



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 : G01R 15/24		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 95/10046 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 13. April 1995 (13.04.95)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE94/01104 (22) Internationales Anmeldedatum: 22. September 1994 (22.09.94) (30) Prioritätsdaten: P 43 33 467.9 1. Oktober 1993 (01.10.93) DE P 44 23 980.7 7. Juli 1994 (07.07.94) DE P 44 26 137.3 22. Juli 1994 (22.07.94) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOSSELMANN, Thomas [DE/DE]; Im Heuschlag 9, D-91054 Erlangen (DE). MENKE, Peter [DE/DE]; Katholischer Kirchenplatz 7, D-91054 Erlangen (DE). NIEWISCH, Joachim [DE/DE]; Stralsunder Strasse 14, D-90425 Nürnberg (DE).			(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, KR, NO, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING AN ALTERNATING ELECTRICAL QUANTITY TO INCLUDE TEMPERATURE COMPENSATION

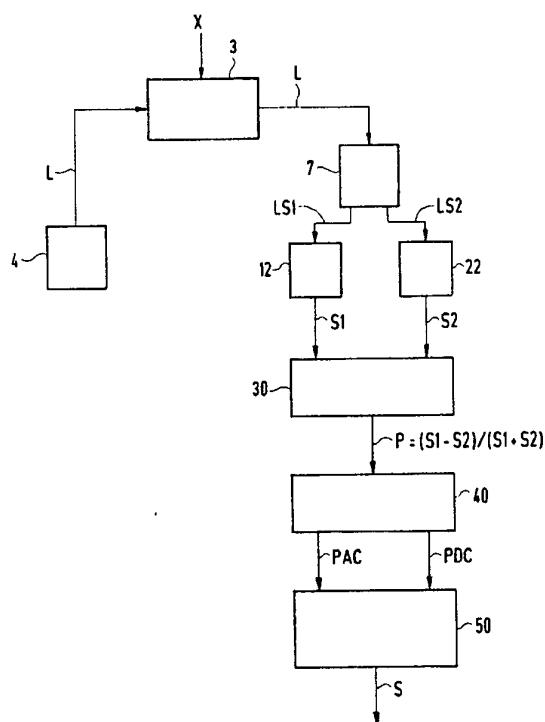
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM MESSEN EINER ELEKTRISCHEN WECHSELGRÖSSE MIT TEMPERATURKOMPENSATION

(57) Abstract

The method proposed uses a sensor (3) which utilizes polarized light (2), the polarization of which is changed as a function of the size of an alternating quantity (X). After passing through the sensor (3), the light (2) is split into two components (LS1, LS2) with different linear polarization which are converted into electric intensity signals (S1 and S2). A signal (P) whose intensity is normalized is then formed where $P = (S1 - S2)/(S1 + S2)$. From the a.c. component (PAC) and d.c. component (PDC) of the normalized signal (P), a temperature-compensated signal (S) is derived where $S = (a \cdot PAC + b \cdot 1)/(c \cdot PDC + d \cdot 1)$. This enables the sensitivity to temperature to be reduced by a factor of 10.

(57) Zusammenfassung

In einem Sensorelement (3) wird die Polarisation von polarisiertem Meßlicht (2) in Abhängigkeit von der Wechselgröße (X) geändert. Nach Durchlaufen des Sensorelements (3) wird das Meßlicht (2) in zwei unterschiedlich linear polarisierte Lichtteilsignale (LS1, LS2) aufgeteilt, die in elektrische Intensitätssignale S1 und S2 umgewandelt werden. Es wird dann ein intensitätsnormiertes Signal $P = (S1 - S2)/(S1 + S2)$ gebildet. Aus dem Wechselsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC dieses intensitätsnormierten Signals P wird ein temperaturkompensiertes Meßsignal $S = (a \cdot PAC + b \cdot 1)/(c \cdot PDC + d \cdot 1)$ abgeleitet. Damit kann die Temperaturempfindlichkeit um einen Faktor 10 herabgesetzt werden.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

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

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	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
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselgröße mit Temperaturkompensation

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselgröße. Unter einer elektrischen Wechselgröße wird dabei ein elektrischer Wechselstrom, eine elektrische Wechselspannung oder auch ein elektrisches

10

Wechselfeld verstanden.

Es sind optische Meßverfahren und Meßvorrichtungen zum Messen elektrischer Größen wie Strom, Spannung oder Feld bekannt, bei denen die Änderung der Polarisierung von polarisiertem

15

Meßlicht in Abhängigkeit von der elektrischen Größe ausgewertet wird. Zum Messen eines elektrischen Stromes wird dabei der magnetooptischen Faraday-Effekt ausgenutzt, zum Messen elektrischer Spannungen und Felder dagegen der elektrooptische Pockels-Effekt.

20

Unter dem Faraday-Effekt versteht man die Drehung der Polarisationssebene von linear polarisiertem Licht in Abhängigkeit von einem Magnetfeld. Der Drehwinkel ist dabei proportional zum Wegintegral über dem magnetischen Feld entlang des von

25

dem Licht zurückgelegten Weges mit der Verdet-Konstanten als Proportionalitätskonstanten. Die Verdet-Konstante ist abhängig von dem Material, in dem das Licht verläuft, und von der Wellenlänge des Lichts. Zum Messen eines elektrischen Stromes in einem Stromleiter unter Ausnutzung des Faraday-Effekts ist

30

in der Nähe des Stromleiters ein Faraday-Element angeordnet, das aus einem optisch transparenten Material und im allgemeinen aus Glas besteht. Durch das Faraday-Element wird linear polarisiertes Licht geschickt. Das von dem elektrischen Strom erzeugte Magnetfeld bewirkt eine Drehung der Polarisationssebene des Lichtes in dem Faraday-Element um einen Drehwinkel,

35

die von einer Auswerteeinheit als Maß für die Stärke des

Magnetfeldes und damit für die Stärke des elektrischen Stromes ausgewertet werden kann. Im allgemeinen umgibt das Faraday-Element den Stromleiter, so daß das polarisierte Licht den Stromleiter in einem quasi geschlossenen Weg umläuft. In diesem Fall ist der Betrag des Polarisationsdrehwinkels in guter Näherung direkt proportional zur Amplitude des Meßstromes.

In einer aus W0 91/01501 bekannten Ausführungsform einer optischen Meßvorrichtung zum Messen eines elektrischen Stromes ist das Faraday-Element als Teil einer optischen Monomode-Faser ausgebildet, die den Stromleiter in Form einer Meßwicklung umgibt. Das polarisierte Meßlicht umläuft den Stromleiter daher bei einem Durchlauf N-mal, wenn N die Anzahl der Windungen der Meßwicklung ist. Beim sogenannten Transmissionstyp durchläuft das Meßlicht die Meßwicklung nur einmal. Beim Reflexionstyp ist dagegen das andere Ende der Faser verspiegelt, so daß das Meßlicht nach einem ersten Durchlauf die Meßwicklung ein zweites Mal in umgekehrter Richtung durchläuft. Wegen der Nicht-Reziprozität des Faraday-Effekts ist deshalb der Drehwinkel beim Reflexionstyp bei gleicher Meßwicklung doppelt so groß wie beim Transmissions-

Aus der EP-B-0 088 419 ist eine optische Meßvorrichtung zum Messen eines Stromes bekannt, bei der das Faraday-Element als massiver Glasring um den Stromleiter ausgebildet ist. Licht einer Lichtquelle wird mit einem Polarisator linear polarisiert und dann in das Faraday-Element eingekoppelt. Das linear polarisierte Licht durchläuft das Faraday-Element einmal und wird dann mit einem Wollaston-Prisma als polarisierendem Strahlteiler in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale A und B mit senkrecht zueinander gerichteten Polarisations-ebenen geteilt. Jedes dieser beiden Lichtsignale A und B wird über eine zugehörige optische Übertragungsfaser zu einem zugehörigen Lichtdetektor übertragen und in ein entsprechendes

elektrisches Signal PA und PB umgewandelt. Aus diesen beiden Signalen PA und PB wird in einer Recheneinheit ein intensitätsnormiertes Meßsignal $M = (PA - PB) / (PA + PB)$ gebildet. Dieses Meßsignal M ist unabhängig von Intensitätsschwankungen der
5 Lichtquelle oder Dämpfungen in den optischen Zuleitungen.

Unter dem elektrooptischen Pockels-Effekt versteht man die Änderung der Polarisierung von polarisiertem Meßlicht in einem den Pockels-Effekt aufweisenden Material infolge einer in dem
10 Material induzierten linearen Doppelbrechung, die im wesentlichen über den elektrooptischen Koeffizienten linear abhängig von einem das Material durchdringenden elektrischen Feld ist. Zum Messen eines elektrischen Feldes wird ein Pockels-Element aus einem den Pockels-Effekt zeigenden Material in
15 dem elektrischen Feld angeordnet. Zum Messen einer elektrischen Spannung wird die zu messende Spannung an zwei dem Pockels-Element zugeordnete Elektroden angelegt und das entsprechende, anliegende elektrische Feld gemessen. Durch das Pockels-Element wird polarisiertes Meßlicht gesendet, und die
20 Änderung der Polarisierung des polarisierten Meßlichts in Abhängigkeit von der zu messenden Spannung oder dem zu messenden Feld wird mit Hilfe eines Polarisationsanalysators ausgewertet.

25 Aus der DE-C-34 04 608 ist eine Ausführungsform einer solchen Meßvorrichtung zum Messen der elektrischen Feldstärke bekannt. Eine im zu messenden elektrischen Feld angeordnete Sensoreinrichtung ist über einen ersten Lichtleiter mit einer Lichtquelle und über zwei weitere Lichtleiter mit einer Meß-
30 einrichtung optisch verbunden. Die Sensoreinrichtung besteht aus einer optischen Reihenschaltung einer ersten Linse, eines Polarisators, eines Viertelwellenlängenplättchens ($\lambda/4$ -Plättchen), eines Pockels-Elements, eines polarisierenden Strahlteilers als Analysator und außerdem aus zwei dem Ana-
35 lysator zugeordneten weiteren Linsen. Das Licht der Lichtquelle wird über den ersten Lichtleiter und die erste Linse

dem Polarisator zugeführt und vom Polarisator linear polarisiert. Das linear polarisierte Licht erfährt sodann in dem $\lambda/4$ -Plättchen in einer Komponente eine Phasenverschiebung um $\pi/2$ und wird dadurch zirkular polarisiert. Dieses zirkular polarisierte Licht wird in das Pockels-Element eingekoppelt und durch das elektrische Feld im allgemeinen elliptisch polarisiert. Dieses elliptisch polarisierte Licht wird in dem Analysator in zwei linear polarisierte Lichtteilstrahlen A und B mit im allgemeinen senkrecht zueinander gerichteten Polarisations Ebenen aufgespalten. Jedes dieser beiden Lichtteilsignale A und B wird über eine der beiden weiteren Linsen in einen der beiden weiteren Lichtleiter eingekoppelt, zu einem zugehörigen photoelektrischen Wandler in der Meßeinrichtung übertragen und dort jeweils in ein elektrisches Signal PA und PB umgewandelt. Aus den beiden elektrischen Signalen PA und PB wird anschließend von einem Rechner der Meßeinrichtung ein intensitätsnormiertes Meßsignal $M = (PA - PB) / (PA + PB)$ abgeleitet. Dieses intensitätsnormierte Meßsignal M ist zum einen proportional zum Modulationsgrad als Maß für die elektrische Feldstärke und zum anderen weitgehend unabhängig von Intensitätsverlusten auf den Übertragungswegen oder Intensitätsschwankungen der Lichtquelle. Der Modulationsgrad ist dabei als Verhältnis von Signal-Ausgangswert zu Ruhe-Ausgangswert des Pockels-Elements definiert. Als Pockels-Element wird ein Kristall aus $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ oder auch $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$ mit Eulytin-Struktur verwendet, der keine optische Aktivität (intrinsische zirkulare Doppelbrechung) zeigt und eine nur relativ schwache Temperaturempfindlichkeit aufweist.

Ein Problem bei allen optischen Meßverfahren und Meßvorrichtungen, bei denen die Polarisationsänderung von polarisiertem Meßlicht in einem unter dem Einfluß der Meßgröße stehenden Sensorelement als Meßeffekt ausgenutzt wird, stellen Störeinflüsse durch zusätzliche lineare Doppelbrechung in den optischen Materialien des Sensorelements und der optischen Übertragungstrecken dar. Solche zusätzliche lineare Doppelbre-

chung kann durch mechanische Spannungen, die beispielsweise
chung kann durch mechanische Spannungen, die beispielsweise
durch Verbiegen oder Vibrationen hervorgerufen werden, oder
durch Temperaturänderungen verursacht werden. Diese durch
5 Störgrößen bewirkte, lineare Doppelbrechung führt zu einer
unerwünschten Änderung des Arbeitspunktes und der Meßempfind-
lichkeit.

10 Zur Kompensation von Temperatureinflüssen sind bereits ver-
schiedene Temperaturkompensationsverfahren bekannt.

In Proc. Conf. Opt. Fiber Sensors OFS 1988, New Orleans, Sei-
ten 288 bis 291 und der zugehörigen US 4 755 665 wird ein
Temperaturkompensationsverfahren für eine magnetooptische
15 Meßvorrichtung zum Messen von Wechselströmen vorgeschlagen.
Bei diesem Verfahren werden die analog zu der zuvor beschrie-
benen, aus EP-B-0 088 419 bekannten Meßvorrichtung gewonnenen
elektrischen Signale PA und PB jeweils in einem Filter in
ihre Gleichstromanteile PA(DC) bzw. PB(DC) und ihre Wechsel-
20 stromanteile PA(AC) bzw. PB(AC) zerlegt. Aus dem Wechsel-
stromanteil PA(AC) bzw. PB(AC) und dem Gleichstromanteil
PA(DC) bzw. PB(DC) wird für jedes Signal PA und PB zum Aus-
gleich auch von unterschiedlichen Intensitätsschwankungen in
den beiden Übertragungstrecken für die Lichtsignale A und B
25 der Quotient $QA = PA(AC)/PA(DC)$ bzw. $QB = PB(AC)/PB(DC)$ aus
seinem Wechselstromanteil PA(AC) bzw. PB(AC) und seinem
Gleichstromanteil PA(DC) bzw. PB(DC) gebildet. Aus jedem
dieser beiden Quotienten QA und QB wird ein zeitlicher Mit-
telwert MW(QA) und MW(QB) gebildet, und aus diesen beiden
30 Mittelwerten MW(QA) und MW(QB) wird schließlich ein Quotient
 $Q = MW(QA)/MW(QB)$ gebildet. Im Rahmen eines Iterationsver-
fahrens wird durch Vergleich mit in einer Wertetabelle (Look-
up-table) gespeicherten, geeichten Werten ein Korrekturfaktor
K für den ermittelten Quotienten Q erhalten. Der um diesen
35 Korrekturfaktor K korrigierte Wert $Q \cdot K$ wird als tempera-
turkompensierter Meßwert für einen zu messenden elektrischen

Wechselstrom herangezogen. Mit diesem Verfahren kann die Temperaturempfindlichkeit auf etwa 1/50 herabgesetzt werden.

Aus EP-A-0 557 090 ist ein weiteres Temperaturkompensationsverfahren für eine optische Meßvorrichtung zum Messen magnetischer Wechselfelder bekannt, die den Faraday-Effekt ausnutzt und daher auch zum Messen elektrischer Wechselströme geeignet ist. Bei diesem bekannten Verfahren wird das linear polarisierte Meßlicht nach Durchlaufen des Faraday-Elements in einem Analysator in zwei unterschiedlich linear polarisierte Lichtteilsignale A und B aufgespalten, und es wird zur Intensitätsnormierung für jedes der beiden zugehörigen elektrischen Signale PA und PB gesondert der Quotient $QA = PA(AC)/PA(DC)$ bzw. $QB = PB(AC)/PB(DC)$ aus seinem zugehörigen Wechselstromanteil PA(AC) bzw. PB(AC) und seinem zugehörigen Gleichstromanteil PA(DC) bzw. PB(DC) gebildet. Aus den beiden Quotienten QA und QB wird nun in einer Recheneinheit ein Meßsignal $M = 1/((\alpha/QA) - (\beta/QB))$ gebildet mit den reellen Konstanten α und β , die die Beziehung $\alpha + \beta = 1$ erfüllen. Dieses Meßsignal M wird als weitgehend unabhängig von durch Temperaturänderungen verursachten Änderungen der Verdet-Konstanten und der zirkularen Doppelbrechung im Faraday-Element beschrieben. Über eine Kompensation der temperaturinduzierten linearen Doppelbrechung ist nichts ausgesagt.

Aus der EP-A-0 486 226 ist eine Ausführungsform einer optischen Meßvorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung mit Temperaturkompensation bekannt. Es ist eine optische Reihenschaltung aus einem Polarisator, einem $\lambda/4$ -Plättchen, einem Pockels-Element und einem polarisierten Strahlteiler als Analysator optisch zwischen eine Lichtquelle und eine Auswerteeinheit geschaltet. Die Reihenfolge von $\lambda/4$ -Plättchen und Pockels-Element in der optischen Reihenschaltung kann allerdings auch vertauscht sein. Das Meßlicht der Lichtquelle wird in dem Polarisator linear polarisiert und nach Durchlaufen des Pockels-Elements in dem Analysator

in zwei Lichtteilsignale A und B mit unterschiedlichen Polarisationssebenen aufgespalten. Jedes dieser Lichtteilsignale A und B wird in ein entsprechendes elektrisches Intensitätssignal PA bzw. PB umgewandelt. Sodann wird zur Intensitätsnormierung für jedes dieser beiden elektrischen Intensitätssignale PA und PB der Quotient $Q_A = PA(AC)/PA(DC)$ bzw. $Q_B = PB(AC)/PB(DC)$ aus seinem zugehörigen Wechsellsignalanteil PA(AC) bzw. PB(AC) und seinem zugehörigen Gleichsignalanteil PA(DC) bzw. PB(DC) gebildet. Aus den beiden intensitätsnormierten Quotienten Q_A und Q_B wird nun in einer Recheneinheit ein Meßsignal $M = 1/((\alpha/Q_A) - (\beta/Q_B))$ gebildet mit den reellen Konstanten α und β . Durch Anpassung dieser Konstanten α und β wird das Meßsignal M weitgehend unabhängig von durch Temperaturänderungen verursachter linearer Doppelbrechung im $\lambda/4$ -Plättchen.

Die Kompensation von Intensitätsschwankungen durch Trennung der beiden Signale PA und PB in ihre Gleich- und Wechselanteile gemäß den beschriebenen bekannten Verfahren zur Temperaturkompensation hat den Nachteil einer begrenzten Frequenzbandbreite der zu messenden elektrischen Wechselgröße. Um nämlich bei der Filterung der beiden Signale PA und PB keine Informationen über die Wechselgröße zu verlieren, muß die Trennfrequenz zwischen Gleich- und Wechselanteilen unter der Grundfrequenz der Wechselgröße liegen, die üblicherweise bei 50 Hz und in den USA bei 60 Hz liegt. Beispielsweise durch Vibrationen verursachte Intensitätsschwankungen können jedoch durchaus in einem diesen Frequenzen nahekommenden Frequenzbereich liegen und somit mit den bekannten Verfahren nicht eliminiert werden. Will man überdies Wechselströme oder Wechselspannungen mit noch kleineren Frequenzen als 50 Hz messen, so werden die störenden Vibrationseinflüsse mit abnehmender Frequenz noch größer. Dies bereitet insbesondere beim Erfassen von verlagerten Wechsellsignalen (offset transient), d.h. Wechsellsignalen mit Gleichsignalanteilen, Probleme.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselgröße anzugeben, bei denen Einflüsse von Temperaturänderungen und von Intensitätsschwankungen auf das Meßsignal weitgehend
5 kompensiert werden.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 13. In ein unter dem Einfluß der elektrischen Wechselgröße stehendes optisches
10 Sensorelement wird polarisiertes Meßlicht eingekoppelt. Beim Durchlaufen des Sensorelements wird die Polarisation des Meßlichts in Abhängigkeit von der elektrischen Wechselgröße geändert. Nach wenigstens einmaligem Durchlaufen des Sensorelements wird das Meßlicht in zwei linear polarisierte Licht-
15 teilsignale mit unterschiedlichen Polarisationssebenen aufgeteilt. Anschließend werden diese beiden Lichtteilsignale jeweils in entsprechende elektrische Intensitätssignale umgewandelt. Aus diesen beiden Intensitätssignalen wird ein intensitätsnormiertes Signal P gebildet, das dem Quotienten
20 aus der Differenz und der Summe der beiden Intensitätssignale entspricht und von Intensitätsschwankungen der Lichtquelle oder in den Übertragungsstrecken für das Meßlicht weitgehend befreit ist. Dieses intensitätsnormierte Signal P wird nun in einen Wechsignalanteil PAC und einen Gleichsignalanteil
25 PDC zerlegt. Da mit der Bildung des intensitätsnormierten Signals P bereits alle Intensitätsschwankungen im wesentlichen kompensiert sind, kann die Trennfrequenz zwischen dem Wechsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC auch sehr klein gewählt werden. Die Bandbreite für die Frequenz
30 der zu messenden elektrischen Wechselgröße ist damit prinzipiell nicht nach unten begrenzt. Es können somit auch niederfrequente Intensitätsschwankungen, die beispielsweise durch Vibrationen hervorgerufen werden können, kompensiert werden. Aus dem Wechsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil
35 PDC des intensitätsnormierten Signals P wird nun ein Meßsignal S für die elektrische Wechselgröße abgeleitet, das

weitgehend temperaturkompensiert ist.

Die Erfindung beruht dabei auf der Erkenntnis, daß der Wech-
selsignalanteil PAC die Informationen über die elektrische
5 Wechselgröße enthält, der Gleichsignalanteil PDC dagegen In-
formationen über die Temperatur enthält. Diese Informationen
über die Wechselgröße und die Temperatur können somit durch
eine geeignete Signalauswertung zum Ableiten des temperatur-
kompensierten Meßsignals S benutzt werden.

10

Vorteilhafte Ausführungsformen des Meßverfahrens und der Meß-
vorrichtung gemäß der Erfindung ergeben sich aus den jeweils
abhängigen Ansprüchen.

15 In einer ersten vorteilhaften Ausführungsform wird das Meß-
signal S von einer Recheneinheit gemäß der Vorschrift

$$S = (a * PAC + b * \underline{1}) / (c * PDC + d * \underline{1})$$

abgeleitet, wobei a, b, c und d reelle Koeffizienten sind mit
a ≠ 0, c ≠ 0 und d ≠ 0 und 1 ein Einheitssignal ist, das be-

20 tragsmäßig gleich dem intensitätsnormierten Signal P ist,
wenn eines der beiden elektrischen Intensitätssignale ver-
schwindet. Durch diese Quotientenbildung zweier linearer
Funktionen des Wechselsignalanteils PAC bzw. des Gleich-
signalanteils PDC erhält man ein Meßsignal S, bei dem Tempe-
25 ratureinflüsse im Vergleich zum intensitätsnormierten Signal
P deutlich reduziert sind.

In einer anderen Ausführungsform wird das Meßsignal S aus dem
Wechselsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC des
30 intensitätsnormierten Signals P mit Hilfe einer vorab ermit-
telten Wertetabelle oder Eichfunktion abgeleitet.

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

35 FIG. 1 ein prinzipieller Aufbau einer Vorrichtung zum Messen
einer elektrischen Wechselgröße,

- FIG. 2 eine Ausführungsform einer Normierungseinheit für eine solche Meßvorrichtung,
FIG. 3 eine Ausführungsform eines Filters für eine solche Meßvorrichtung,
5 FIG. 4 und 5 jeweils eine Ausführungsform einer Recheneinheit zur Temperaturkompensation für eine solche Meßvorrichtung,
FIG. 6 eine Ausführungsform einer Vorrichtung zum Messen eines elektrischen Wechselstromes mit einem Faraday-
10 Element,
FIG. 7 eine Ausführungsform zum Messen einer elektrischen Wechselspannung mit einem Pockels-Element und
FIG. 8 ein Diagramm des Meßfehlers mit und ohne Temperaturkompensation
15 schematisch veranschaulicht sind. Einander entsprechende Teile sind mit denselben Bezugszeichen versehen.

FIG. 1 zeigt eine Ausführungsform der Meßvorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselgröße X in einem prinzipiellen Aufbau. Es ist ein Sensorelement 3 vorgesehen, das unter dem
20 Einfluß der elektrischen Wechselgröße X die Polarisierung von in das Sensorelement 3 eingestrahlt polarisiertem Meßlicht in Abhängigkeit von der elektrischen Wechselgröße X ändert. Das Sensorelement 3 kann ein Faraday-Element zum Messen eines
25 elektrischen Wechselstromes unter Ausnutzung des magnetooptischen Faraday-Effekts oder auch ein Pockels-Element zum Messen einer elektrischen Wechselspannung oder eines elektrischen Wechselfeldes unter Ausnutzung des elektrooptischen Pockels-Effekts sein. In das Sensorelement 3 wird polarisiertes Meßlicht L eingekoppelt. Zum Erzeugen dieses polarisier-
30 ten Meßlichts L können eine Lichtquelle 4 und zugeordnete, nicht dargestellte polarisierende Mittel oder auch eine selbst polarisierende Lichtquelle 4, beispielsweise eine Laserdiode, und gegebenenfalls zusätzliche, nicht darge-
35 stellte polarisierende Mittel vorgesehen sein. Das polarisierte Meßlicht L durchläuft das Sensorelement 3 wenigstens

einmal und erfährt dabei eine von der elektrischen Wechselgröße X abhängige Änderung seiner Polarisierung. Nach dem

Durchlaufen des Sensorelements 3 wird das Meßlicht L einem
5 Analysator 7 zugeführt und im Analysator 7 in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale LS1 und LS2 zerlegt, deren Polarisierungsebenen verschieden voneinander sind. Vorzugsweise sind die Polarisierungsebenen der beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 senkrecht zueinander gerichtet (orthogonale
10 Zerlegung). Als Analysator 7 können ein polarisierender Strahlteiler, beispielsweise ein Wollaston-Prisma, oder auch zwei um einen entsprechenden Winkel und vorzugsweise um 90° gekreuzte Polarisationsfilter und ein einfacher Strahlteiler mit einem teildurchlässigen Spiegel vorgesehen sein. Das Sensorelement 3 und der Analysator 7 können über eine Freistrahlanordnung oder auch über einen polarisationserhaltenden Lichtleiter, vorzugsweise eine Monomode-Lichtfaser wie
15 beispielsweise eine HiBi(High Birefringence)-Faser oder eine polarisationsneutrale LoBi(Low Birefringence)-Faser, optisch miteinander verbunden sein.
20

Die beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 werden dann jeweils einem photoelektrischen Wandler 12 bzw. 22 zugeführt. Die Übertragung der beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 vom Analysator 7 zu dem jeweils zugehörigen Wandler 12 bzw. 22 kann
25 über eine Freistrahlanordnung oder über jeweils einen Lichtleiter erfolgen. In den Wandlern 12 und 22 werden die beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 jeweils in ein elektrisches Intensitätssignal S1 bzw. S2 umgewandelt, das ein Maß für die
30 Intensität des zugehörigen Lichtteilsignals LS1 bzw. LS2 ist. Diese beiden Intensitätssignale S1 bzw. S2 werden Eingängen einer Normierungseinheit 30 zugeführt. Die Normierungseinheit 30 bildet aus den beiden elektrischen Intensitätssignalen S1 und S2 ein intensitätsnormiertes Signal
35

$$P = (S1 - S2) / (S1 + S2),$$

- das dem Quotienten aus der Differenz und der Summe der beiden Intensitätssignale S1 und S2 entspricht. Dieses intensitätsnormierte Signal P ist im wesentlichen unabhängig von Intensitätsschwankungen der Lichtquelle 4 oder Intensitätsverlusten in den Übertragungswegen. Das intensitätsnormierte Signal P wird vorzugweise Mit Hilfe analoger arithmethischer Komponenten gebildet, kann aber auch digital berechnet oder Mit Hilfe einer gespeicherten Wertetabelle ermittelt werden.
- 10 Ein Problem bereiten nun jedoch Änderungen der Temperatur aufgrund von temperaturinduzierter linearer Doppelbrechung in den optischen Materialien der optischen Meßvorrichtung, insbesondere des Sensorelements 3, und die damit verbundene Verschiebung des Arbeitspunktes und Änderung der Meßempfindlichkeit der Meßvorrichtung. Diese temperaturinduzierten Meßfehler werden nun durch ein im folgenden beschriebenes Temperaturkompensationsverfahren mit Hilfe eines Filters 40 und einer Recheneinheit 50 weitgehend kompensiert.
- 20 Das an einem Ausgang der Normierungseinheit 30 anstehende intensitätsnormierte Signal P wird dazu einem Eingang des Filters 40 zugeführt. Das Filter 40 zerlegt das intensitätsnormierte Signal P in seinen Wechsignalanteil PAC und seinen Gleichsignalanteil PDC, die jeweils an einem Ausgang des Filters 40 anliegen.
- Dieser Wechsignalanteil PAC und dieser Gleichsignalanteil PDC werden nun jeweils einem Eingang der Recheneinheit 50 zugeführt. Die Recheneinheit 50 bildet aus dem Wechsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC ein Meßsignal S gemäß der Vorschrift
- 30

$$S = (a * PAC + b * 1) / (c * PDC + d * 1) \quad (1),$$

- 35 wobei a, b, c und d reelle Koeffizienten sind mit $a \neq 0$,

$c \neq 0$ und $d \neq 0$ und 1 ein Einheitssignal ist, das einem Wert $P = 1$ entspricht. Es hat sich gezeigt, daß mit diesem Meßsignal S sowohl beim Messen eines Wechselstromes als elektri-

5 sche Wechselgröße X Mit Hilfe eines Faraday-Elements als auch beim Messen eines Wechselfeldes oder einer Wechselspannung als elektrische Wechselgröße X Mit Hilfe eines Pockels-Elements ein sowohl gegenüber Intensitätsschwankungen der Lichtquelle und in den optischen Übertragungsstrecken als auch be-
10 züglich seines Arbeitspunktes bei veränderlichen Temperaturen weitgehend stabiles Meßsignal für die entsprechende elektrische Wechselgröße X erhalten wird. Die Koeffizienten a, b, c und d können zur Optimierung der Temperaturunabhängigkeit des Meßsignals S experimentell ermittelt werden. Die arithmeti-
15 sche Herleitung des Meßsignals S gemäß der Gleichung (1) wird vorzugsweise Mit Hilfe von entsprechenden analogen Bauelementen für die auszuführenden arithmetischen Operationen durchgeführt. In dieser Ausführungsform ist eine Temperaturkompensation in Echtzeit möglich. Das Meßsignal S kann aber auch
20 digital mit Hilfe eines Mikroprozessors oder Computers berechnet oder mit Hilfe einer gespeicherten Wertetabelle ermittelt werden. Die Temperaturempfindlichkeit des Meßsignals S ist deutlich geringer als die des unkompensierten Signals P . Der Meßfehler kann dabei um etwa einen Faktor 10 verringert werden.
25

Die FIG. 2 zeigt eine Ausführungsform der Normierungseinheit 30. Es sind ein Subtrahierer 31, ein Addierer 32 und ein Dividierer 33 vorgesehen. An jeweils zwei Eingängen des Subtrahierers 31 und des Addierers 32 werden die beiden elektrischen Intensitätssignale $S1$ und $S2$ angelegt. Das an einem
30 Ausgang des Subtrahierers 31 anstehende Differenzsignal $S1-S2$ und das an einem Ausgang des Addierers 32 anstehende Summensignal $S1+S2$ werden zwei Eingängen des Dividierers 33 zugeführt. An einem Ausgang des Dividierers 33 steht dann das intensitätsnormierte Signal $P = (S1-S2)/(S1+S2)$ an. Diese Aus-

führungsform hat den Vorteil, daß die Intensitätsnormierung in Echtzeit erfolgen kann, wenn analoge Bauelemente verwendet werden.

5 In der FIG. 3 ist eine Ausführungsform des Filters 40 zum Zerlegen des intensitätsnormierten Signals P in seinen Wech-
selsignalanteil PAC und sein Gleichsignalanteil PDC darge-
stellt. Das Filter 40 enthält ein Tiefpaßfilter 47 und einen
Subtrahierer 41. Das intensitätsnormierte Signal P wird an
10 einen Eingang des Tiefpaßfilters 47 angelegt. An einem Aus-
gang des Tiefpaßfilters 47 steht dann der Gleichsignalanteil
PDC des intensitätsnormierten Signals P an, der den Frequenz-
anteilen des intensitätsnormierten Signals P entspricht, die
unterhalb einer vorgegebenen Trennfrequenz des Tiefpaßfilters
15 47 liegen. Diese Trennfrequenz des Tiefpaßfilters 47 kann
auch niedrig eingestellt werden, weil Intensitätsschwankungen
bereits bei der vorangegangenen Intensitätsnormierung in der
Normierungseinheit 30 eliminiert sind und somit störende
höherfrequente Intensitätsschwankungen, beispielsweise in-
20 folge von Vibrationen, sich nicht mehr störend auf den Wech-
selsignalanteil PAC auswirken können. Der Wechselsignalanteil
PAC wird nun einfach durch Subtraktion des Gleichsignalan-
teils PDC vom Gesamtsignal P mit Hilfe des Subtrahierers 41
gebildet. Dazu werden an zwei Eingängen des Subtrahierers 41
25 das intensitätsnormierte Signal P und der Gleichsignalanteil
PDC des intensitätsnormierten Signals P angelegt.

Anstelle der in FIG. 3 gezeigten Ausführungsformen des Fil-
ters 40 können natürlich auch ein Hochpaßfilter und ein Tief-
30 paßfilter zum Herausfiltern des Wechselsignalanteils PAC bzw.
des Gleichsignalanteils PDC vorgesehen sein oder auch ein
Hochpaßfilter zum Herausfiltern des Wechselsignalanteils PAC
und ein Subtrahierer zum Ableiten des Gleichsignalanteils PDC
durch Subtraktion des Wechselsignalanteils PAC vom Gesamt-
35 signal P.

Die FIG. 4 und 5 zeigen zwei besonders einfache Ausführungsformen der Recheneinheit 50 und der in dieser Recheneinheit 50 durchgeführten Berechnung des Meßsignals S.

5 In der Ausführungsform gemäß FIG. 4 enthält die Recheneinheit 50 einen Addierer 52 und einen Dividierer 53. Der Addierer 52 bildet ein Summensignal $PDC + K' \cdot \underline{1}$ aus dem Gleichsignalanteil PDC des intensitätsnormierten Signals P und einem mit einem vorgegebenen reellen Korrekturfaktor K' multiplizierten Einheitssignal $\underline{1}$. Dazu werden dem Addierer 52 der Gleichsignalanteil PDC und das mit dem Korrekturfaktor K' multiplizierte Einheitssignal $\underline{1}$ als Eingangssignale zugeführt. Das Einheits-
10 signal $\underline{1}$ entspricht dabei betragsmäßig dem intensitätsnormierten Signal $P = \pm 1$, das sich ergibt, wenn genau eines der beiden Intensitätssignale S1 oder S2 verschwindet. Das ist beispielsweise der Fall, wenn $S2 = 0$ ist und $S1 \neq 0$. Am Ausgang des Addierers 52 steht somit das Summensignal $PDC + K' \cdot \underline{1}$ aus dem Gleichsignalanteil PDC und dem mit dem Korrekturfaktor K' multiplizierten Einheitssignal $\underline{1}$ an. Vom Dividierer 53
20 wird der Quotient $PAC / (PDC + K' \cdot \underline{1})$ aus dem Wechselsignalanteil PAC und dem Summensignal $PDC + K' \cdot \underline{1}$ gebildet. Dazu wird an einen ersten Eingang des Dividierers 53 der Wechselsignalanteil PAC und an einen zweiten Eingang des Dividierers 53 das Summensignal $PDC + K' \cdot \underline{1}$ des Addierers 42 angelegt. Der
25 an dem Ausgang des Dividierers 53 anstehende Quotient wird als Meßsignal

$$S = PAC / (PDC + K' \cdot \underline{1}) \quad (2)$$

30 für die elektrische Wechselgröße X herangezogen. Durch eine geeignete experimentell ermittelbare Wahl des Korrekturfaktors K' kann die Temperaturabhängigkeit des Meßsignals S minimiert werden.

35 In der in FIG. 5 gezeigten Ausführungsform der Recheneinheit 50 sind anstelle des Addierers 52 ein Verstärker 54 und ein

Addierer 55 vorgesehen, die gemeinsam Mittel zum Erzeugen eines Summensignals $K \cdot PDC + 1$ aus dem mit einem vorgegebenen reellen Korrekturfaktor K multiplizierten Gleichsignalanteil PDC und dem Einheitssignal 1 bilden. Dazu wird der Gleichsignalanteil PDC dem Verstärker 54 als Eingangssignal zugeführt und in dem Verstärker 54 mit dem auf den Korrekturfaktor K eingestellten Verstärkungsfaktor des Verstärkers 54 multipliziert. Das Ausgangssignal $K \cdot PDC$ des Verstärkers 54 wird als erstes Eingangssignal einem Eingang des Addierers 55 zugeführt. Ein zweites Eingangssignal an einem weiteren Eingang des Addierers 55 bildet das Einheitssignal 1 . Somit steht am Ausgang des Addierers 55 das Summensignal $K \cdot PDC + 1$ an. An einen ersten Eingang des Dividierers 53 wird wieder wie in FIG. 4 der Wechselsignalanteil PAC angelegt, während der zweite Eingang des Dividierers 53 nun mit dem Ausgang des Addierers 55 verbunden ist. Am Ausgang des Dividierers 53 steht somit der Quotient $PAC / (K \cdot PDC + 1)$ aus dem Wechselsignalanteil PAC und dem Summensignal $K \cdot PDC + 1$ an. Dieser Quotient wird nun als Meßsignal

20

$$S = PAC / (K \cdot PDC + 1) \quad (3)$$

für die elektrische Wechselgröße X herangezogen. Dieses Meßsignal S ist ebenso wie das Meßsignal S gemäß FIG. 4 und Gleichung (2) sowohl hinsichtlich Temperaturänderungen als auch hinsichtlich Intensitätsänderungen weitgehend stabil.

Der Korrekturfaktor K wird vorzugsweise so eingestellt, daß die Temperaturabhängigkeit des Meßsignals S wenigstens annähernd minimal ist.

Die Berechnung des Meßsignals S kann in allen Ausführungsformen in Echtzeit erfolgen, weil die Recheneinheit 50 mit analogen Bauelementen realisiert werden kann.

35

In der FIG. 6 ist eine Ausführungsform einer Meßvorrichtung

zum Messen eines elektrischen Wechselstromes I in einem Stromleiter 2 mit einem dem Stromleiter 2 zugeordneten Faraday-Element 3' als Sensorelement dargestellt.

- 5 Linear polarisiertes Meßlicht L einer linear polarisierten Lichtquelle 4 wird über einen vorzugsweise polarisations-erhaltenden Lichtleiter 34 in das Faraday-Element 3' eingekoppelt, nach wenigstens einem Durchlauf durch das Faraday-Element 3' aus dem Faraday-Element 3' wieder ausgekoppelt und
10 über einen vorzugsweise polarisationserhaltenden Lichtleiter 37 dem Analysator 7 zugeführt. Die Übertragung des ausgekoppelten Meßlichts vom Faraday-Element 3' zum Analysator 7 kann aber auch über eine Freistrahlanordnung erfolgen. Das ausgekoppelte Meßlicht weist eine aufgrund des Faraday-Effekts um
15 einen nicht dargestellten Meßwinkel α gedrehte Polarisation auf. Der Meßwinkel α ist dabei abhängig von einem Wechselstrom I in dem Stromleiter 2.

- In der dargestellten Ausführungsform gemäß FIG. 6 ist das
20 Faraday-Element 3' mit einem Lichtleiter, vorzugsweise einer optischen Faser, gebildet, der den Stromleiter 2 in einer Meßwicklung mit wenigstens einer Meßwindung umgibt. Der Lichtleiter des Faraday-Elements 3' ist mit dem Lichtleiter 34 zum Zuführen des Meßlichts L und mit dem Lichtleiter 37
25 zum Abführen des Meßlichts L vorzugsweise jeweils über einen Spleiß 35 bzw. 39 verbunden.

- Als Faraday-Element 3' können jedoch auch ein oder mehrere massive Körper aus einem Faraday-Material, der bzw. die einen
30 vorzugsweise den Stromleiter 2 umgebenden Lichtpfad für das Meßlicht bilden, vorgesehen sein, vorzugsweise ein Glasring. Das Faraday-Element 3' muß den Stromleiter 2 nicht in einem geschlossenen Lichtpfad umgeben, sondern kann auch nur in räumliche Nähe neben dem Stromleiter 2 angeordnet sein. Au-
35 ßerdem ist neben der dargestellten Ausführungsform vom Transmissionstyp, bei der das Meßlicht das Faraday-Element 3' nur

in einer Richtung durchläuft, auch eine Ausführungsform vom Reflexionstyp möglich, bei der das Meßlicht L nach einem ersten Durchlauf in das Faraday-Element 3' zurückreflektiert wird und das Faraday-Element 3' ein zweites Mal in umgekehrter Richtung durchläuft.

Das aus dem Faraday-Element 3' ausgekoppelte Licht wird von dem Analysator 7 in zwei linear polarisierte Lichtsignale LS1 und LS2 mit verschiedenen und vorzugsweise senkrecht zueinander gerichteten Polarisationssebenen aufgespalten. Dazu ist als Analysator 7 vorzugsweise ein polarisierender Strahlteiler wie beispielsweise ein Wollaston-Prisma vorgesehen. Es können für diese Funktion allerdings auch zwei um einen entsprechenden Winkel und vorzugsweise um 90° gekreuzte Polfilter und ein einfacher Strahlteiler vorgesehen sein.

Die beiden Lichtsignale LS1 und LS2 werden dann in zugeordneten optoelektrischen Wandlern 12 bzw. 22, für die vorzugsweise in Verstärkerkreise geschaltete Photodioden vorgesehen sind, in elektrische Intensitätssignale S1 bzw. S2 umgewandelt, die ein Maß für die Lichtintensitäten der jeweiligen Lichtsignale LS1 bzw. LS2 sind.

Die elektrischen Intensitätssignale S1 und S2 werden nun der Normierungseinheit 30 zugeführt, die vorzugsweise wie in FIG. 2 dargestellt aufgebaut ist. An einem Ausgang der Normierungseinheit 30 steht das intensitätsnormierte Signal $P = (S1 - S2) / (S1 + S2)$ an. Dieses intensitätsnormierte Signal P ist intensitätsschwankungskompensiert, d.h. Schwankungen in den Lichtintensitäten insbesondere durch Mikrobiegeverluste in den Lichtleitern infolge von Vibrationen oder sonstigen mechanischen Einwirkungen und durch Schwankungen der Intensität der Lichtquelle 4 sind praktisch eliminiert.

Um nun auch eine Temperaturkompensation vorzunehmen, wird das intensitätsnormierte Signal P von dem Filter 40 in seinen

Wechselsignalanteil PAC und seinen Gleichsignalanteil PDC zerlegt. Dazu sind wieder wie in der Ausführungsform gemäß FIG. 3 das Tiefpaßfilter 47 und der Subtrahierer 41 vorgesehen. Es können natürlich auch andere Ausführungsformen des
5 Filters 40 verwendet werden.

Der Wechselsignalanteil PAC und der Gleichsignalanteil PDC werden nun der Recheneinheit 50 zugeführt. Die dargestellte
10 Recheneinheit 50 entspricht der vorteilhaften Ausführungsform gemäß FIG. 5 und der Gleichung (3), ist aber nicht auf diese Ausführungsform beschränkt und kann beispielsweise auch gemäß FIG. 4 und Gleichung (2) oder zum Herleiten eines Meßsignals S gemäß Gleichung (1) ausgebildet sein. Als Meßsignal S für
15 den elektrischen Wechselstrom I wird in der dargestellten Ausführungsform somit der Quotient $PAC/(K \cdot PDC + 1)$ herangezogen.

Die Abhängigkeit des Meßsignals S von der Temperatur kann
20 durch geeignete Wahl des Korrekturfaktors K minimiert werden. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform werden dazu der nicht dargestellte Einkoppelwinkel η der Polarisations-ebene des in das Faraday-Element 3' eingekoppelten linear polarisierten Meßlichts L zu einer Eigenachse der linearen
25 Doppelbrechung des Faraday-Elements 3' und der ebenfalls nicht dargestellte Auskoppelwinkel θ zwischen dieser Eigenachse und einer Eigenachse des Analysators 7 sowie der Korrekturfaktor K so eingestellt, daß wenigstens annähernd die Bedingungen erfüllt sind:

30

$$\cos(2\theta + 2\eta) = -2/(3 \cdot K) \quad (4a)$$

$$\sin(2\theta - 2\eta) = 1 \quad (4b).$$

Eine Eigenachse eines doppelbrechenden Materials ist dabei
35 durch den Polarisationszustand definiert, der das Material unverändert wieder verläßt. Mögliche Winkelwerte als Lösungen

der genannten Gleichungen (4a) und (4b) sind beispielsweise $\eta = 10,45^\circ$ und $\theta = 55,45^\circ$ für $K=2$. Abweichungen von den die genannten Bedingungen (4a) und (4b) exakt erfüllenden Winkelwerten sind insbesondere bei großer linearer und/oder zirkularer Doppelbrechung im Faraday-Element 3' möglich und können bis zu etwa 5° betragen.

Rechnungen ergaben, daß bei derart in Abhängigkeit vom Korrekturfaktor K gewählten Einkoppelwinkel η und Auskoppelwinkel θ das Meßsignal S eine besonders einfache Abhängigkeit von dem Faraday-Drehwinkel oder Meßwinkel α aufweist. Es gilt nämlich dann in guter Näherung die Beziehung

$$S = \sin(2 \cdot \alpha) \quad (5).$$

Dieses Meßsignal S entspricht dem theoretischen Meßsignal für den Meßwinkel α ohne Doppelbrechungseffekte. Dadurch wird das Auswerteverfahren besonders einfach. Bei vorgegebenen Einkoppel- und Auskoppelwinkeln η bzw. θ ist der Korrekturfaktor K gerade so einzustellen, daß das Meßsignal S der Meßvorrichtung dem Meßsignal bei nicht vorhandener Doppelbrechung entspricht. Mit diesem Korrekturfaktor K ist die Meßvorrichtung dann auf minimale Temperaturdrift justiert.

Legt man der Berechnung des Meßsignals S dagegen die beispielsweise mit einer Recheneinheit 50 gemäß FIG. 4 durchführbare Vorschrift $S = \text{PAC}/(\text{PDC} + K' \cdot 1)$ gemäß Gleichung (2) zugrunde, so lauten die Beziehungen zwischen dem Korrekturfaktor K' und dem Einkoppelwinkel η sowie dem Auskoppelwinkel θ wie folgt:

$$\cos(2 \cdot \theta + 2 \cdot \eta) = -(2/3) \cdot K' \quad (6a)$$

$$\sin(2 \cdot \theta - 2 \cdot \eta) = 1 \quad (6b).$$

Mit gemäß diesen Gleichungen (6a) und (6b) eingestellten Winkeln η und θ in Abhängigkeit vom Korrekturfaktor K' erhält

man als Meßsignal

$$S = (1/K') \cdot \sin(2 \cdot \alpha) \quad (7),$$

- 5 das dem theoretischen Meßsignal $\sin(2 \cdot \alpha)$ ohne Doppelbrechung bis auf eine Skalierung mit dem Faktor $1/K'$ entspricht.

Mögliche Winkelwerte als Lösungen der genannten Gleichungen (6a) und (6b) sind beispielsweise $\eta = 10,45^\circ$ und $\theta = 55,45^\circ$
10 für $K' = 1$. Abweichungen von den die Bedingungen (6a) und (6b) exakt erfüllenden Winkelwerten sind insbesondere bei großer linearer und/oder zirkularer Doppelbrechung im Faraday-Element 3' möglich und können bis zu etwa 5° betragen.

15 FIG. 7 zeigt eine Ausführungsform einer Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung U als Wechselgröße X mit einem Pockels-Element 3''. Die zu messende Wechselspannung U ist über zwei Elektroden 35 und 36 an das Pockels-Element 3'' anlegbar. In das Pockels-Element 3'' wird polari-
20 siertes Meßlicht L eingekoppelt. Dieses Meßlicht L durchläuft das Pockels-Element 3'' und erfährt dabei eine von der angelegten Wechselspannung U abhängige Änderung seiner Polarisierung. Die Wechselspannung U wird in der dargestellten Ausführungsform senkrecht zur Lichtausbreitungsrichtung des Meß-
25 lights L angelegt (transversale Ausführungsform), kann aber auch parallel zur Lichtausbreitungsrichtung angelegt werden (longitudinale Ausführungsform). Als Mittel zum Einkoppeln des Meßlichtes L in das Pockels-Element 3'' sind eine Licht-
30 quelle 4, beispielsweise eine Leuchtdiode, und ein Polarisator 5 zum linearen Polarisieren des Lichts der Lichtquelle 4 vorgesehen. Die Lichtquelle 4 und der Polarisator 5 sind vorzugsweise über einen Lichtleiter 43, beispielsweise eine Multimode-Lichtfaser, optisch miteinander verbunden, können aber auch durch eine Freistrahlskopplung optisch miteinander ge-
35 koppelt sein. Zum Einkoppeln des Lichts aus dem Lichtleiter 43 in den Polarisator 5 ist vorzugsweise eine Kollimatorlinse

(Grin lens) 25 vorgesehen. Aus dem Polarisator 5 wird das nun linear polarisierte Meßlicht L in das Pockels-Element 3'' eingekoppelt. Nach Durchlaufen des Pockels-Elements 3 wird das Meßlicht L über ein $\lambda/4$ -Plättchen 6 dem Analysator 7 zugeführt. In dem Analysator 7 wird das Meßlicht L in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale LS1 und LS2 zerlegt, deren Polarisations Ebenen verschieden voneinander sind. Vorzugsweise sind die Polarisations Ebenen der beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 senkrecht zueinander gerichtet (orthogonale Zerlegung). Als Analysator 7 können ein polarisierender Strahlteiler, beispielsweise ein Wollaston-Prisma, oder auch zwei um einen vorgegebenen Winkel, vorzugsweise 90°, gekreuzte Polarisationsfilter und ein einfacher Strahlteiler vorgesehen sein.

Die beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 werden vorzugsweise über jeweils eine Kollimatorlinse 11 bzw. 21 in jeweils einen Lichtleiter 10 bzw. 20 eingekoppelt und über diesen Lichtleiter 10 bzw. 20 jeweils dem zugehörigen photoelektrischen Wandler 12 bzw. 22 zugeführt. In den Wandlern 12 und 22 werden die beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 jeweils in ein elektrisches Intensitätssignal S1 bzw. S2 umgewandelt, das ein Maß für die Intensität des zugehörigen Lichtteilsignals LS1 bzw. LS2 ist. Diese beiden Intensitätssignale S1 bzw. S2 werden Eingängen einer Normierungseinheit 30 zugeführt. Die Normierungseinheit 30 bildet aus den beiden elektrischen Intensitätssignalen S1 und S2 ein intensitätsnormiertes Signal $P = (S1 - S2)/(S1 + S2)$, das dem Quotienten aus der Differenz und der Summe der beiden Intensitätssignale S1 und S2 entspricht. Dieses intensitätsnormierte Signal P ist im wesentlichen unabhängig von Intensitätsschwankungen der Lichtquelle 4 oder Intensitätsverlusten in den Übertragungswegen.

Der Arbeitspunkt der Meßvorrichtung wird vorzugsweise so eingestellt, daß am Analysator 7 zirkular polarisiertes Meßlicht

anliegt, wenn am Pockels-Element 3'' kein elektrisches Feld anliegt. Die beiden Eigenachsen der linearen Doppelbrechung im Pockels-Element 3'' sind in diesem Fall vom Meßlicht L "gleichmäßig ausgeleuchtet". Das bedeutet, daß die auf die
5 beiden Eigenachsen projizierten Komponenten des Meßlichts L jeweils die gleiche Intensität aufweisen. Im allgemeinen sind dann die beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 ebenfalls gleich stark in ihrer Intensität und das intensitätsnormierte Signal P ist gleich Null für $U = 0$ V. Bei Anlegen einer Wechsel-
10 spannung $U \neq 0$ V an das Pockels-Element 3'' werden die Komponenten des Meßlichts L entlang der elektrooptisch aktiven Eigenachsen der linearen Doppelbrechung des Pockels-Elements 3'' in ihrer Intensität in Abhängigkeit von der Wechselspannung U geändert.

15 Eine solche Änderung der Polarisierung des Meßlichts L wird jedoch auch verursacht durch eine Änderung der Temperatur im Pockels-Element 3'' oder auch dem $\lambda/4$ -Plättchen 6 und einer damit bewirkten temperaturabhängigen linearen Doppelbrechung.
20 Temperaturänderungen führen somit zu einer Verschiebung des Arbeitspunktes der Meßvorrichtung. Diese temperaturabhängige Arbeitspunktdrift wird nun durch das bereits beschriebene Temperaturkompensationsverfahren mit Hilfe des Filters 40 und der Recheneinheit 50 weitgehend kompensiert.

25 Das an einem Ausgang der Normierungseinheit 30 anstehende intensitätsnormierte Signal P wird dazu einem Eingang des Filters 40 zugeführt. Das Filter 40 zerlegt das intensitätsnormierte Signal P in seinen Wechselsignalanteil PAC und seinen Gleichsignalanteil PDC, die jeweils an einem Ausgang des
30 Filters 40 anliegen. Dieser Wechselsignalanteil PAC und dieser Gleichsignalanteil PDC werden nun jeweils einem Eingang der Recheneinheit 50 zugeführt. Die Recheneinheit 50 bildet aus dem Wechselsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil
35 PDC ein Meßsignal S gemäß der Vorschrift

$$S = (a * PAC + b * \underline{1}) / (c * PDC + d * \underline{1}),$$

wobei a , b , c und d reelle Koeffizienten sind mit $a \neq 0$,
 $c \neq 0$ und $d \neq 0$ und $\underline{1}$ ein Einheitssignal ist.

Durch die Intensitätssnormierung in der Normierungseinheit 30
5 und die anschließende Temperaturkompensation mit Hilfe des
Filters 40 und der Recheneinheit 50 wird somit ein Meßsignal
 S für die elektrische Wechselspannung U erhalten, das sowohl
von Intensitätsschwankungen als auch von Temperatureinflüssen
weitgehend befreit ist.

10

Anstelle der in FIG. 7 dargestellten optischen Reihenschalt-
tung des Polarisators 5, des Pockels-Elements 3'', des $\lambda/4$ -
Plättchens 6 und des Analysators 7 kann auch eine optische
Reihenschaltung aus dem Polarisator 5, dem $\lambda/4$ -Plättchen 6,
15 dem Pockels-Element 3'' und dem Analysator 7 vorgesehen sein,
also die Reihenfolge des $\lambda/4$ -Plättchens 6 und des Pockels-
Elements 3'' gerade vertauscht sein. In diesem Fall wird das
Meßlicht L vor dem Einkoppeln in das Pockels-Element 3'' zir-
kular polarisiert.

20

Außerdem kann anstelle der Lichtquelle 4 und des Polarisators
5 auch eine Lichtquelle zum Senden linear polarisierten
Lichts wie beispielsweise eine Laserdiode vorgesehen sein zum
Einkoppeln von polarisiertem Meßlicht L in das Pockels-Ele-
25 ment 3'' bzw. das $\lambda/4$ -Plättchen 6. Der Lichtleiter 43 ist
dann vorzugsweise ein polarisationserhaltender Lichtleiter.

Die Übertragung der Lichtteilsignale $LS1$ bzw. $LS2$ kann ferner
auch in einer Freistrahlanordnung erfolgen. Der Analysator 7
30 kann überdies mit dem $\lambda/4$ -Plättchen 6 bzw. dem Pockels-
Element 3'' über einen polarisationserhaltenden Lichtleiter
optisch verbunden sein.

Die FIG. 8 zeigt in einem Diagramm gemessene Kurven zur Tem-
35 peraturabhängigkeit des Meßsignals S und des unkompensierten
Signals P . Es ist der Meßfehler $\epsilon = \epsilon(T)$ als Funktion der

Temperatur T aufgetragen. Die einzelnen Punkte entsprechen gemessenen Werten. Die mit ϵ_p bezeichnete Kurve entspricht dem Meßfehler in Abhängigkeit von der Temperatur beim noch nicht temperaturkompensierten Signal P. Man erkennt die näherungsweise lineare Zunahme des Meßfehlers mit steigender Temperatur. Die mit ϵ_s bezeichnete Meßkurve entspricht dem Meßfehler in Abhängigkeit von der Temperatur beim temperaturkompensierten Meßsignal S. Der Meßfehler ist demnach im wesentlichen konstant über der Temperatur. Die gezeigten Meßwerte wurden mit einer Vorrichtung gemäß FIG. 6 zum Messen eines elektrischen Wechselstromes gemessen.

Das Meßsignal S kann außer mit Hilfe einer der Formeln (1), (2) oder (3) in einer nicht dargestellten Ausführungsform auch mit Hilfe einer vorab ermittelten und in wenigstens einem Speicher abgelegten Wertetabelle oder einer vorab ermittelten, gespeicherten Eichfunktion aus dem Wechsel-signalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC des intensitätsnormierten Signals P abgeleitet werden. Jedem Wertepaar für den Wechselsignalanteil PAC und den Gleichsignalanteil PDC wird mit Hilfe der Wertetabelle oder der Eichfunktion das Meßsignal S als Funktion $F(PAC, PDC)$ des Wechselsignalanteils PAC und des Gleichsignalanteils PDC zugeordnet. Für zwischen den gespeicherten Werten liegende aktuelle Signale PAC und PDC wird dabei in gängiger Art und Weise interpoliert. Die zugehörige Funktion $F(PAC, PDC)$ kann experimentell ermittelt werden oder theoretisch angenähert werden.

In einer besonderen Ausführungsform wird als Funktion $F(PAC, PDC)$ für das Meßsignal S das Produkt $PAC \cdot f(PDC)$ aus dem Wechselsignalanteil PAC und einer Funktion $f(PDC)$ nur des Gleichsignalanteils PDC verwendet. Die Funktion $f(PDC)$ kann dabei zur Reduktion der Zahl der erforderlichen Eichmessungen auch durch eine lineare oder quadratische Funktion des Gleichsignalanteils PDC als Fit-Funktion mit entsprechend angepassten Koeffizienten angenähert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen einer elektrischen Wechselgröße (X) mit folgenden Merkmalen:

- 5 a) es wird polarisiertes Meßlicht (L) in ein unter dem Einfluß der elektrischen Wechselgröße (X) stehendes Sensorelement (3) eingekoppelt, und die Polarisation des Meßlichts (L) wird beim Durchlaufen des Sensorelements (3) in Abhängigkeit von der elektrischen Wechselgröße (X) ge-
10 ändert;
b) das Meßlicht (L) wird nach Durchlaufen des Sensorelements (3) in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale (LS1 und LS2) mit unterschiedlichen Polarisationssebenen aufgeteilt;
c) die beiden Lichtteilsignale (LS1 und LS2) werden jeweils
15 in ein elektrisches Intensitätssignal S1 bzw. S2 umgewandelt;
d) aus diesen beiden elektrischen Intensitätssignalen S1 und S2 wird ein intensitätsnormiertes Signal
$$P = (S1-S2)/(S1+S2)$$

20 abgeleitet;
e) dieses intensitätsnormierte Signal P wird in seinen Wechselsignalanteil PAC und seinen Gleichsignalanteil PDC zerlegt;
f) aus dem Wechselsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil
25 PDC des intensitätsnormierten Signals P wird ein weitgehend temperaturkompensiertes Meßsignal S für die elektrische Wechselgröße (X) abgeleitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Meßsignal S aus dem
30 Wechselsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC des intensitätsnormierten Signals P gemäß der Vorschrift

$$S = (a \cdot PAC + b \cdot \underline{1}) / (c \cdot PDC + d \cdot \underline{1})$$

abgeleitet wird, wobei a, b, c und d reelle Koeffizienten sind mit $a \neq 0$, $c \neq 0$ und $d \neq 0$ und $\underline{1}$ ein Einheitssignal ist, das
35 betragsmäßig gleich dem intensitätsnormierten Signal P ist,

wenn eines der beiden Intensitätssignale S1 oder S2 verschwindet.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Koeffizienten a, b, c und d so eingestellt werden, daß die Temperaturabhängigkeit des Meßsignals S zumindest annähernd minimal ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, bei dem die Koeffizienten a, b, c und d im wesentlichen gemäß folgender Vorschrift eingestellt werden: $a=1$, $b=0$, $c=K$ und $d=1$, wobei K ein reeller Korrekturfaktor ist.
5. Verfahren nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, bei dem die Koeffizienten a, b, c und d gemäß folgender Vorschrift eingestellt werden: $a=1$, $b=0$, $c=1$ und $d=K'$, wobei K' ein reeller Korrekturfaktor ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Meßsignal S aus dem Wechelsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC des intensitätsnormierten Signals P mit Hilfe einer vorab ermittelten Wertetabelle oder Eichfunktion abgeleitet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zum Messen einer elektrischen Wechselspannung (U) oder eines elektrischen Wechselfeldes, bei dem als Sensorelement ein Pockels-Element (3'') verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zum Messen eines elektrischen Wechselstromes (I) in einem Stromleiter (2), bei dem als Sensorelement ein dem Stromleiter (2) zugeordnetes Faraday-Element (3') verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem linear polarisiertes Meßlicht (L) verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem zirkular polarisiertes Meßlicht (L) verwendet wird.

11. Verfahren nach den Ansprüchen 4, 8 und 9, bei dem der
5 Korrekturfaktor K und der Einkoppelwinkel η der Polarisations-
ebene des in das Faraday-Element (3') eingekoppelten
Meßlichts (L) zu einer Eigenachse der linearen Doppelbrechung
in dem Faraday-Element (3') sowie der Auskoppelwinkel θ zwischen
dieser Eigenachse der linearen Doppelbrechung und einer
10 Eigenachse eines zum Aufteilen des Meßlichts (L) in die beiden
Lichtteilsignale (LS1 und LS2) vorgesehenen Analysators
(7) derart eingestellt werden, daß sie wenigstens annähernd
die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$\begin{aligned} \cos(2\theta + 2\eta) &= -2/(3K) \\ 15 \quad \sin(2\theta - 2\eta) &= 1 \end{aligned}$$

12. Verfahren nach den Ansprüchen 5, 8 und 9, bei dem der
Korrekturfaktor K' und der Einkoppelwinkel η der Polarisations-
ebene des in das Faraday-Element (3') eingekoppelten Meß-
20 lights (L) zu einer Eigenachse der linearen Doppelbrechung in
dem Faraday-Element (3') sowie der Auskoppelwinkel θ zwischen
dieser Eigenachse der linearen Doppelbrechung und einer
Eigenachse eines zum Aufteilen des Meßlichts (L) in die beiden
Lichtteilsignale (LS1 und LS2) vorgesehenen Analysators
25 (7) derart eingestellt werden, daß sie wenigstens annähernd
die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$\begin{aligned} \cos(2\theta + 2\eta) &= -(2/3) \cdot K' \\ \sin(2\theta - 2\eta) &= 1 \end{aligned}$$

30 13. Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselgröße
(X) mit folgenden Merkmalen:

a) es sind Mittel (4,5) vorgesehen zum Einkoppeln polarisier-
ten Meßlichts (L) in ein unter dem Einfluß der elektrischen
Wechselgröße (X) stehendes optisches Sensorelement
35 (3), in dem die Polarisierung des Meßlichts (L) in Abhän-

gigkeit von der elektrischen Wechselgröße (X) geändert wird;

- b) es sind Mittel (7) zum Aufteilen des Meßlichts (L) nach Durchlaufen des Sensorelements (3) in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale (LS1 und LS2) mit unterschiedlichen Polarisationssebenen vorgesehen;
- c) es sind Mittel (12 und 22) zum Umwandeln der beiden Lichtteilsignale (LS1 und LS2) in jeweils ein elektrisches Intensitätssignal S1 bzw. S2 vorgesehen;
- d) es sind Mittel (30) vorgesehen zum Ableiten eines intensitätsnormierten Signals $P = (S1-S2)/(S1+S2)$ aus den beiden elektrischen Intensitätssignalen S1 und S2;
- e) es sind Mittel (40) zum Zerlegen dieses intensitätsnormierten Signals P in seinen Wechselsignalanteil PAC und seinen Gleichsignalanteil PDC vorgesehen;
- f) es sind Mittel (50) zum Ableiten eines Meßsignals S für die elektrische Wechselgröße (X) aus dem Wechselsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC des intensitätsnormierten Signals P vorgesehen.

20

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, bei der die Mittel zum Ableiten des Meßsignals S aus dem Wechselsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC des intensitätsnormierten Signals P eine Recheneinheit (50) umfassen, die das Meßsignal S gemäß der Vorschrift

25

$$S = (a \cdot PAC + b \cdot \underline{1}) / (c \cdot PDC + d \cdot \underline{1})$$

- ermittelt, wobei a, b, c und d reelle Koeffizienten sind mit $a \neq 0$, $c \neq 0$ und $d \neq 0$ und $\underline{1}$ ein Einheitssignal ist, das betragsmäßig gleich dem intensitätsnormierten Signal P ist, wenn eines der beiden Intensitätssignale S1 oder S2 verschwindet.

30

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, bei der die Koeffizienten a, b, c und d so eingestellt sind, daß die Temperaturabhängigkeit des Meßsignals S zumindest annähernd minimal ist.

35

30

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder Anspruch 15, bei der die Koeffizienten a , b , c und d gemäß folgender Vorschrift eingestellt sind: $a=1$, $b=0$, $c=K$ und $d=1$, wobei K ein reeller Korrekturfaktor ist.

5

17. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder Anspruch 15, bei der die Koeffizienten a , b , c und d gemäß folgender Vorschrift eingestellt sind: $a=1$, $b=0$, $c=1$ und $d=K'$, wobei K' ein reeller Korrekturfaktor ist.

10

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 17 zum Messen einer elektrischen Wechselspannung (U) oder eines elektrischen Wechselfeldes, bei der als Sensorelement ein Pockels-Element ($3''$) vorgesehen ist.

15

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 17 zum Messen eines elektrischen Wechselstromes (I), bei der als Sensorelement ein Faraday-Element ($3'$) vorgesehen ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 18, bei der die Mittel (4,5,6) zum Einkoppeln zirkular polarisiertes Meßlicht (L) in das Sensorelement (3) einkoppeln.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 19, bei der die Mittel (4,5) zum Einkoppeln linear polarisiertes Meßlicht (L) in das Sensorelement (3) einkoppeln.

22. Vorrichtung nach den Ansprüchen 16, 19 und 21, bei der der Korrekturfaktor K und der Einkoppelwinkel η der Polarisationssebene des in das Faraday-Element ($3'$) eingekoppelten Meßlichts (L) zu einer Eigenachse der linearen Doppelbrechung in dem Faraday-Element ($3'$) sowie der Auskoppelwinkel θ zwischen dieser Eigenachse der linearen Doppelbrechung und einer Eigenachse eines zum Aufteilen des Meßlichts (L) in die beiden Lichtteilsignale ($LS1$ und $LS2$) vorgesehenen Analysators

(7) derart eingestellt sind, daß sie wenigstens annähernd die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$\cos(2\theta + 2\eta) = - 2/(3K)$$

$$\sin(2\theta - 2\eta) = 1 .$$

5

23. Vorrichtung nach den Ansprüchen 17, 19 und 21, bei der der Korrekturfaktor K' und der Einkoppelwinkel η der Polarisationssebene des in das Faraday-Element (3') eingekoppelten Meßlichts (L) zu einer Eigenachse der linearen Doppelbrechung in dem Faraday-Element (3') sowie der Auskoppelwinkel θ zwischen dieser Eigenachse der linearen Doppelbrechung und einer Eigenachse eines zum Aufteilen des Meßlichts (L) in die beiden Lichtteilsignale (LS1 und LS2) vorgesehenen Analysators (7) derart eingestellt sind, daß sie wenigstens annähernd die folgenden Bedingungen erfüllen:

15

$$\cos(2\theta + 2\eta) = - (2/3) \cdot K'$$

$$\sin(2\theta - 2\eta) = 1 .$$

24. Vorrichtung nach Anspruch 13, bei der die Mittel zum Ableiten des Meßsignals S aus dem Wechselsignalanteil PAC und dem Gleichsignalanteil PDC des intensitätsnormierten Signals P wenigstens einen Speicher zum Speichern einer vorab ermittelten Wertetabelle oder Eichfunktion umfassen.

20

1/6

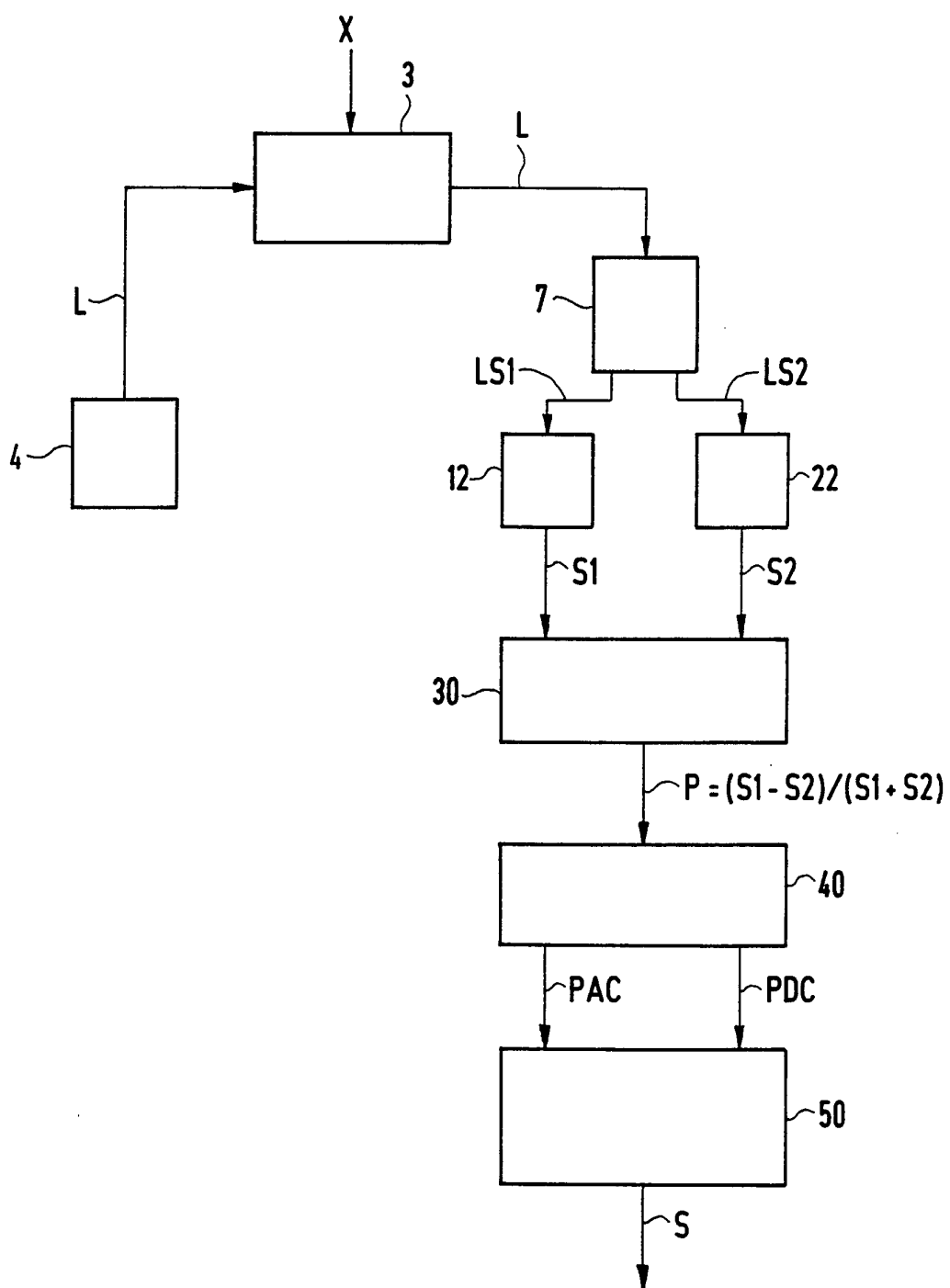


FIG 1

2/6

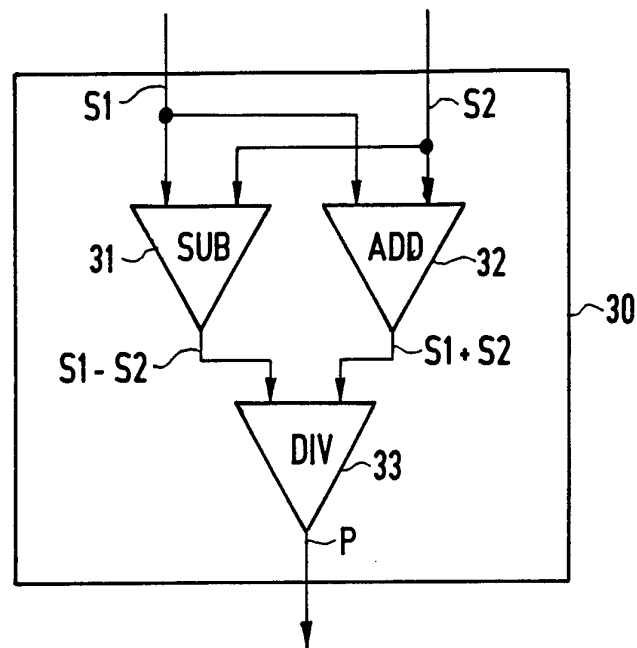


FIG 2

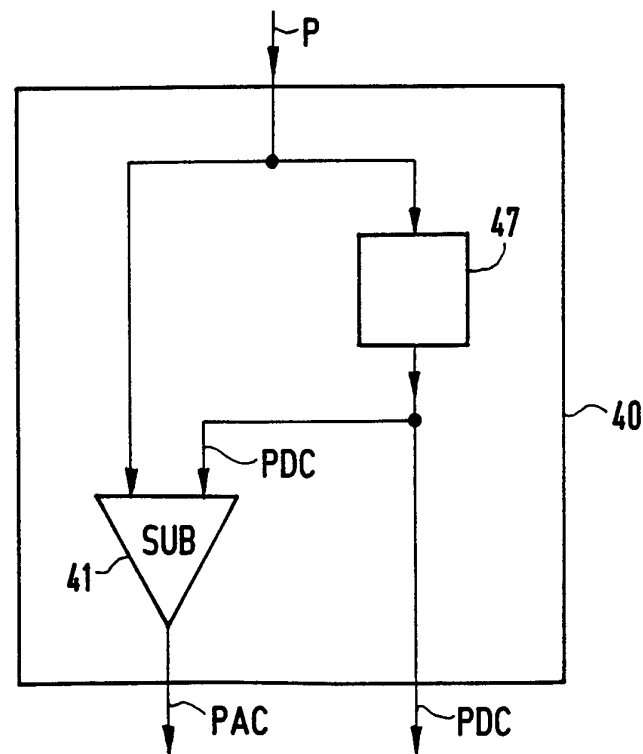


FIG 3

3/6

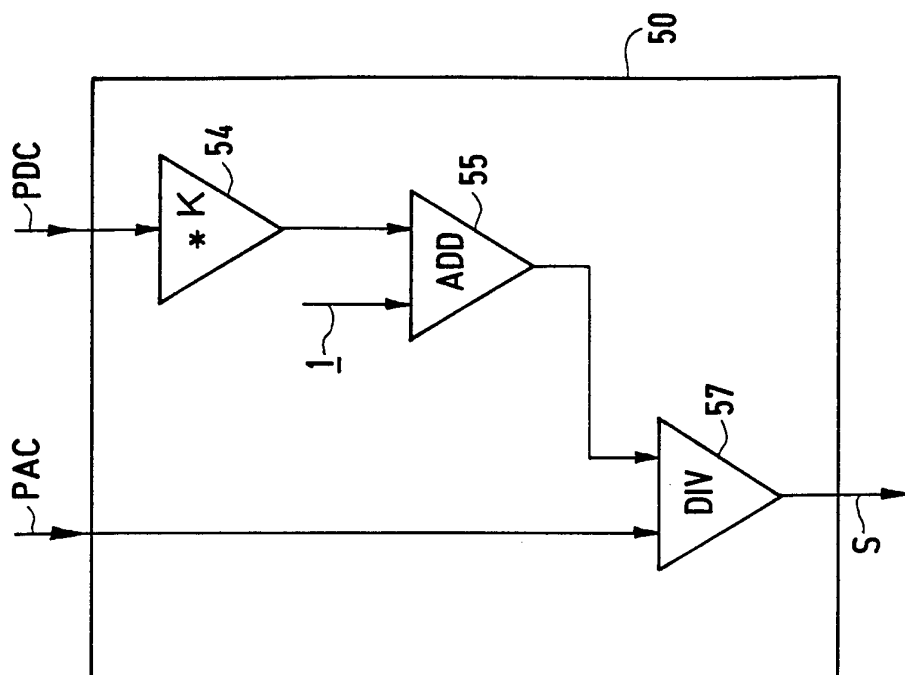


FIG 5

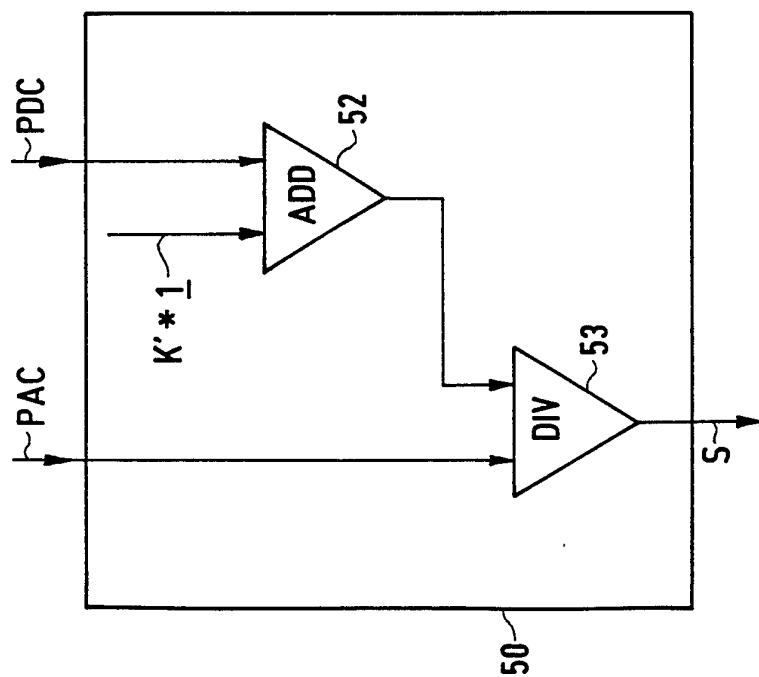


FIG 4

4/6

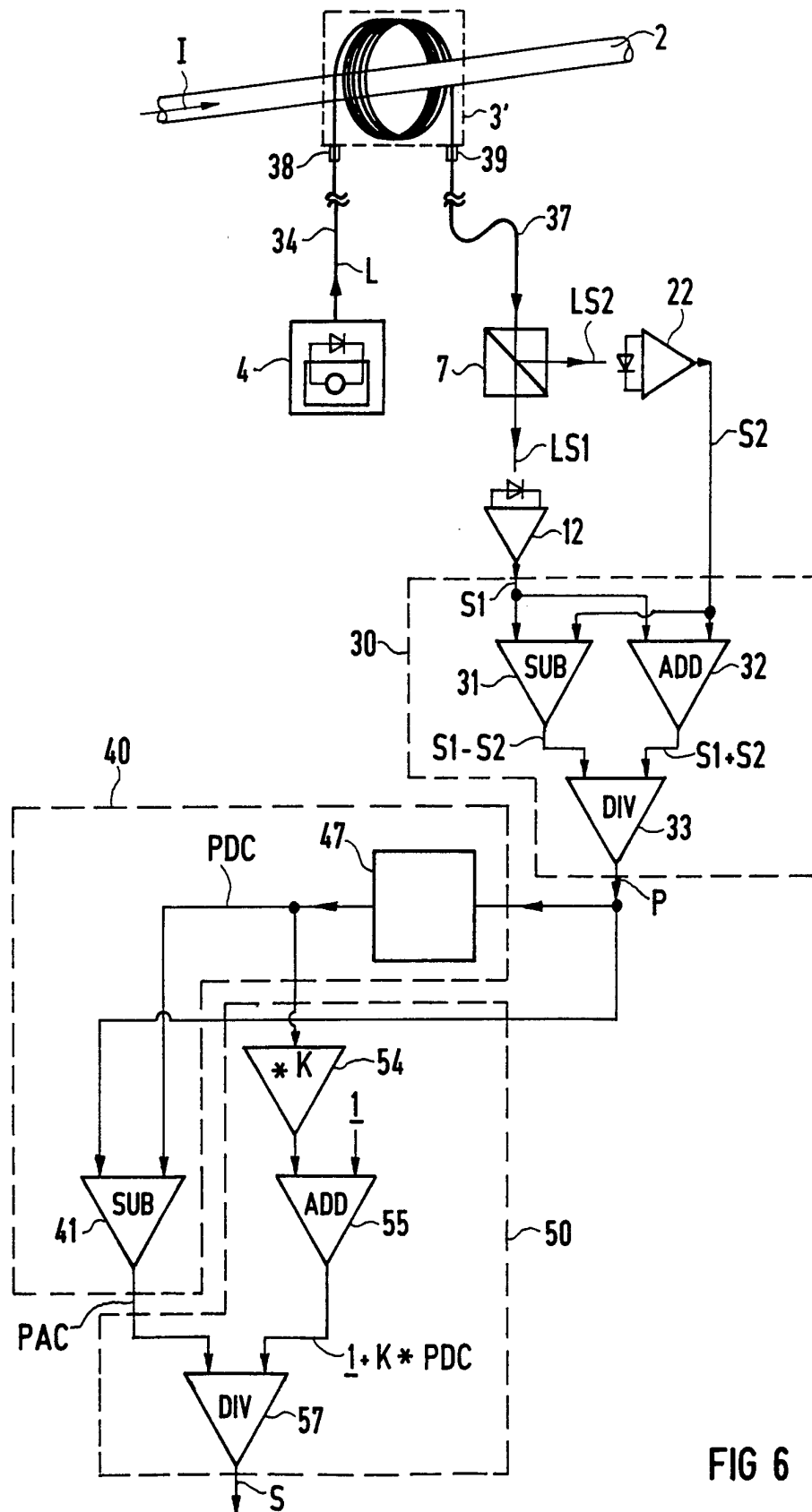


FIG 6

5/6

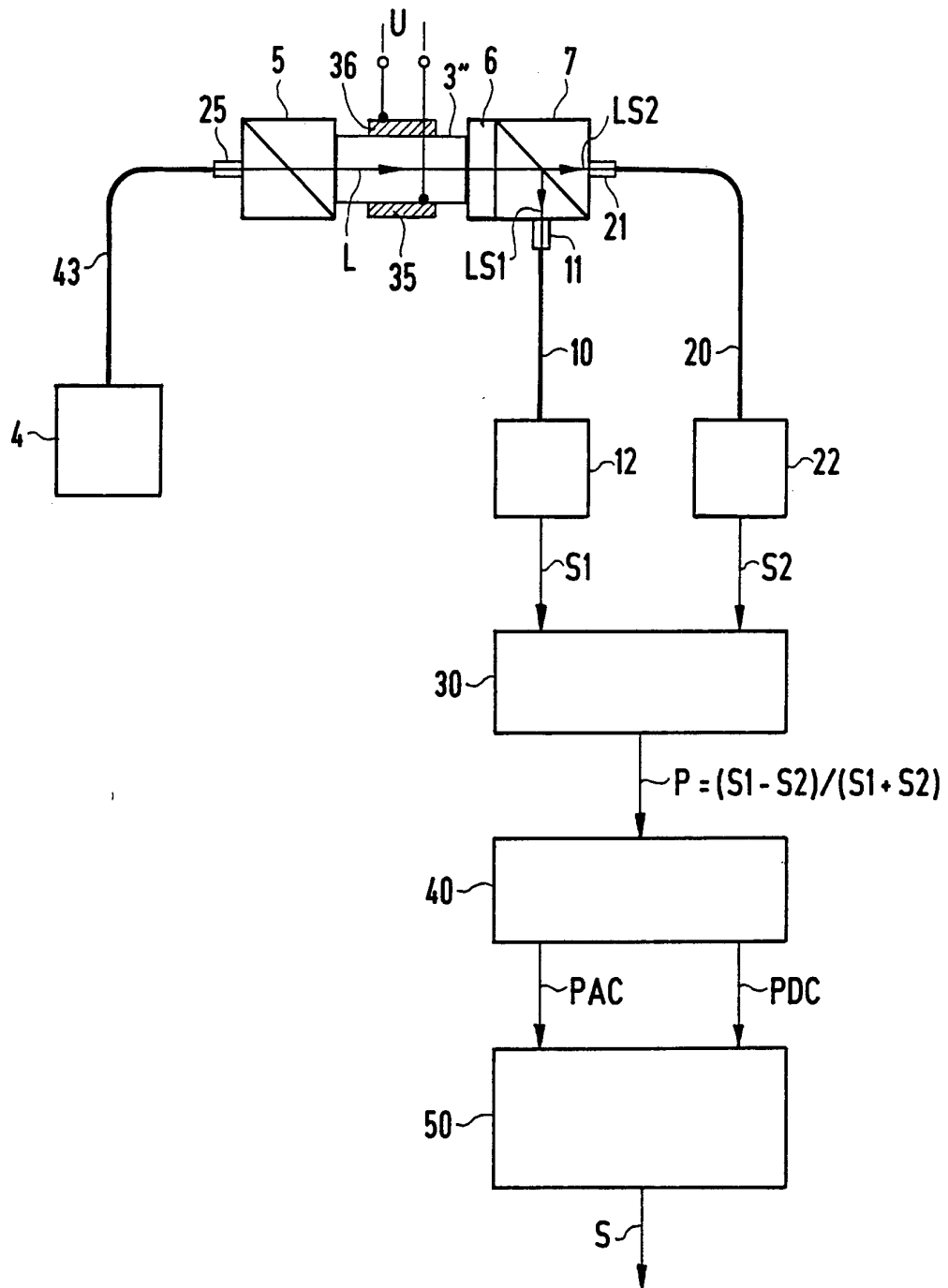


FIG 7

6/6

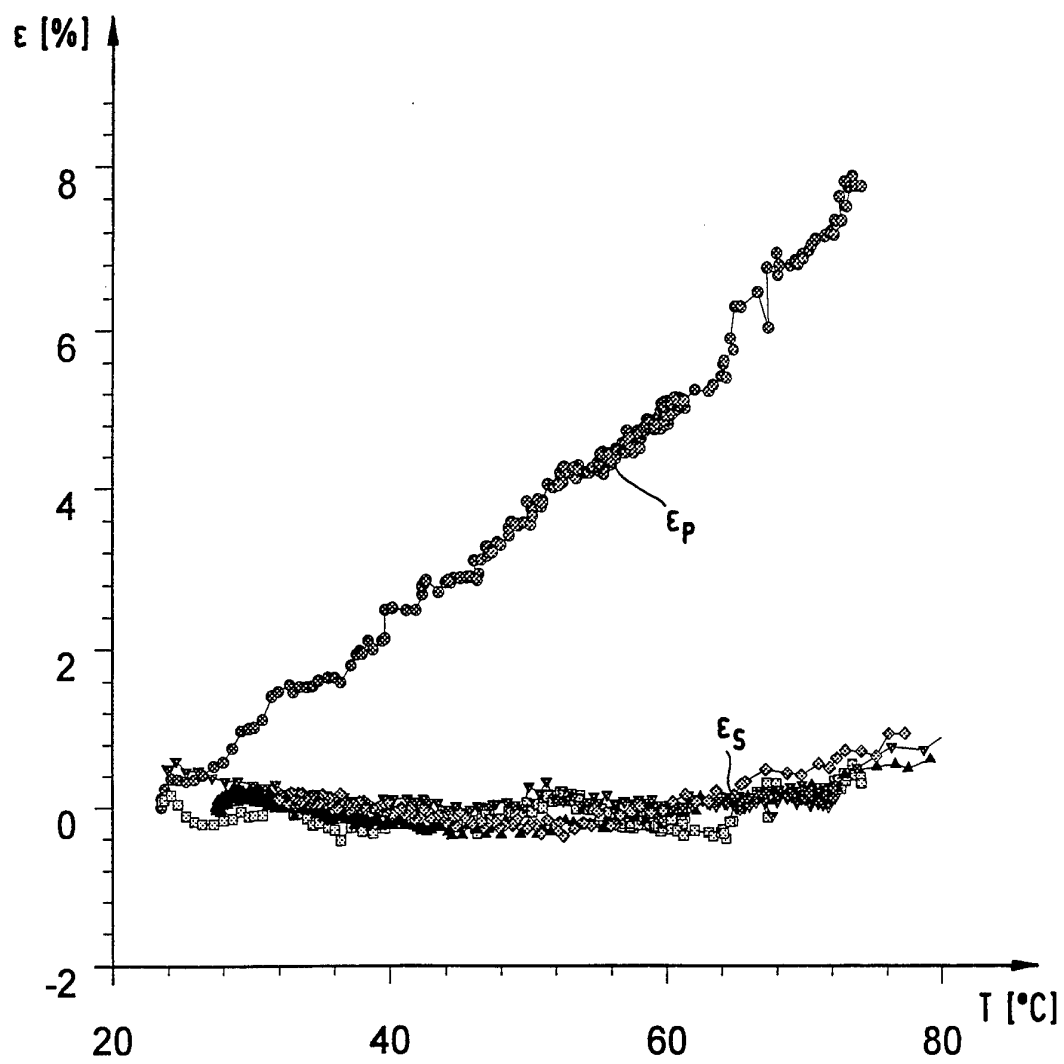


FIG 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Appl. No.
PCT/DE 94/01104

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01R15/24

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.
A	EP,A,0 088 419 (HITACHI) 14 September 1983 cited in the application see page 11, line 9 - line 12 see page 22, line 27 - page 24, line 20; figures 1,4,17,18 ---	1,13
A	US,A,4 973 899 (JONES ET AL.) 27 November 1990 see abstract; figures 1,3 ---	1,13
A	EP,A,0 108 671 (CEA) 16 May 1984 see abstract; figure 3 -----	1,13

☐ 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

16 December 1994

Date of mailing of the international search report

19.01.95

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

Iwansson, K

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. al Application No

PCT/DE 94/01104

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0088419	14-09-83	JP-C- 1742162	15-03-93
		JP-B- 2052827	14-11-90
		JP-A- 58153174	12-09-83
		JP-A- 59000659	05-01-84
		JP-A- 59035156	25-02-84
		US-A- 4564754	14-01-86

US-A-4973899	27-11-90	NONE	

EP-A-0108671	16-05-84	FR-A- 2535464	04-05-84
		US-A- 4563639	07-01-86

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 6 G01R15/24

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.
A	EP,A,0 088 419 (HITACHI) 14. September 1983 in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 11, Zeile 9 - Zeile 12 siehe Seite 22, Zeile 27 - Seite 24, Zeile 20; Abbildungen 1,4,17,18 ---	1,13
A	US,A,4 973 899 (JONES ET AL.) 27. November 1990 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1,3 ---	1,13
A	EP,A,0 108 671 (CEA) 16. Mai 1984 siehe Zusammenfassung; Abbildung 3 -----	1,13



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. Dezember 1994

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19. 01. 95

 Name und Postanschrift der Internationalen 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

Iwansson, K

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern. Aktenzeichen

PCT/DE 94/01104

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP-A-0088419	14-09-83	JP-C- 1742162	15-03-93
		JP-B- 2052827	14-11-90
		JP-A- 58153174	12-09-83
		JP-A- 59000659	05-01-84
		JP-A- 59035156	25-02-84
		US-A- 4564754	14-01-86

US-A-4973899	27-11-90	KEINE	

EP-A-0108671	16-05-84	FR-A- 2535464	04-05-84
		US-A- 4563639	07-01-86
