßsignal (M) als Maß für den elektrischen Strom (I) herangezogen wird.
- 25 4. Anordnung zum Messen eines Magnetfeldes (**H**) mit
- a) einer optischen Reihenschaltung aus einer ersten optischen Übertragungsstrecke (4), einem ersten Polarisator (5), einer den Faraday-Effekt zeigenden Sensoreinrichtung (3), einem zweiten Polarisator (6) und einer zweiten
- 35 optischen Übertragungsstrecke (7),

- b) Mitteln (10,11,12,13) zum Senden von zwei Lichtsignalen (L1,L2) durch die Reihenschaltung, die die Reihenschaltung gegensinnig durchlaufen,
- c) Auswertemitteln (20) zum Ableiten eines Meßsignals (M) für das Magnetfeld (**H**), das proportional zu einem Quotienten ( $I_1/I_2$ ) der Lichtintensitäten ( $I_1, I_2$ ) der beiden Lichtsignale (L1,L2) nach deren Durchlaufen der Reihenschaltung ist.
- 5
- 10 5. Anordnung nach Anspruch 4, bei der die Polarisationsachsen (A1,A2) der beiden Polarisatoren (5,6) einen Polarisatorwinkel ( $\alpha$ ) zueinander einschließen, der wenigstens annähernd einem ungeradzahligen Vielfachen von  $45^\circ$  oder  $\pi/4$  entspricht.
- 15 6. Anordnung nach Anspruch 4 oder Anspruch 5, bei der die beiden optischen Übertragungstrecken (4,7) mit Multimode-Lichtleitern gebildet sind.
- 20 7. Anordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, bei der die Sensoreinrichtung (3) im Magnetfeld (**H**) eines elektrischen Stromes (I) angeordnet ist und die Auswertemittel (20) das Meßsignal (M) als Maß für den elektrischen Strom (I) ableiten.

1/2

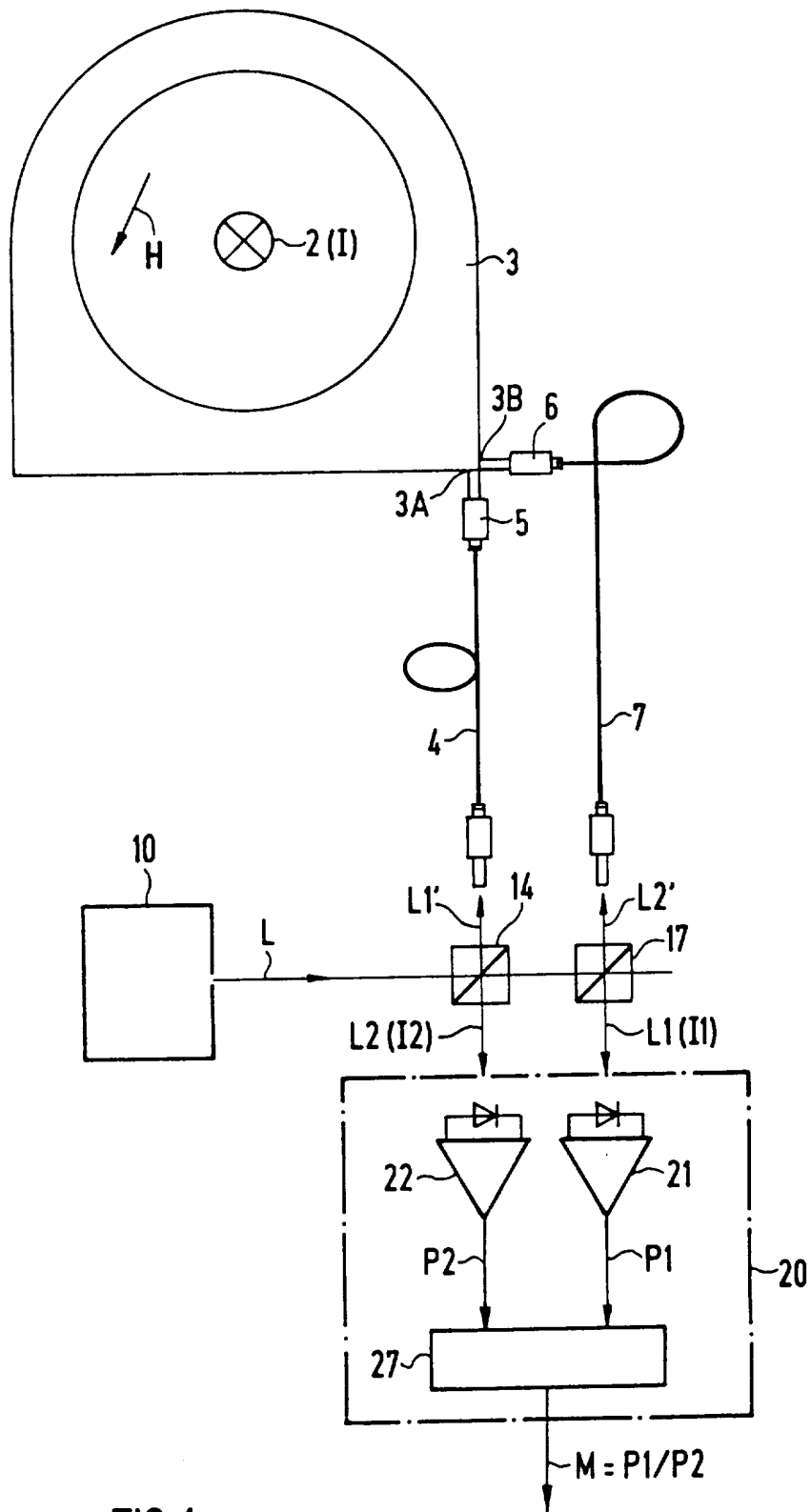
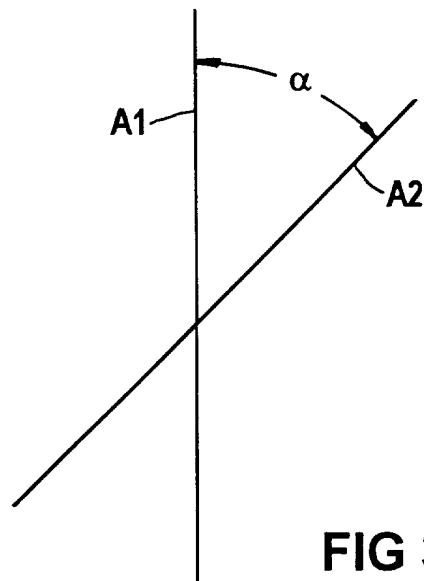
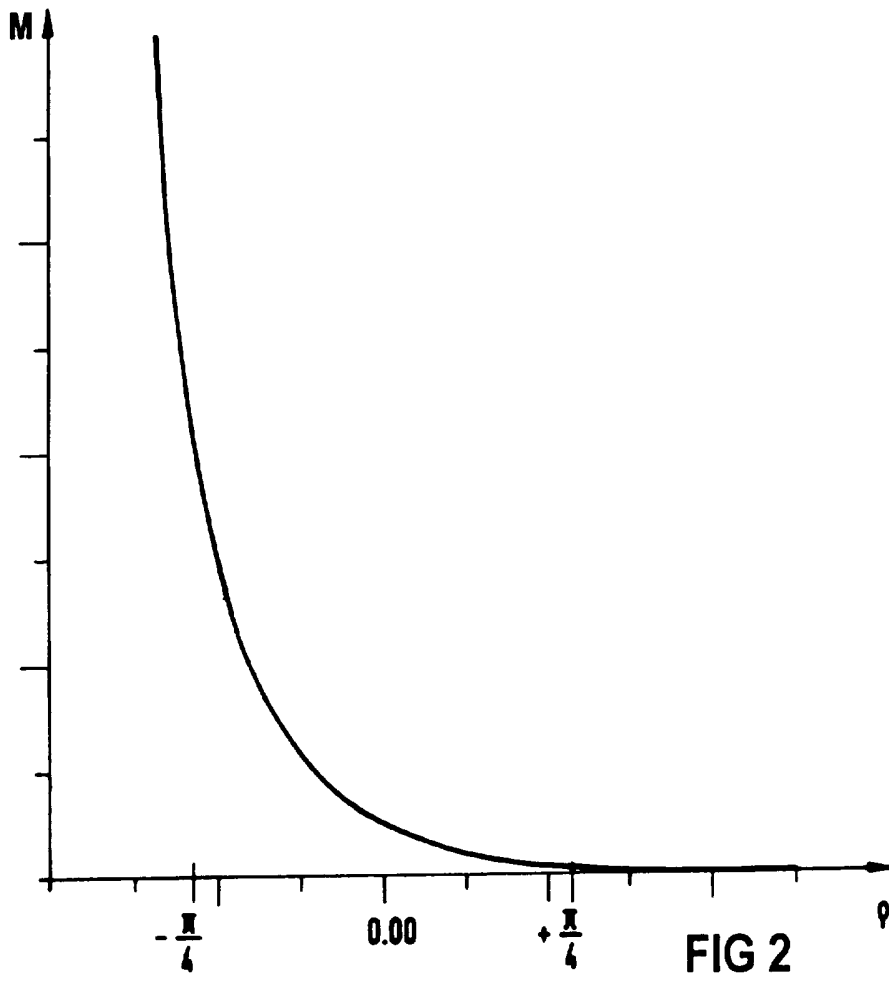


FIG 1

2/2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 95/01668

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 G01R33/032

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.
Y	SOVIET TECHNICAL PHYSICS LETTERS, vol. 16, no. 5, 1 May 1990 pages 397-399, XP 000204703 ANTONOV S N ET AL 'FIBER-OPTIC MAGNETIC FIELD TRANSDUCER' see page 397, column 2, line 18 - page 398, column 1, line 37; figure 1 ---	1,2,4,5
Y	US,A,5 149 962 (MAURICE LISA B) 22 September 1992 see column 9, line 9 - line 18 see column 9, line 61 - column 10, line 15; figure 9 ---	1,2,4,5
A	DE,A,37 26 411 (SIEMENS AG) 16 February 1989 see abstract; figure 1 ---	1,3,4,7
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.

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

Date of the actual completion of the international search

13 March 1996

Date of mailing of the international search report

22.03.96

Name and mailing address of the ISA

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

Authorized officer

Haasbroek, J

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No.  
PCT/DE 95/01668

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	US,A,5 434 501 (ESMAN RONALD D ET AL) 18 July 1995 see abstract; figure 2 see column 6, line 48 - column 7, line 7 see column 8, line 60 - column 9, line 51 -----	1-5,7

1

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

Intern: | Application No  
PCT/DE 95/01668

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-5149962	22-09-92	EP-A- 0517481	09-12-92
		US-A- 5399853	21-03-95
		US-A- 5334831	02-08-94
-----			
DE-A-3726411	16-02-89	DE-A- 3742878	06-07-89
		DE-A- 3903293	09-08-90
-----			
US-A-5434501	18-07-95	US-A- 5479094	26-12-95
-----			

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern: des Aktenzeichen  
PCT/DE 95/01668

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 G01R33/032

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 gehorende 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.
Y	SOVIET TECHNICAL PHYSICS LETTERS, Bd. 16, Nr. 5, 1.Mai 1990 Seiten 397-399, XP 000204703 ANTONOV S N ET AL 'FIBER-OPTIC MAGNETIC FIELD TRANSDUCER' siehe Seite 397, Spalte 2, Zeile 18 - Seite 398, Spalte 1, Zeile 37; Abbildung 1 ---	1,2,4,5
Y	US,A,5 149 962 (MAURICE LISA B) 22.September 1992 siehe Spalte 9, Zeile 9 - Zeile 18 siehe Spalte 9, Zeile 61 - Spalte 10, Zeile 15; Abbildung 9 ---	1,2,4,5
A	DE,A,37 26 411 (SIEMENS AG) 16.Februar 1989 siehe Zusammenfassung; Abbildung 1 ---	1,3,4,7
	-/--	

<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen	<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>*A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>*E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>*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)</p> <p>*O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>*P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p>	<p>*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</p> <p>*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>*Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher 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</p> <p>*Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche <b>13.März 1996</b>	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts <b>22.03.96</b>
Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde 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	Bevollmächtigter Bediensteter <b>Haasbroek, J</b>

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internes Aktenzeichen  
PCT/DE 95/01668

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P,A	US,A,5 434 501 (ESMAN RONALD D ET AL) 18.Juli 1995 siehe Zusammenfassung; Abbildung 2 siehe Spalte 6, Zeile 48 - Spalte 7, Zeile 7 siehe Spalte 8, Zeile 60 - Spalte 9, Zeile 51 -----	1-5,7

1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 95/01668

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-5149962	22-09-92	EP-A- 0517481 US-A- 5399853 US-A- 5334831	09-12-92 21-03-95 02-08-94
DE-A-3726411	16-02-89	DE-A- 3742878 DE-A- 3903293	06-07-89 09-08-90
US-A-5434501	18-07-95	US-A- 5479094	26-12-95