



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
 BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

CH 683460 A5

19

51 Int. Cl.⁵: G 01 R 15/07
 G 01 R 29/08
 G 02 F 1/01
 G 02 B 26/06

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
 Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 1291/92

73 Inhaber:
 Asea Brown Boveri AG, Baden

22 Anmeldungsdatum: 22.04.1992

30 Priorität(en): 02.05.1991 DE 4114253

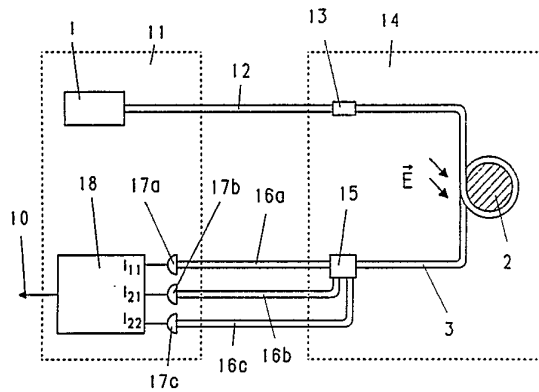
24 Patent erteilt: 15.03.1994

45 Patentschrift veröffentlicht: 15.03.1994

72 Erfinder:
 Bohnert, Klaus, Dr., Niederrohrdorf
 Fauth, Mathias, Dr., Baar

54 Faseroptischer Sensor.

57 Bei einem faseroptischen Sensor für elektrische Wechselfelder oder -spannungen wird die Interferenz in einer Zwei-Moden-Faser (3) auf passive Weise gemessen. Dazu werden am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser (3) die untereinander phasenverschobenen Nah- und Fernfeldsignale durch optische Mittel (15) getrennt, auf entsprechende Detektoren (17a, b, c) gegeben, und die entstehenden elektrischen Signale durch elektronische Mittel (18) ausgewertet.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

5 Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Faseroptik. Sie betrifft insbesondere einen faseroptischer Sensor für elektrische Wechselfelder bzw. -spannungen, umfassend

- (a) ein piezoelektrisches Sensorelement;
- 10 (b) eine optische Faser mit einem Eingangsende und einem Ausgangsende, welche optische Faser zumindest teilweise an dem Sensorelement so fixiert ist, dass eine Dimensionsänderung des Sensorelements in einem elektrischen Feld zu einer Längenänderung in der Faser führt; und
- (c) Mittel zum Messen der feldbedingten Längenänderung der Faser;

Ein solcher faseroptischer Sensor ist z.B. aus der EP-A1 0 316 619 bekannt.

15

STAND DER TECHNIK

In verschiedenen Druckschriften wie z.B. den Europäischen Patentanmeldungen EP-A1 0 316 619 und EP-A1 0 316 635 oder den Artikeln von K. Bohnert und J. Nehring in Appl. Opt. 27, S. 4814–4818 (1988), bzw. Opt. Lett. 14, S. 290–292 (1989), sind bereits faseroptische Sensoren zur Messung von elektrischen Feldern und Spannungen beschrieben worden.

Das dabei verwendete Messprinzip beruht auf dem inversen Piezoeffekt in Materialien mit ausgesuchter Kristallsymmetrie. Die zeitlich periodische Dimensionsänderung, die ein entsprechender piezoelektrische Körper in einem elektrischen Wechselfeld erfährt, wird auf eine an dem Körper fixierte Glasfaser übertragen. Die Längenänderung der Faser ist dann proportional zur Feld- bzw. Spannungsamplitude und wird interferometrisch gemessen und ausgewertet.

Für die interferometrische Messung können verschiedene Arten von Glasfaser-Interferometern eingesetzt werden. Aufgrund seiner Einfachheit ist von diesen Arten das aus dem Artikel von B. Y. Kim et al., Opt. Lett. 12, S.729–731 (1987), bekannte Zwei-Moden-Faser-Interferometer von besonderem Interesse. Die Parameter der Sensorfaser sind bei diesem Interferometer so gewählt, dass sich in der Faser genau zwei Moden (der LP_{01} -Grundmodus und der gerade LP_{11} -Modus) ausbreiten können.

Wie in Fig. 1A am Prinzip eines faseroptischen Feldsensors dargestellt, wird beim Zwei-Moden-Faser-Interferometer Licht aus einer kohärenten Lichtquelle 1, z.B. einer Laserdiode, durch eine Zwei-Moden-Faser 3 geschickt, welche an einem piezoelektrischen Sensorelement 2 für das elektrische Feld E fixiert ist. Am Faserende kann man dann ein Interferenzmuster beobachten, welches sich aus der Überlagerung dieser beiden Moden ergibt. Eine Längenänderung der Faser führt zu einer differentiellen Phasenverschiebung zwischen beiden Moden, die sich in einer entsprechenden Änderung des Interferenzmusters äussert. Fig. 1B zeigt solche Interferenzmuster für drei charakteristische Phasenunterschiede $n2\pi$, $(2n+1)(\pi/2)$ und $(2n+1)\pi$.

Die beiden nebeneinanderliegenden Substrukturen des Interferenzmusters (in Fig. 1B durch Halbellipsen angedeutet) werden mit zwei Detektoren 5a und 5b (z.B. in Form von Photodioden) detektiert. An deren Ausgang liegen zwei um 180° phasenverschobene Signale V_{11} und V_{12} vor:

$$(1) V_{11} = (1/2)V_0(1 + \cos\Phi(t))$$

45

$$(2) V_{12} = (1/2)V_0(1 - \cos\Phi(t))$$

mit $\Phi(t) = A\sin\Omega t + \Theta(t)$. Die Phasenverschiebung $\Phi(t)$ zwischen den beiden Moden setzt sich also zusammen aus einem durch das zu messende Wechselfeld hervorgerufenen zeitlich periodischen Anteil $A\sin\Omega t$ (A ist dabei proportional zur Amplitude des Feldes) und einem willkürlichen Phasenterm $\Theta(t)$, der sich z.B. infolge von temperaturbedingten Fluktuationen der Faserlänge ebenfalls zeitlich ändern kann. V_0 schliesslich ist proportional zur optischen Leistung und a ist ein Mass für den Interferenzkontrast.

Der gesuchte Term $A\sin\Omega t$ wird häufig mit einem Homodyn-Detektionsverfahren (Fig. 1C) aus den Ausgangssignalen der Detektoren 5a und 5b gewonnen (für einen faseroptischen Sensor mit Ein-Moden-Faser siehe dazu: D. A. Jackson et al., Appl.Opt. 19, S. 2926–2929 (1980); ein entsprechender faseroptischer Sensor mit Zwei-Moden-Faser ist in der älteren Europäischen Anmeldung Nr. 90 123 660.4 beschrieben). Bei diesem Verfahren wird die Sensorfaser (im dargestellten Beispiel der Fig. 1C die Zwei-Moden-Faser 3) zusätzlich über einen piezoelektrischen Modulator 4 geführt. Mit Hilfe dieses Modulators 4 wird die Phasendifferenz $\Phi(t)$ auf $+\pi/2$ oder $-\pi/2$ (modulo 2π) geregelt. Der Modulator 4 ist dazu Bestandteil eines aus den Detektoren 5a und 5b, einem Subtrahierer 7, einem Quadratur-Regler 8 und einer Rückkopplungsleitung 6 bestehenden Regelkreises, welcher die Differenzspannung

$$(3) V = V_{11} - V_{12} = V_0\cos\Phi(t)$$

65 entsprechend auf Null regelt.

Die beiden Anteile $A \sin \Omega t$ und $\Theta(t)$ der Phasenverschiebung werden also durch den Modulator über eine entsprechende (entgegengesetzte) Längenänderung der Faser gerade ausgeglichen. Die am Modulator 4 anliegende Spannung enthält dann einen langsam variierenden Anteil, der proportional zu $\Theta(t)$ ist, und einen periodischen Anteil, der proportional zu $A \sin \Omega t$ ist. Der gesuchte Anteil $A \sin \Omega t$ wird über ein Hochpassfilter 9 ausgefiltert und kann am Signalausgang 10 abgenommen werden. Das Ausgangssignal ist dadurch unabhängig von etwaigen Fluktuationen der Laserintensität (d.h. V_0) und des Interferenzkontrastes a .

Neben dem Homodyn-Verfahren sind in der Literatur einige weitere Detektionsverfahren beschrieben worden, die den Vorteil haben, dass auf einen zusätzlichen Modulator im Bereich des Interferometers verzichtet werden kann, die aber dafür eine kompliziertere Sensorelektronik für die Signaldemodulation benötigen, die zudem oft eine geringe Genauigkeit aufweist. Beispiele dafür sind das synthetische Heterodyn-Verfahren (J. H. Cole et al., IEEE J. Quant. Electr. QE-18, S. 694–697 (1982)), das Homodyn-Verfahren mit einem phasenmodulierten Trägersignal (A. Dandridge et al., IEEE J. Quant. Electr. QE-18, S. 1647–1653 (1982)), und Verfahren, bei denen auf optischem Wege zwei Interferometersignale erzeugt werden, die um 90° gegeneinander phasenverschoben sind (S. K. Sheem et al., Appl. Opt. 21, S. 689–693 (1982)).

In einer Reihe von praktischen Anwendungen des Sensors (z.B. bei der Spannungsmessung in Freiluftanlagen) können verhältnismässig grosse Abstände zwischen dem eigentlichen Sensorkopf und der Sensorelektronik auftreten (10 m bis einige 100 m). Es ist unzweckmässig, diese Abstände mit der Zwei-Moden-Faser selbst zu überbrücken, da sich der Einfluss externer Störungen (Temperaturschwankungen, mechanische Erschütterungen etc.) mit zunehmender Faserlänge entsprechend vergrössert und das Signal/Rausch-Verhältnis verschlechtert. Die Lichtzuführung von der Laserdiode zum Interferometer und die Rückführung der Ausgangssignale des Interferometers sollten vielmehr über separate Glasfasern erfolgen, die nicht Bestandteil des Interferometers sind.

Bei dem oben beschriebenen Homodyn-Verfahren mit einem aktiven Phasen-Modulator wäre aber zusätzlich zu den Verbindungs-Glasfasern auch noch eine elektrische Verbindung (die Rückkopplungsleitung 6) zwischen der Sensorelektronik und dem Sensorkopf zur Ansteuerung des Modulators 4 erforderlich. Die Attraktivität eines mit diesem Interferometertyp arbeitenden Sensors wäre dadurch sehr beschränkt.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen faseroptischen Sensor anzugeben, der sich durch einen einfachen Aufbau und hohe Genauigkeit und Störsicherheit auszeichnet, und bei dem die eigentliche Messfaser ausschliesslich über separate Glasfasern an die Lichtquelle und die Auswerteelektronik angekoppelt werden kann.

Die Aufgabe wird bei einem faseroptischen Sensor der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass

(d) die Faser eine Zwei-Moden-Faser ist, deren Parameter so gewählt sind, dass sich in ihr der LP_{01} -Grundmodus und der gerade LP_{11} -Modus ausbreiten können;

(e) vor dem Eingangsende der Zwei-Moden-Faser eine kohärente Lichtquelle angeordnet ist, welche die beiden Moden der Zwei-Moden-Faser anregt; und

(f) die Mittel zum Messen der feldbedingten Längenänderung der Faser optische Mittel zur Trennung der am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser auftretenden Nah- und Fernfeldsignale, Detektoren zum Umwandeln der Nah- und Fernfeldsignale in entsprechende elektrische Signale, sowie elektronische Mittel zur Gewinnung der Längenänderungs-Information aus diesen umgewandelten Nah- und Fernfeldsignalen umfassen.

Der Kern der Erfindung besteht darin, anstelle der bekannten aktiven Signaldetektion, die einen zusätzlichen Modulator in der Messfaser mit entsprechender elektrischer Zuleitung erfordert, eine passive Signaldetektion vorzusehen, die auf dem Guoy-Effekt (siehe dazu: S. Y. Huang et al., Springer Proc. in Physics, Vol. 44 «Optical Fiber Sensors», S. 38–43, Springer Verlag Berlin, Heidelberg (1989)), d.h. dem Phasenunterschied zwischen den Interferenzmustern des Nah- und Fernfeldes, beruht: Die Substrukturen des Nah- und Fernfeldes (insgesamt 4) werden mit optischen Mitteln separiert und können über separate Glasfasern zu einer entfernten Auswerteelektronik übertragen werden. Dort kann unter Verwendung von wenigstens drei dieser vier Substrukturen die gewünschte Information über die Längenänderung der Messfaser gewonnen werden.

Gemäss einer ersten bevorzugten Ausführungsform des Sensors nach der Erfindung umfassen die die optischen Mittel zur Trennung der Nah- und Fernfeldsignale:

(a) eine direkt am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser angeordnete erste Linse zur Kollimierung der aus der Zwei-Moden-Faser austretenden zwei Moden zu einem Parallelstrahl;

(b) einen ersten, hinter der ersten Linse angeordneten Strahlteiler, welcher den Parallelstrahl in zwei Teilstrahlen aufspaltet;

(c) eine zweite Linse mit einer nachgeordneten ersten Auskopplungsfaser, welche zweite Linse den

ersten der beiden Teilstrahlen so fokussiert, dass die Endfläche der Zwei-Moden-Faser auf das Eingangsende der ersten Auskopplungsfaser abgebildet wird; und

(d) eine dritte Linse mit wenigstens einer nachgeordneten zweiten Auskopplungsfaser, welche dritte Linse den zweiten Teilstrahl so bündelt, dass sich das Eingangsende der zweiten Auskopplungsfaser noch im optischen Fernfeld der Zwei-Moden-Faser befindet, das Licht aber bereits effizient in die zweite Auskopplungsfaser eingekoppelt wird.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des Sensors nach der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass

(a) die Zwei-Moden-Faser zusammen mit dem Sensorelement und den optische Mitteln zur Trennung der am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser auftretenden Nah- und Fernfeldsignale einen separaten Sensorkopf bildet;

(b) die Lichtquelle, die Detektoren und die elektronischen Mittel zur Gewinnung der Längenänderungs-Information aus diesen Nah- und Fernfeldsignalen Teil einer separaten Sensorelektronik sind;

(c) die Lichtquelle über eine polarisationserhaltende Ein-Moden-Faser mit dem Eingangsende der Zwei-Moden-Faser optisch verbunden ist; und

(d) die Detektoren mit den optischen Mitteln durch separate Glasfasern in Form von Multimoden-Fasern optisch verbunden sind.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1A ein Beispiel für einen faseroptischen E-Feld-Sensor mit Zwei-Moden-Faser;

Fig. 1B die Prinzipdarstellung der Interferenzmuster am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser (3) aus Fig. 1A;

Fig. 1C ein gegenüber Fig. 1A modifizierter E-Feld-Sensor mit aktiver Signaldetektion;

Fig. 2 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel für einen faseroptischen Sensor nach der Erfindung;

Fig. 3A-C verschiedene Ausführungsformen für die optischen Mittel (15) gemäss Fig. 2; und

Fig. 4A, B zwei bevorzugte Ausführungsformen für die elektronischen Mittel (18) gemäss Fig. 2.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

In Fig. 1A ist die bereits eingangs beschriebene Grundform eines faseroptischen Sensors mit einem Zwei-Moden-Faser-Interferometer dargestellt, wie sie den Ausgangspunkt für die Erfindung bildet. Zentraler Teil des Sensors ist eine Zwei-Moden-Faser 3, die auf einer Teilstrecke mit einem piezoelektrischen Sensorelement 2 fest verbunden ist. Am Eingangsende der Zwei-Moden-Faser 3 ist eine kohärente Lichtquelle 1 angeordnet, welche die beiden Moden LP_{01} und LP_{11} in der Faser anregt. Die beiden Moden erleiden beim Durchlaufen der Faser einen Phasenunterschied und interferieren entsprechend, sodass sich am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser 3 ein Interferenzmuster mit zwei Substrukturen bildet, welches sich in Abhängigkeit von der Länge der Faser ändert und für 3 ausgewählte Phasenunterschiede in Fig. 1B wiedergegeben ist.

Die Intensitäten der beiden Substrukturen können im einfachsten Fall mittels zweier Detektoren 5a, b (Photodioden) in entsprechende elektrische Signale umgewandelt und in einer nicht weiter dargestellten Auswerteelektronik ausgewertet werden, wobei allerdings Änderungen im Arbeitspunkt nicht kompensiert werden können.

Derartige Kompensationen sind – wie ebenfalls eingangs erwähnt – mit dem mit Nachteilen behafteten Sensor-Aufbau nach Fig. 1C möglich, bei welchem die Zwei-Moden-Faser 3 zusätzlich an einem piezoelektrischen Modulator 4 fixiert ist, der die Anwendung des Homodyn-Verfahrens mit aktiver Signaldetektion ermöglicht.

Die Erfindung geht hier nun einen anderen Weg: Zwischen den Interferenzmustern im optischen Nahfeld (unmittelbar am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser) und den Interferenzmustern im optischen Fernfeld (in einer Entfernung $> 100 \mu\text{m}$ vom Ausgangsende) besteht aufgrund des erwähnten Guoy-Effekts ein Phasenunterschied von $\pi/2$. Mittels einer optischen Anordnung, die es gestattet, die optischen Nah- und Fernfeldsignale zu trennen und über separate Glasfasern zu entfernten Detektoren zu führen, und mittels einer elektronischen Anordnung zur Demodulation der Detektorsignale, um daraus ein zur Messgrösse proportionales Ausgangssignal zu gewinnen, wird nun eine passive Signaldetektion realisiert, welche die Nachteile des Homodyn-Verfahrens vermeidet.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel für einen solchen faseroptischen Sensor nach der Erfindung ist in Fig. 2 wiedergegeben. Sensorelement 2 und Zwei-Moden-Faser 3 bilden zusammen mit optischen

Mitteln 15 zur Trennung der am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser 3 auftretenden Nah- und Fernfeldsignale einen eigenständigen Sensorkopf 14, der ausschliesslich durch separate Glasfasern (12, 16a, b, c) mit einer entfernt platzierten Sensorelektronik 11 potential-getrennt verbunden ist.

Die Sensorelektronik umfasst die bereits bekannte kohärente Lichtquelle 1 zur Anregung der Moden in der Zwei-Moden-Faser 3, eine Mehrzahl von Detektoren 17a, b, c zum Umwandeln der Nah- und Fernfeldsignale in entsprechende elektrische Signale, sowie nachgeschaltete elektronische Mittel 18 zur Gewinnung der Längenänderungs-Information aus diesen umgewandelten Nah- und Fernfeldsignalen. Das resultierende Nutzsignal steht wiederum am Signalausgang 10 zur Verfügung.

Die Lichtquelle 1 koppelt ihr (linear polarisiertes) Licht über eine polarisationserhaltende Ein-Moden-Faser 12 in das Eingangsende der Zwei-Moden-Faser 3 ein. Beide Fasern sind dabei über einen Spleiss 13 so zusammengespleisst, dass LP₀₁-Grundmodus und gerader LP₁₁-Modus in etwa gleicher Intensität angeregt werden und die Polarisationsrichtung parallel zu einer der beiden Achsen des elliptischen Faserkerns der Zwei-Moden-Faser 3 liegt. Am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser 3 erfolgt durch die optischen Mittel 15 die Aufspaltung in mehrere getrennte Signale I₁₁, I₂₁ und I₂₂, welche über separate Glasfasern (16a, b, c) den Detektoren 17a, b, c zugeführt werden

Bevor auf die optischen Mittel 15 und die elektronischen Mittel 18 näher eingegangen wird, sollen zunächst noch einige Erläuterungen zum theoretischen Hintergrund gegeben werden:

Der LP₀₁-Grundmodus und der LP₁₁-Modus der Zwei-Moden-Faser 3 können in sehr guter Näherung durch die Gauss'schen TEM₀₀- und TEM₁₀-Moden dargestellt werden. Diese beiden Moden haben nach Verlassen der Faser die Form

$$(4) E_{lm}(x,y,z) = E_{0lm}(x,y,z) \exp[-ik(x^2+y^2)/2R(z) - ikz + i(l+m+1)\eta(z)]$$

Hierbei ist E_{0lm}(x,y,z) die Amplitude, x und y sind die Koordinatenrichtungen senkrecht und z ist die Koordinatenrichtung parallel zur Strahlausbreitungsrichtung (z = 0 entspricht der Position des Faserendes); k ist die Wellenzahl (k = 2π/λ, wobei λ für die optische Wellenlänge steht). R(z) und η(z) sind gegeben durch

$$(5) R(z) = z(1 + z_0^2/z^2)$$

$$(6) \eta(z) = \tan^{-1}(z/z_0)$$

mit

$$(7) z_0 = (\pi \Omega_0^2 n) / \lambda$$

n ist der Brechungsindex (n ≈ 1 in Luft), Ω₀ ist der laterale Abstand von der optischen Achse bei z = 0, bei welchem die Feldamplitude auf 1/e ihres Wertes auf der Achse gefallen ist.

Für Abstände z ≫ z₀ vom Faserende geht η(z) gegen π/2. Die beiden Moden TEM₀₀ (l=0, m=0) und TEM₁₀ (l=1, m=0) (bzw. die LP₀₁- und LP₁₁-Moden) erfahren also bei ihrer Ausbreitung vom optischen Nahfeld (z ≈ 0) ins optische Fernfeld (z ≫ z₀) eine relative Phasenverschiebung von π/2. Zwischen den Interferenzmustern der beiden Moden im Nah- und Fernfeld besteht damit ebenfalls ein Phasenunterschied von π/2. Die Intensitäten in den Substrukturen der Interferenzmuster sind dann im Nahfeld

$$(8) I_{11} = (1/2) I_0 (1 + \cos \Phi(t))$$

$$(9) I_{12} = (1/2) I_0 (1 - \cos \Phi(t))$$

und im Fernfeld

$$(10) I_{21} = (1/2) I_0 (1 + \sin \Phi(t))$$

$$(11) I_{22} = (1/2) I_0 (1 - \sin \Phi(t)),$$

wobei I₀ der gesamten Lichtintensität entspricht.

Ziel ist es, aus den Nah- und Fernfeld-Interferenzsignalen das gesuchte Signal A sin Ωt zu gewinnen. Um die dafür erforderlichen elektronischen Mittel 18 festlegen zu können, entwickelt man die cos Φ- und sin Φ-Terme in den Gleichungen (8) – (11) nach Besselfunktionen. Dabei gilt

$$(12) \quad \cos\Phi(t) = [J_0(A) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m}(A) \cos 2m\Omega t] \cos\theta$$

5

$$- [2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m-1}(A) \sin(2m-1)\Omega t] \sin\theta$$

10

$$(13) \quad \sin\Phi(t) = [2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m-1}(A) \sin(2m-1)\Omega t] \cos\theta$$

15

$$+ [J_0(A) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m}(A) \cos 2m\Omega t] \sin\theta$$

20

wobei die J_i Besselfunktionen i -ter Ordnung sind. Die Gleichungen (8) – (11) lauten damit

$$(14) \quad I_{11} = (1/2)I_0' (1 + aJ_0(A)\cos\theta - 2aJ_1(A)\sin\Omega t \sin\theta + \text{h.H.})$$

25

$$(15) \quad I_{12} = (1/2)I_0' (1 - aJ_0(A)\cos\theta + 2aJ_1(A)\sin\Omega t \sin\theta + \text{h.H.})$$

$$(16) \quad I_{21} = (1/2)I_0' (1 + aJ_0(A)\sin\theta + 2aJ_1(A)\sin\Omega t \cos\theta + \text{h.H.})$$

30

$$(17) \quad I_{22} = (1/2)I_0' (1 - aJ_0(A)\sin\theta - 2aJ_1(A)\sin\Omega t \cos\theta + \text{h.H.})$$

(h.H. bedeutet dabei höhere Harmonische). Die Signalamplitude ist jetzt mit $(1/2)I_0'$ bezeichnet. Abhängig von der optischen Mittel 15 ist I_0' entweder $(1/3)I_0$ (wenn die optischen Mittel 15 die in Fig. 3A, 3C dargestellte Form haben) oder $(1/2)I_0$ (wenn die optischen Mittel 15 die in Fig. 3B dargestellte Form haben).

35

Nach der Umwandlung der optischen Signale (14) – (17) in elektrische Signale können die langsam variierenden Signalanteile von den Anteilen, die $\sin\Omega t$ -Terme enthalten, mit Hilfe von elektronischen Filtern getrennt werden (die elektrischen Signale sind im folgenden wie die entsprechenden optischen Signale mit I_{11} , I_{12} , I_{21} und I_{22} bezeichnet).

40

Die langsam variierenden Anteile lauten:

$$(18) \quad I_{11}^{DC} = (1/2)I_0'(1 + aJ_0(A)\cos\theta)$$

$$(19) \quad I_{12}^{DC} = (1/2)I_0'(1 - aJ_0(A)\cos\theta)$$

45

$$(20) \quad I_{21}^{DC} = (1/2)I_0'(1 + aJ_0(A)\sin\theta)$$

$$(21) \quad I_{22}^{DC} = (1/2)I_0'(1 - aJ_0(A)\sin\theta)$$

50

Die Anteile, die mit der Frequenz Ω variieren, lauten:

$$(22) \quad I_{11}^{AC} = -I_0' aJ_1(A)\sin\Omega t \sin\theta$$

$$(23) \quad I_{12}^{AC} = I_0' aJ_1(A)\sin\Omega t \sin\theta$$

55

$$(24) \quad I_{21}^{AC} = I_0' aJ_1(A)\sin\Omega t \cos\theta$$

$$(25) \quad I_{22}^{AC} = -I_0' aJ_1(A)\sin\Omega t \cos\theta$$

60

Im folgenden werden zwei Varianten angegeben, für die drei Eingangssignale ausreichend sind. Man wählt geschickterweise das Trio I_{11} , I_{21} und I_{22} , dem die einfachste Form der optischen Mittel 15 gemäss Fig. 3B zugrunde liegt.

Je zwei DC- bzw. AC-Terme werden nun so verarbeitet, dass sich Terme ergeben, die proportional zur Summe von $|\cos\theta|$ und $|\sin\theta|$ sind. Dazu eliminiert man zunächst den Offset von $(1/2)I_0'$ der DC-Terme (18) und (20):

65

(26) $I_{21}^{DC} + I_{22}^{DC} = I_0'$

(27) $I'_{11}^{DC} = I_{11}^{DC} - (1/2)I_0' = (1/2)I_0'aJ_0(A)\cos\theta$

5 (28) $I'_{21}^{DC} = I_{21}^{DC} - (1/2)I_0' = (1/2)I_0'aJ_0(A)\sin\theta$

Bei der ersten Variante (mit den elektronischen Mitteln 18 gemäss Fig. 4A) bildet man nun den Quotienten

10 (29)

$$\frac{|I_{11}^{AC}| + |I_{21}^{AC}|}{|I'_{11}^{DC}| + |I'_{21}^{DC}|} =$$

$$= \frac{aI_0'J_1(A)|\sin\Omega t|(|\sin\theta| + |\cos\theta|)}{(1/2)aI_0'J_0(A)(|\sin\theta| + |\cos\theta|)}$$

15

$$= 2 \frac{J_1(A)}{J_0(A)} |\sin\Omega t| \approx A|\sin\Omega t| \text{ für } A \ll 1,$$

20

25

d.h., man erhält ein Ausgangssignal, das unabhängig von Schwankungen der Lichtintensität I_0 und des Interferenzkontrastes a ist (die Betragsbildung [...] ist dabei erforderlich, um für $\theta = 45^\circ, 135^\circ, \dots$ eine Division durch Null zu vermeiden).

30 Bei der zweiten Variante (mit den elektronischen Mitteln 18 gemäss Fig. 4B) bildet man den Ausdruck

35 (30)

$$\sqrt{\left[\frac{(I_{11}^{AC})^2 + (I_{21}^{AC})^2}{[(1/2)(I_{21}^{DC} - I_{22}^{DC})]^2 + [I'_{11}^{DC}]^2} \right]} =$$

40

$$= \sqrt{\left[\frac{(I_0'aJ_1(A)\sin\Omega t)^2(\sin^2\theta + \cos^2\theta)}{[(1/2)aI_0'J_0(A)]^2(\sin^2\theta + \cos^2\theta)} \right]}$$

45

$$= 2 \frac{J_1(A)}{J_0(A)} \sin\Omega t \approx A\sin\Omega t \text{ für } A \ll 1,$$

50

Die Fig. 3A-3C zeigen verschiedene Ausführungsbeispiele für die optischen Mittel 15 aus Fig. 2, die es erlauben, die Nah- und Fernfeldsignale gemäss den Gleichungen (8) - (11) voneinander zu trennen und dann über separate Glasfasern zu den sich in einiger Entfernung befindlichen Detektoren 17a, b, c zu führen.

55 Im ersten Ausführungsbeispiel der Fig. 3A werden alle Signale I_{11} , I_{12} , I_{21} und I_{22} gewonnen und mit vier Glasfasern (16a, b, c, d) den entsprechenden Detektoren zugeführt. Die beiden aus der Zwei-Moden-Faser 3 austretenden Moden werden mit einer ersten Selfoc-Linse 19a (mit einem Pitch von 0,25) zu einem Parallelstrahl kollimiert, dessen räumliche Intensitätsverteilung dem Fernfeld-Interferenzmuster entspricht (der entsprechende Strahlengang 21 ist in den Fig. 3A-3C als gestrichelte Linie angedeutet).

60 Der kollimierte Strahl wird mit Hilfe zweier hintereinander angeordneter, würfelförmiger Strahlteiler 20a, b in drei Teilstrahlen aufgespalten. Zwei dieser Teilstrahlen werden mittels zweier weiterer 0,25-Pitch-Selfoc-Linsen 19b und 19c fokussiert. An den vom Strahlteiler 20b abgewandten Seiten der beiden Selfoc-Linsen 19b und 19c entsteht dann das Bild der Endfläche der Zwei-Moden-Faser 3 und folglich wieder das Nahfeld-Interferenzmuster.

65

Je eine der beiden Substrukturen dieses Nahfeld-Interferenzmusters wird jeweils mit einem kurzen Stück einer Ein-Moden-Faser 22a bzw. 22b (die hier die Wirkung eines räumlichen Filters hat) herausgefiltert. Dabei ist zu beachten, dass zwei Substrukturen ausgefiltert werden, die relativ zueinander um 180° ausser Phase sind, also den Signalen I_{11} und I_{12} entsprechen. Die ausgefilterten Nahfeldsignale können dann mit Multimoden-Fasern 16a bzw. 16d, die über entsprechende Spleisse 23a bzw. 23b an die Ein-Moden-Fasern 22a bzw. 22b angespleisst sind, zu den Detektoren übertragen werden. Die Verwendung von Multimoden-Fasern bietet Kostenvorteile (z.B. kostengünstige Fasersteckverbindungen); prinzipiell können anstelle der beiden kurzen Ein-Moden-Fasern 22a, b aber auch lange Ein-Moden-Fasern verwendet werden, welche die I_{11} - und I_{12} -Signale über die gesamte Distanz bis zu den Detektoren übertragen und damit die Multimoden-Fasern 16a und 16d ersetzen.

Im dritten Teilstrahl befindet sich eine weitere Selfoc-Linse 19d mit einem Pitch kleiner 0,25 (der Fokus liegt also in einigem Abstand ausserhalb der Linse). Die Selfoc-Linse 19d bündelt den Strahl auf zwei unmittelbar nebeneinander liegende Multimoden-Fasern 16b und 16c. Die Linsenlänge (bzw. der Pitch der Linse) ist so gewählt, dass (i) sich die vom Strahlteiler 20a abgewandte Endfläche der Linse noch im optischen Fernfeld befindet und (ii) der Strahl aber bereits soweit gebündelt ist, dass das Licht effizient in die beiden Multimoden-Fasern 16b, c eingekoppelt wird. Die Multimoden-Fasern 16b, c sind dabei so angeordnet, dass sie jeweils eine der beiden Substrukturen des Fernfeld-Interferenzmusters erfassen. Vorzugsweise wählt man Multimoden-Fasern mit einem relativ grossen Kerndurchmesser und kleiner Dicke des Fasermantels (z.B. Hard Cladded Silica (HCS) Fasern mit einem 200 μm dicken Quarzglaskern und einem 15 μm dicken Hartplastik-Mantel; bei genügend grossem Kerndurchmesser kann auf die Selfoc-Linse 19d sogar ganz verzichtet werden). Die beiden Multimoden-Fasern führen somit die Signale I_{21} und I_{22} und übertragen sie zu einem zweiten Detektorpaar.

Wie aus den Gleichungen (18) bis (28) abzulesen ist, sind für die weiter unten beschriebene Auswertung mit Hilfe der elektronischen Mittel 18 drei Signale aus dem Quartett I_{11} , I_{12} , I_{21} und I_{22} ausreichend, wobei es zunächst prinzipiell gleichgültig ist, welches Trio ausgewählt wird.

Mit dem Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 3B, auf welches sich auch die Anordnung nach Fig. 2 bezieht, werden die beiden Fernfeldsignale I_{21} und I_{22} und ein Nahfeldsignal I_{11} (oder I_{12}) gewonnen. Der Aufbau ist mit dem aus Fig. 3A identisch mit Ausnahme des nicht mehr erforderlichen zweiten Strahlteilers 20b und des fehlenden zweiten Nahfeldzweiges. Es ergibt sich so eine besonders einfache Konfiguration.

Im Ausführungsbeispiel der Fig. 3C schliesslich werden die Signale I_{11} , I_{12} und eines der beiden Fernfeldsignale (im gezeigten Fall I_{21}) extrahiert. Zu beachten ist dabei allerdings die gegenüber dem Beispiel aus Fig. 3B grössere Komplexität der Anordnung.

Das Teilverhältnis der Strahlteiler 20a und 20b wird vorzugsweise so gewählt, dass alle Signale die gleiche Amplitude haben. In Fig. 3A und 3C muss der erste Strahlteiler 20a das Teilverhältnis (Reflexion:Transmission) von (1/3):(2/3) haben, der zweite Strahlteiler 20b das Verhältnis (1/2):(1/2). Die Signalamplituden sind dann $(1/6)I_0$ (bei Vernachlässigung aller Verluste). In Fig. 3B ist das Teilverhältnis des einzigen Strahlteilers 20a (1/2):(1/2), und die Signalamplituden sind $(1/4)I_0$ (siehe oben).

Sind – wie in Fig. 2 und Fig. 3B dargestellt – die optischen Mittel 15 so ausgebildet, dass an ihren Ausgängen die Signale I_{11} , I_{21} und I_{22} zur Verfügung stehen und mittels der Detektoren 17a, b, c in entsprechende elektrische Signale umgewandelt werden, können zur Auswertung gemäss den Gleichungen (18) – (30) beispielsweise elektronische Mittel 18 von der Form eingesetzt werden, wie sie für die beiden Varianten in den Blockschaltbildern der Fig. 4A und 4B wiedergegeben sind.

Die Schaltung nach Fig. 4A umfasst zwei Bandpassfilter 24a,b, drei Tiefpassfilter 25a, b, c, vier Absolutwertbildner 28a, b, c, d und einen Abschwächer 30 (Abschwächungsfaktor: 0,5) mit jeweils einem Ein- und Ausgang, sowie zwei Subtrahierer 26a, b, drei Addierer 29a, b, c und einen Dividierer 27 mit jeweils zwei Eingängen und einem Ausgang. Die Tiefpassfilter 25a, b, c haben z.B. eine Grenzfrequenz von 10 Hz und lassen damit die langsam variierenden Signale passieren. Die Bandpassfilter 24a, b lassen die Signalanteile, die mit der Frequenz Ω variieren, passieren. Höhere Harmonische dagegen werden blockiert. Von gewissem Nachteil ist in diesem Fall die durch die Bandpassfilter 24a, b eingeschränkte Bandbreite. Für ausreichend kleine Amplituden der optischen Phasenverschiebung sind die höheren Harmonischen jedoch klein genug, dass sie für manche Anwendungen noch toleriert werden können. Für $A = 0,1$ rad z.B. ist $J_2(A) = 0,025 J_1(A)$; für $A = 0,05$ rad ist $J_2(A) = 0,012 J_1(A)$. Anstelle der Bandpassfilter 24a, b können dann Hochpassfilter verwendet werden, so dass die besagte Einschränkung der Bandbreite nicht auftritt.

Die Signale I_{11} und I_{21} gelangen einerseits über das erste und zweite Bandpassfilter 24a bzw. 24b und den nachgeschalteten ersten und zweiten Absolutwertbildner 28a bzw. 28b auf die beiden Eingänge des zweiten Addierers 29b. Es entsteht der Ausdruck im Zähler des Bruches aus Gleichung (29), welcher anschliessend auf den ersten Eingang des Dividierers 27 gegeben wird.

Die Signale I_{11} und I_{21} gelangen andererseits über das erste und zweite Tiefpassfilter 25a bzw. 25b jeweils auf den ersten Eingang des ersten bzw. zweiten Subtrahierers 26a bzw. 26b. Dort werden gemäss Gleichungen (27) und (28) jeweils die Differenzen mit dem Ausdruck $(1/2)I_0'$ gebildet. Dieser Ausdruck seinerseits wird gemäss Gleichung (26) aus den Signalen I_{21} und I_{22} durch Filterung im zweiten und dritten Tiefpassfilter 25b bzw. 25c, nachfolgende Addition im ersten Addierer 29a und anschliessende Multiplikation mit dem Faktor 1/2 im Abschwächer 30 erzeugt.

Die Differenzen (27) und (28) werden schliesslich im dritten und vierten Absolutwertbildner 28c bzw. 28d in ihre Absolutwerte umgewandelt, im dritten Addierer 29c addiert und bilden dann am zweiten Eingang des Dividierers 27 den Nenner des Bruches aus (29). Entsprechend erscheint am Ausgang des Dividierers 27 bzw. am Signalausgang 10 das gewünschte Nutzsignal $A|\sin\Omega t|$.

Die Schaltung nach Fig. 4B unterscheidet sich von der aus Fig. 4A neben einer anderen Verschaltung durch folgende Änderungen bei den Funktionsblöcken: Anstelle des einen Abschwächers 30 werden nun zwei Abschwächer (mit Faktor 0,5) eingesetzt, die Absolutwertbilder 28a, b, c, d sind durch Quadrierer 32a, b, c, d ersetzt, und hinter den Ausgang des Dividierers 27 ist ein Radizierer 31 angeordnet, welcher aus dem Ausgangssignal des Dividierers 27 die Wurzel zieht.

Die beiden Bandpassfilter 24a, b, die beiden ersten Quadrierer 32a, b und der zweite Addierer 29b bilden – ähnlich wie in Fig. 4A – aus den Signalen I_{11} und I_{21} den Zähler des Bruches gemäss Gleichung (30). Der zweite Teil des Nenners (I_{11}^{DC}) wird wie in der Schaltung nach Fig. 4A erzeugt und anschliessend im dritten Quadrierer 32c quadriert. Der erste Teil des Nenners ergibt sich durch Differenzbildung der DC-Anteile von I_{21} und I_{22} im zweiten Subtrahierer 26b, nachfolgende Abschwächung um den Faktor 1/2 im ersten Abschwächer 30a und abschliessende Quadratur im vierten Quadrierer 32d. Aus dem im Dividierer 27 gebildeten Bruch wird mittels des Radizierers 31 die Wurzel gezogen.

Patentansprüche

1. Faseroptischer Sensor für elektrische Wechselfelder bzw. -spannungen, umfassend

(a) ein piezoelektrisches Sensorelement (2);

(b) eine optische Faser mit einem Eingangsende und einem Ausgangsende, welche optische Faser zumindest teilweise an dem Sensorelement (2) so fixiert ist, dass eine Dimensionsänderung des Sensorelements (2) in einem elektrischen Feld zu einer Längenänderung in der Faser führt; und

(c) Mittel zum Messen der feldbedingten Längenänderung der Faser; dadurch gekennzeichnet, dass

(d) die Faser eine Zwei-Moden-Faser (3) ist, deren Parameter so gewählt sind, dass sich in ihr der LP_{01} -Grundmodus und der gerade LP_{11} -Modus ausbreiten können;

(e) vor dem Eingangsende der Zwei-Moden-Faser (3) eine kohärente Lichtquelle (1) angeordnet ist, welche die beiden Moden der Zwei-Moden-Faser (3) anregt; und

(f) die Mittel zum Messen der feldbedingten Längenänderung der Faser optische Mittel (15) zur Trennung der am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser (3) auftretenden Nah- und Fernfeldsignale, Detektoren (17a, b, c) zum Umwandeln der Nah- und Fernfeldsignale in entsprechende elektrische Signale, sowie elektronische Mittel (18) zur Gewinnung der Längenänderungs-Information aus diesen umgewandelten Nah- und Fernfeldsignalen umfassen.

2. Faseroptischer Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Mittel (15) von den zwei Substrukturen des Nahfeld-Interferenzmusters und den zwei Substrukturen des Fernfeld-Interferenzmusters insgesamt zumindest drei Substrukturen optisch voneinander trennen und für die Auswertung über separate Glasfasern den Detektoren (17a, b, c) zuführen.

3. Faseroptischer Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Mittel (15) zur Trennung der Nah- und Fernfeldsignale umfassen:

(a) eine direkt am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser (3) angeordnete erste Linse zur Kollimierung der aus der Zwei-Moden-Faser (3) austretenden zwei Moden zu einem Parallelstrahl;

(b) einen ersten, hinter der ersten Linse angeordneten Strahlteiler (20a), welcher den Parallelstrahl in zwei Teilstrahlen aufspaltet;

(c) eine zweite Linse mit einer nachgeordneten ersten Auskopplungsfaser, welche zweite Linse den ersten der beiden Teilstrahlen so fokussiert, dass die Endfläche der Zwei-Moden-Faser (3) auf das Eingangsende der ersten Auskopplungsfaser abgebildet wird; und

(d) eine dritte Linse mit wenigstens einer nachgeordneten zweiten Auskopplungsfaser, welche dritte Linse den zweiten Teilstrahl so bündelt, dass sich das Eingangsende der zweiten Auskopplungsfaser noch im optischen Fernfeld der Zwei-Moden-Faser (3) befindet, das Licht aber bereits effizient in die zweite Auskopplungsfaser eingekoppelt wird.

4. Faseroptischer Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass

(a) zwischen dem ersten Strahlteiler (20a) und der zweiten Linse ein zweiter Strahlteiler (20b) angeordnet ist, welcher zweite Strahlteiler (20b) einen dritten Teilstrahl erzeugt; und

(b) eine vierte Linse mit einer nachgeordneten dritten Auskopplungsfaser vorgesehen ist, welche vierte Linse den dritten Teilstrahl so fokussiert, dass die Endfläche der Zwei-Moden-Faser (3) auf das Eingangsende der dritten Auskopplungsfaser abgebildet wird.

5. Faseroptischer Sensor nach einem der beiden Ansprüche 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass hinter der dritten Linse neben der zweiten Auskopplungsfaser eine vierte, zur zweiten Auskopplungsfaser gleichartige Auskopplungsfaser angeordnet ist, derart, dass in die beiden Auskopplungsfasern jeweils eine der beiden Substrukturen des Fernfeld-Interferenzmusters der Zwei-Moden-Faser (3) eingekoppelt wird.

6. Faseroptischer Sensor nach einem der beiden Ansprüche 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und dritte Auskopplungsfaser jeweils Ein-Moden-Fasern (22a, b) sind, welche als räumliche

Filter wirken und jeweils eine der beiden Substrukturen des Nahfeld-Interferenzmusters der Zwei-Moden-Faser (3) herausfiltern.

7. Faseroptischer Sensor nach einem der Ansprüche 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite und ggf. die vierte Linse jeweils eine Selfoc-Linse (19a, b, c) mit einem Pitch von 0,25 und die dritte Linse eine Selfoc-Linse (19d) mit einem Pitch kleiner 0,25 ist.

8. Faseroptischer Sensor nach einem der Ansprüche 3 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite und ggf. die vierte Auskopplungsfaser jeweils eine Multimoden-Faser (16b, c) ist.

9. Faseroptischer Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

(a) die elektronischen Mittel (18) zur Gewinnung der Längenänderungs-Information zwei Bandpassfilter (24a, b), drei Tiefpassfilter (25a, b, c), vier Absolutwertbildner (28a, b, c, d) und einen Abschwächer (30) mit jeweils einem Ein- und einem Ausgang, sowie zwei Subtrahierer (26a, b), drei Addierer (29a, b, c) und einen Dividierer (27) mit jeweils zwei Eingängen und einem Ausgang umfassen; wobei

(b) die Ausgänge der beiden Bandpassfilter (24a, b) jeweils über einen ersten bzw. zweiten Absolutwertbildner (28a bzw. 28b) mit einem Eingang des zweiten Addierers (29b), der Ausgang des ersten Tiefpassfilters (25a) mit dem ersten Eingang des ersten Subtrahierers (26a), der Ausgang des zweiten Tiefpassfilters (25b) mit dem ersten Eingang des zweiten Subtrahierers (26b) und dem ersten Eingang des ersten Addierers (29a), und der Ausgang des dritten Tiefpassfilters (25c) mit dem zweiten Eingang des ersten Addierers (29a) verbunden sind;

(c) der Ausgang des ersten Addierers (29a) über den Abschwächer (30) jeweils mit dem zweiten Eingang des ersten und zweiten Subtrahierers (26a bzw. 26b), die Ausgänge der beiden Subtrahierer (26a, b) jeweils über einen dritten bzw. vierten Absolutwertbildner (28c bzw. 28d) mit einem Eingang des dritten Addierers (29c), die Ausgänge des zweiten und dritten Addierers (29b bzw. 29c) jeweils mit einem Eingang des Dividierers (27), und der Ausgang des Dividierers mit einem Signalausgang (10) für das Nutzsignal verbunden sind; und

(d) die Eingänge der Bandpassfilter (24a, b) und Tiefpassfilter (25a, b, c) mit den Detektoren (17a, b, c) verbunden sind.

10. Faseroptischer Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

(a) die elektronischen Mittel (18) zur Gewinnung der Längenänderungs-Information zwei Bandpassfilter (24a, b), drei Tiefpassfilter (25a, b, c), vier Quadrierer (32a, b, c, d), zwei Abschwächer (30a, b) und einen Radizierer (31) mit jeweils einem Ein- und einem Ausgang, sowie zwei Subtrahierer (26a, b), drei Addierer (29a, b, c) und einen Dividierer (27) mit jeweils zwei Eingängen und einem Ausgang umfassen; wobei

(b) die Ausgänge der beiden Bandpassfilter (24a, b) jeweils über einen ersten bzw. zweiten Quadrierer (32a bzw. 32b) mit einem Eingang des zweiten Addierers (29b), der Ausgang des ersten Tiefpassfilters (25a) mit dem ersten Eingang des ersten Subtrahierers (26a), der Ausgang des zweiten Tiefpassfilters (25b) mit dem ersten Eingang des zweiten Subtrahierers (26b) und dem ersten Eingang des ersten Addierers (29a), und der Ausgang des dritten Tiefpassfilters (25c) mit dem zweiten Eingang des zweiten Subtrahierers (26b) und dem zweiten Eingang des ersten Addierers (29a) verbunden sind;

(c) der Ausgang des ersten Addierers (29a) über den zweiten Abschwächer (30b) mit dem zweiten Eingang des ersten Subtrahierers (26a), der Ausgang des zweiten Subtrahierers (26b) über den ersten Abschwächer (30a) und den vierten Quadrierer (32d) mit dem zweiten Eingang des dritten Addierers (29c), der Ausgang des ersten Subtrahierers (26a) über den dritten Quadrierer (32c) mit dem ersten Eingang des dritten Addierers (29c), die Ausgänge des zweiten und dritten Addierers (29b bzw. 29c) jeweils mit einem Eingang des Dividierers (27), und der Ausgang des Dividierers über den Radizierer (31) mit einem Signalausgang (10) für das Nutzsignal verbunden sind; und

(d) die Eingänge der Bandpassfilter (24a, b) und Tiefpassfilter (25a, b, c) mit den Detektoren (17a, b, c) verbunden sind.

11. Faseroptischer Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

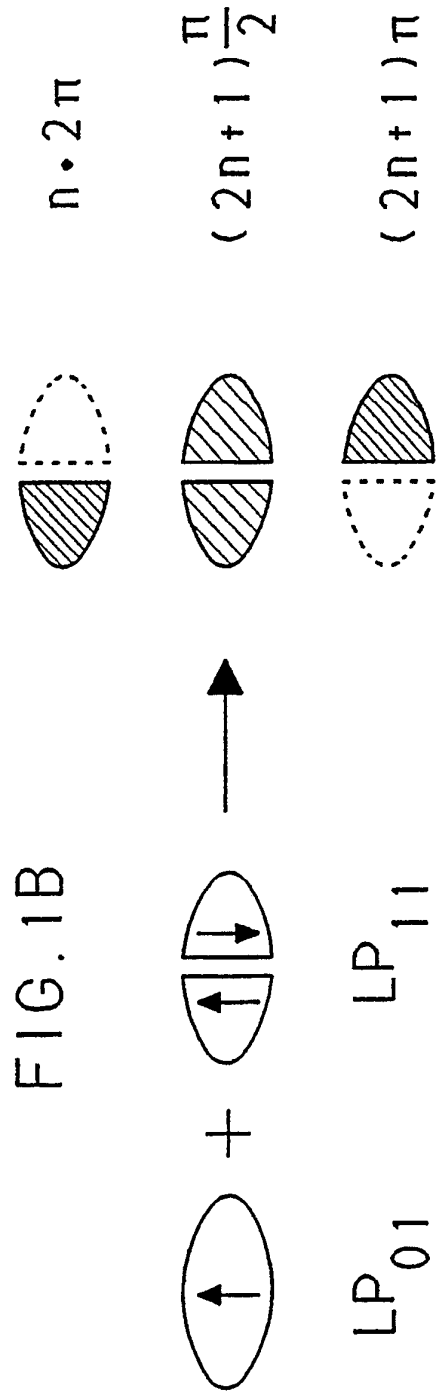
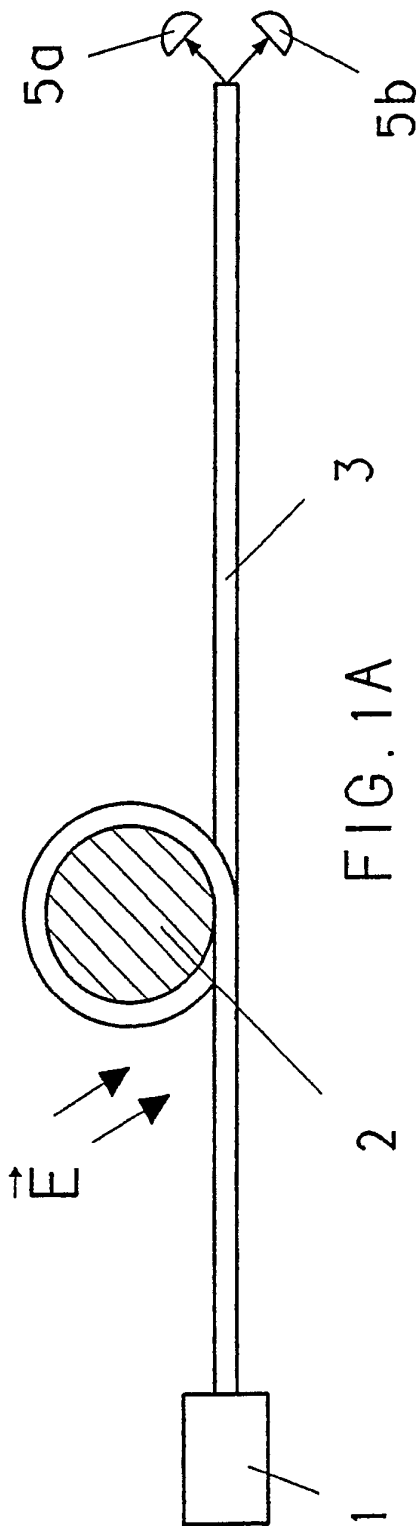
(a) die Zwei-Moden-Faser (3) zusammen mit dem Sensorelement (2) und den optische Mitteln (15) zur Trennung der am Ausgangsende der Zwei-Moden-Faser (3) auftretenden Nah- und Fernfeldsignale einen separaten Sensorkopf (14) bildet;

(b) die kohärente Lichtquelle (1), die Detektoren (17a, b, c) und die elektronischen Mittel (18) zur Gewinnung der Längenänderungs-Information aus diesen Nah- und Fernfeldsignalen Teil einer separaten Sensorelektronik (11) sind;

(c) die kohärente Lichtquelle (1) über eine polarisationserhaltende Ein-Moden-Faser (12) mit dem Eingangsende der Zwei-Moden-Faser (3) optisch verbunden ist; und

(d) die Detektoren (17a, b, c) mit den optischen Mitteln (15) durch separate Glasfasern in Form von Multimoden-Fasern (16a, b, c) optisch verbunden sind.

12. Faseroptischer Sensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil der Multimoden-Fasern (16a, b, c, d) vollständig durch Ein-Moden-Fasern ersetzt ist.



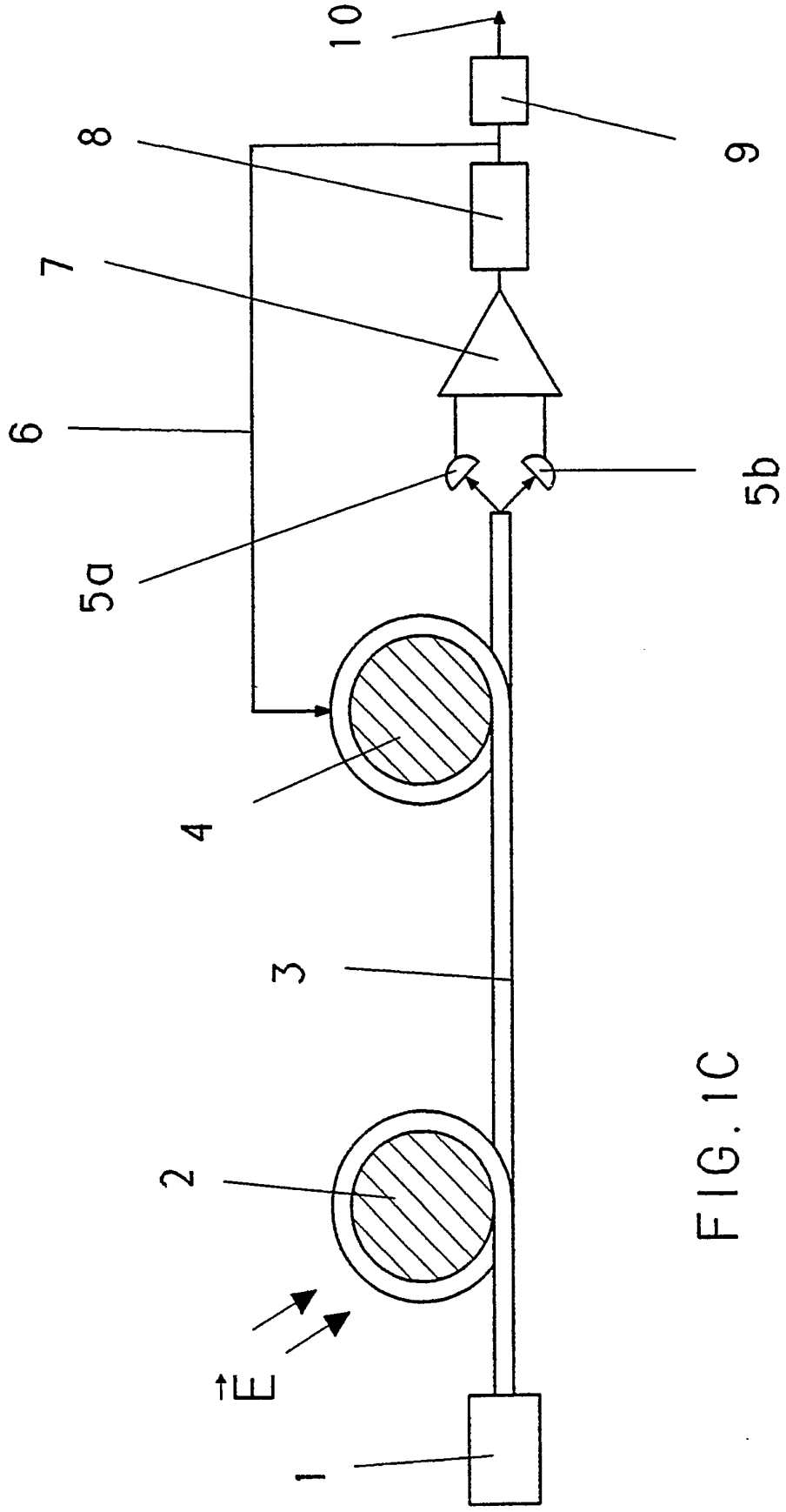
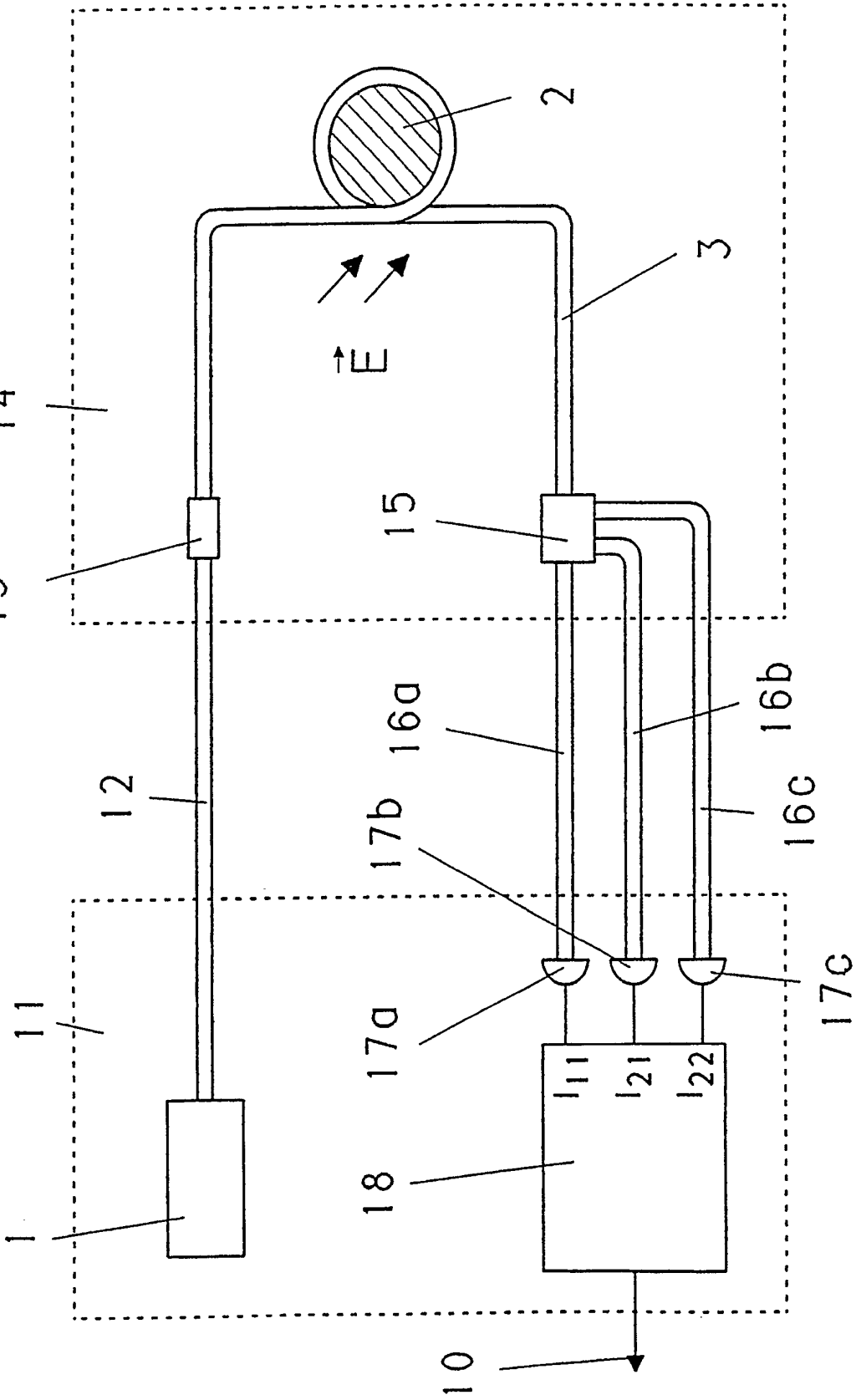
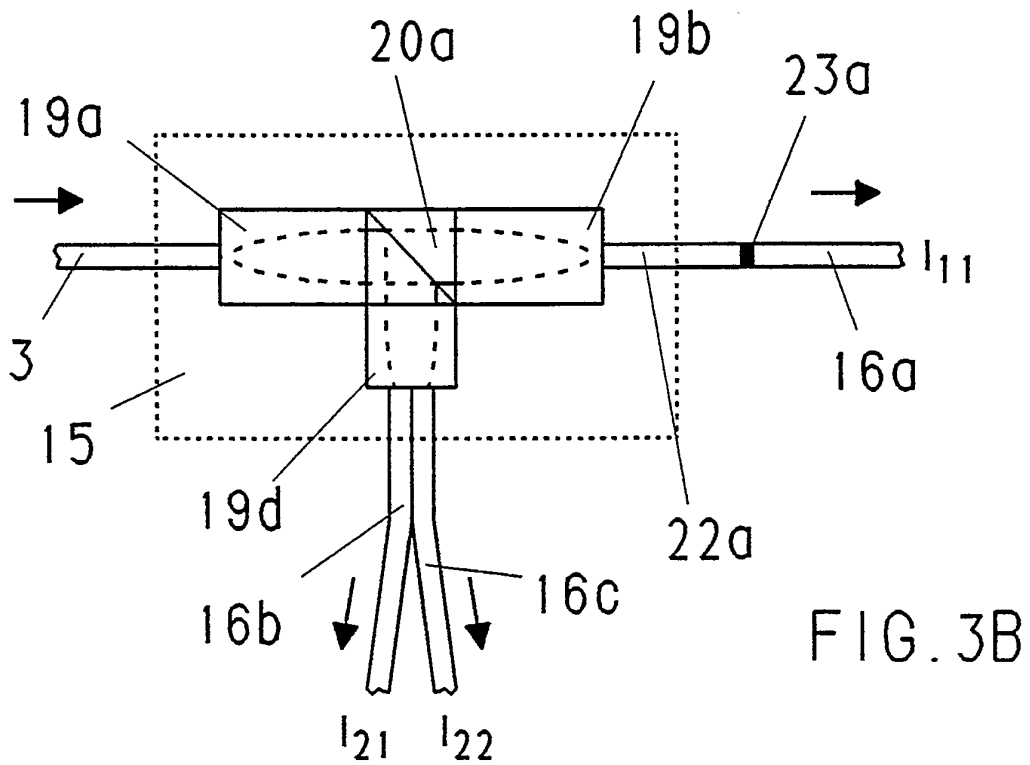
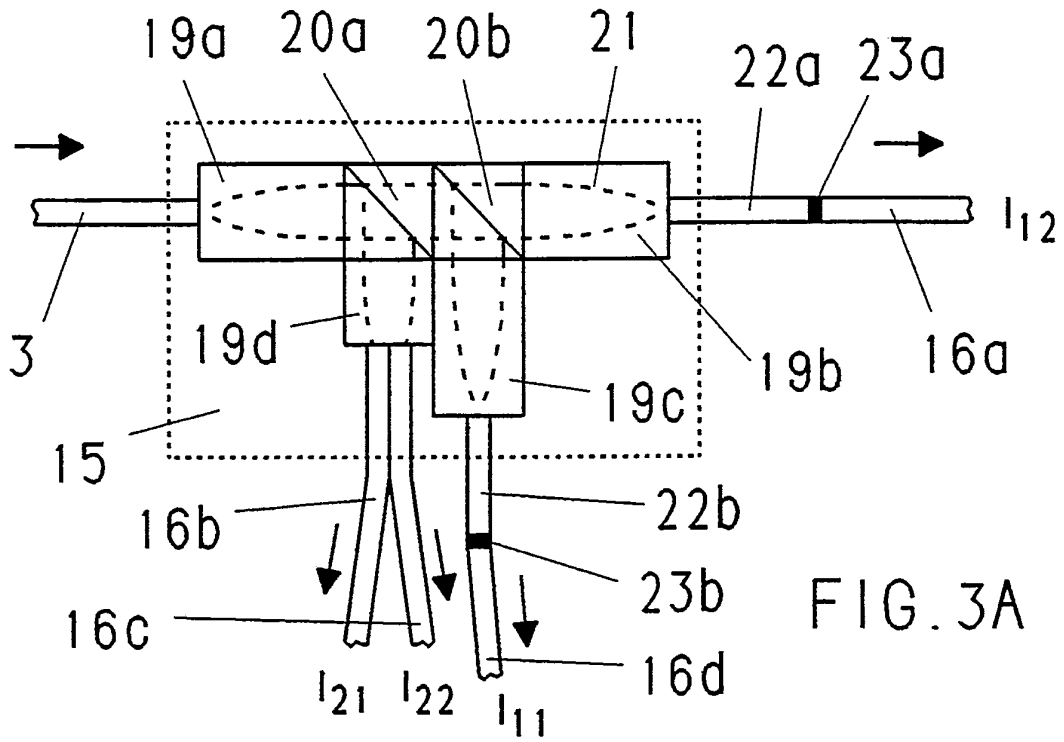


FIG. 1C

FIG. 2





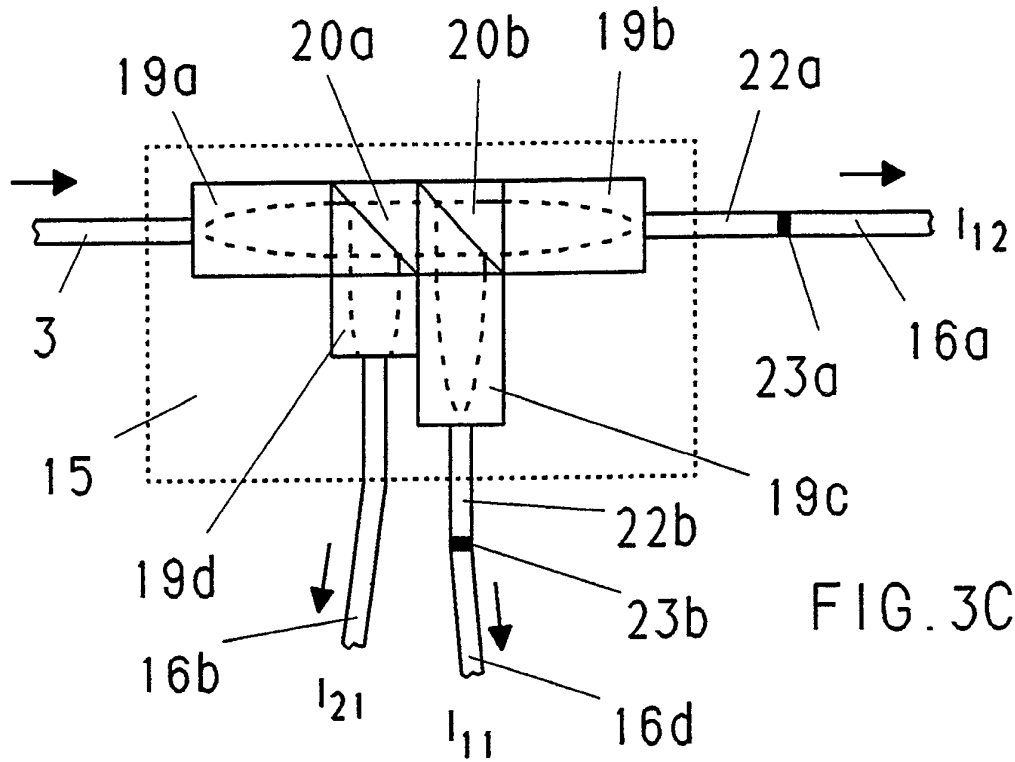


FIG. 3C

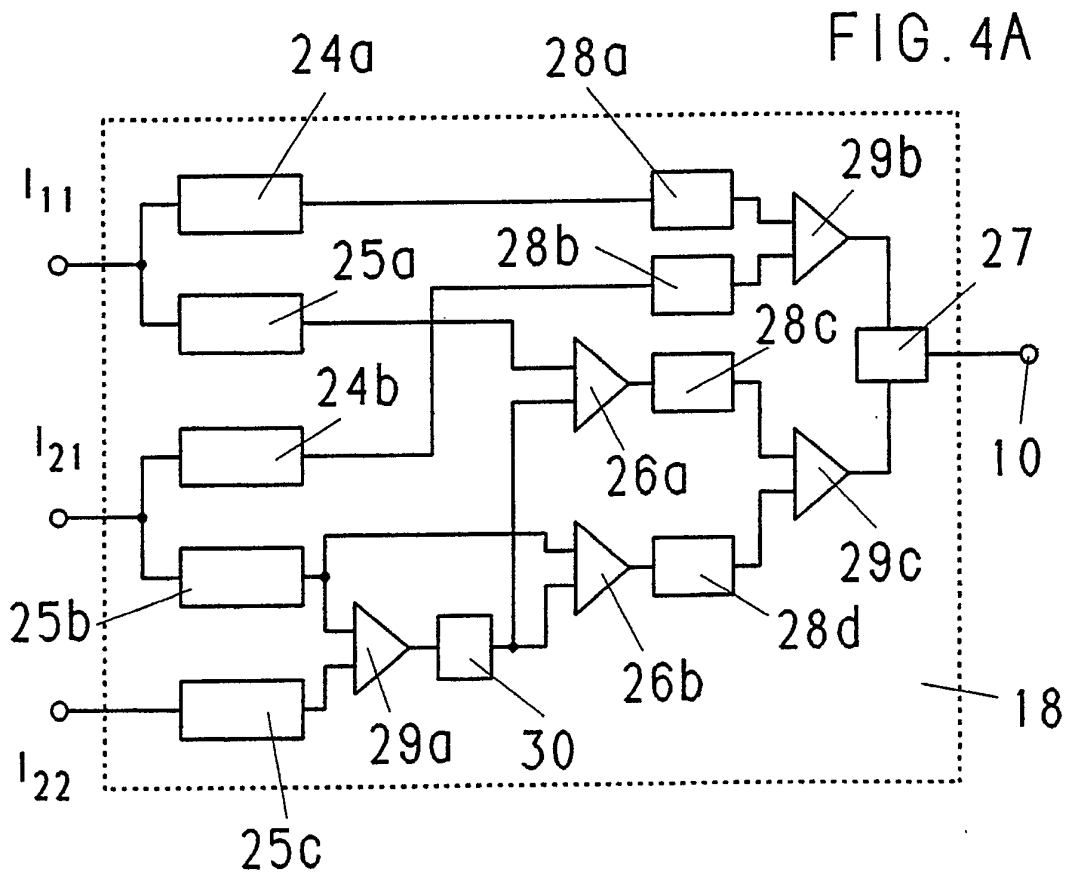


FIG. 4A

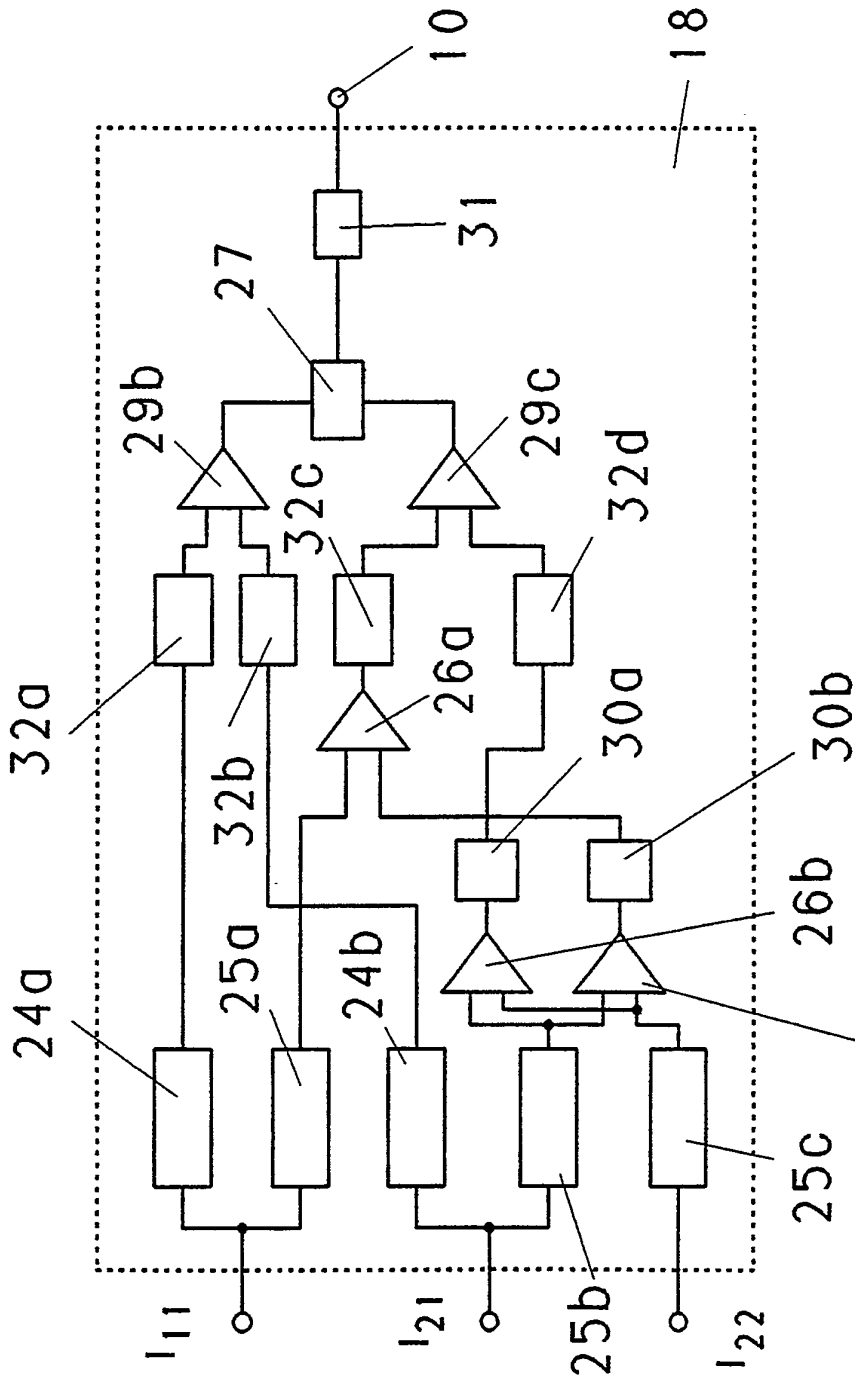


FIG. 4B