

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. November 2001 (15.11.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/86840 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H04B 10/18, (74) Anwalt: MÜLLER BORÉ & PARTNER; Grafinger
G02B 6/27 Strasse 2, 81671 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/01709 (81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU,
(22) Internationales Anmeldedatum: 7. Mai 2001 (07.05.2001) CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK,
SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA,
ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 21 835.0 6. Mai 2000 (06.05.2000) DE
100 21 836.9 6. Mai 2000 (06.05.2000) DE
100 33 821.6 12. Juli 2000 (12.07.2000) DE
100 35 083.6 17. Juli 2000 (17.07.2000) DE
(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US*): PROPHOTONICS GMBH [DE/DE]; Wild-
moosstrasse 12, 82319 Starnberg (DE).

Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): BANDEMER, Adal-
bert [DE/DE]; Schöttlstrasse 2, 85221 Dachau (DE).
KRAUSE, Egbert [DE/DE]; Gartenweg 9b, 09217
Burgstädt (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: POLARIZATION MODE DISPERSION (PMD) COMPENSATOR

(54) Bezeichnung: PMD-KOMPENSATOR

(57) Abstract: The invention relates to a system for compensating for polarization mode dispersion (PMD) related distortions in optical transmission systems and, in particular, transmission fibers comprising: a measuring device for PMD-related distortions; an emulation unit for adjustable PMD values; a polarization transformation element, which matches the polarization of the signal exiting a transmission system to the PMD emulation unit; an evaluation and control unit on which the output signal of the measuring device is located and which controls the emulation unit and the polarization matching element. The invention is characterized in that the emulation unit comprises a PMD emulator, which emulates second order or higher PMD and reproduces the PMD of a real transmission fiber in a most exact possible manner, and in that the at least one PMD emulator compensates one or more transmission channels and/or that the measuring device optically detects the PMD directly or via the detection of polarization states.

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird eine Anordnung zur Kompensation PMD-bedingter Verzerrungen in optischen Transmissionsystemen und insbesondere Transmissionsfasern, mit: einer Messeinrichtung für PMD-bedingte Verzerrungen; einer Emulationseinheit für einstellbare PMD-Werte; einem polarisationstransformationselement, das die Polarisation der aus einem Transmissionsystem austretendem Signal an die PMD-Emulationseinheit anpasst; einer Auswerte- und Steuereinheit, an der das Ausgangssignal der Messeinrichtung anliegt, und die die Emulationseinheit und das Polarisations-Anpasselement steuert. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Emulationseinheit einen PMD-Emulator aufweist, der PMD 2.ter oder höherer Ordnung emuliert und die PMD einer realen Transmissionsfaser möglichst exakt nachbildet, und das der wenigstens eine PMD-Emulator einen oder mehrere Transmissionskanäle kompensiert und/oder dass die Messeinrichtung die PMD direkt oder über die Erfassung von Polarisationszuständen optisch erfasst.



WO 01/86840 A2

PMD-Kompensator

5

B E S C H R E I B U N G10 **Technisches Gebiet**

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur Kompensation PMD-bedingter Verzerrungen in optischen Transmissionsystemen und insbesondere Transmissionsfasern.

15

Da jede Glasfaser ungewollt in geringem Umfange doppelbrechend ist, laufen Lichtsignale unterschiedlicher Polarisation mit verschiedenen Gruppengeschwindigkeiten durch die Glasfaser. Beim Empfänger kommen die Lichtanteile unterschiedlicher Polarisation daher zeitlich gegeneinander verzögert an; dieser Laufzeiteffekt führt zu einer Verbreiterung des empfangenen Signals und damit zu einer Beeinträchtigung der Übertragungsqualität. Dies kann insbesondere zu einer Erhöhung der Bitfehler-

20 rate führen.

25

Die Polarisations-Moden-Dispersion umfaßt alle polarisationsabhängigen Laufzeiteffekte, bei denen sich die Signalausbreitung vollständig durch das Ausbreitungsverhalten zweier voneinander unabhängiger und zueinander orthogonaler Polarisationsmoden beschreiben läßt. Da sich die Doppelbrechung durch äußere Einflüsse, wie Temperatur und mechanische Belastung ständig ändert, und zudem von der Wellenlänge abhängt, verändert sich

30

permanent sowohl die Lage der „principal states of polarisation“ (PSP) als auch die Laufzeitdifferenz zwischen den PSP's. Dies bezeichnet man auch als Polarisations-Moden-Dispersion zweiter Ordnung.

5

Aus den genannten Effekten resultiert ein zeitlich fluktuierendes wellenlängenabhängiges PMD-Verhalten mit Zeitkonstanten im Minutenbereich.

10 Verzerrungen in Transmissionssystemen, die durch Polarisation-Moden-Dispersion (PMD) erzeugt werden, müssen für hochratige Datenübertragungen kompensiert werden, um die Signalqualität zu erhalten.

15 **Stand der Technik**

Eine Anordnung, mit der derartige PMD-bedingte Verzerrungen kompensiert werden können, muß eine Meßeinrichtung für die PMD-bedingten Verzerrungen aufweisen. Des weiteren muß (wenigstens) eine Emulationseinheit für
20 einstellbare PMD-Werte und (wenigstens) ein Anpaßelement bzw. ein Polarisationsstransformationselement vorhanden sein, das die PSP's der aus einem Transmissionssystem austretendem Signale an die PSP's der PMD-Emulationseinheit anpaßt. Die Emulationseinheit und das
25 Polarisationsstransformationselement werden von einer Auswerte- und Steuereinheit gesteuert, an der das Ausgangssignal der Meßeinrichtung anliegt.

Obwohl derartige Anordnungen in der Literatur und insbesondere der Patentliteratur mehrfach vorgeschlagen
30 worden sind, ist bislang keine Anordnungen kommerziell

erhältlich, die praxisgerecht den Anforderungen an eine derartige Anordnung genügen würde.

Der Grund hierfür liegt zum einen darin, daß in der
5 Vergangenheit keine Meßeinrichtung für PMD-bedingte
Verzerrungen zur Verfügung gestanden hat, die ausrei-
chend schnell und hinreichend einfach aufgebaut ist.
Die genaue Ausbildung der Meßeinrichtung ist Gegenstand
einer parallelen Anmeldung. Ein weiterer Grund hierfür
10 ist, daß es keine Emulationseinheit gegeben hat, die
die PMD einer realen Transmissionsfaser und insbesonde-
re einer D-WDM-Faser möglichst exakt nachbilden kann.
Eine spezielle Emulationseinheit, die im Rahmen der
vorliegenden Erfindung ebenfalls einsetzbar ist, ist
15 Gegenstand einer weiteren parallelen Anmeldung.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anord-
nung zur Kompensation PMD-bedingter Verzerrungen in op-
20 tischen Transmissionssystemen und insbesondere Trans-
missionsfasern anzugeben, die eine schnelle und praxis-
gerechte Kompensation der PMD-bedingten Verzerrungen
erlaubt.

25 Erfindungsgemäße Lösungen dieser Aufgabe sind in den
unabhängigen Patentansprüchen angegeben. Weiterbildun-
gen dieser Lösungen sind Gegenstand der abhängigen An-
sprüche.

30 Erfindungsgemäß werden sowohl die Emulationseinheit als
auch die Meßeinrichtung für die PMD-bedingten Verzer-
rungen (alleine oder in Kombination) weitergebildet.

Bei einer Lösung der Erfindung, die die Emulationseinheit betrifft, weist die Emulationseinheit einen PMD-Emulator auf, der auch die PMD 2.ter Ordnung emuliert und die PMD einer realen Transmissionsfaser möglichst exakt nachbildet.

Eine derartige Emulationseinheit ist in der parallelen Patentanmeldung des selben Anmelders beschrieben und weist eine Anordnung zur Kompensation der Dispersion erster Ordnung auf. Nach Durchlaufen dieser Anordnung tritt das Licht in ein Element ein, das die Polarisations-Hauptachsen vor und hinter dem Element um einen geeigneten Winkel zueinander verdreht. Das aus diesem Element austretende Lichtsignal wird in eine Anordnung eingespeist, die aus einem Polarisationssplitter/combiner-Element, einer Verzögerungsstrecke und einem weiteren Polarisationssplitter/combiner-Element zum Zusammenführen der beiden Signalstrecken besteht. Mit dieser Anordnung ist zusätzlich zur Erzeugung einer Polarisations-Moden-Dispersion erster Ordnung auch die Erzeugung einer Dispersion zweiter Ordnung möglich. Von besonderem Vorteil ist es, daß es - ausgehend von einer Anordnung zur Kompensation der Dispersion erster Ordnung - nicht einmal erforderlich ist, zusätzliche Bauelemente, die die Kosten erhöhen würden, zu verwenden. Vielmehr ist es möglich, die erfindungsgemäße Erzeugung einer Polarisations-Moden-Dispersion zweiter Ordnung dadurch zu erhalten, daß der nicht benutzte Eingangsanschluß des zweiten Polarisationssplitter/combiner-Elements als Eingangsanschluß für das Signal dient. Dieses Signal durchläuft dann die Verzögerungsstrecke

und das erste Polarisationsplitter/combiner-Element in Gegenrichtung zum ankommenden Signal. Am vierten Tor des ersten Polarisationsplitter/combiner-Elements wird dieses Signal dann ausgekoppelt. Das ausgekoppelte Signal weist dann die gewünschte Polarisations-Moden-Dispersion erster und zweiter Ordnung auf.

Besonders vorteilhaft ist jedoch die Verwendung einer Emulationseinheit für einstellbare PMD-Werte, die wenigstens eine Verzögerungsleitung aufweist, die über wenigstens eine Polarisationsstellelement-Einheit mit dem Eingangssignal beaufschlagt ist. Insbesondere kann die Emulationseinheit bevorzugt mehrere Polarisationsstellelement-Einheiten aufweisen. Weiterhin ist es bevorzugt, die Verzögerungszeiten zwischen aufeinanderfolgenden Polarisationsstellelement-Einheiten annähernd binär abzustufen.

Mit dem erfindungsgemäßen PMD-Emulator können die PMD-bedingten Verzerrungen eines oder mehrerer Transmissionskanäle kompensiert werden.

Bei einer weiteren Lösung der erfindungsgemäß gestellten Aufgabe, die die Meßeinrichtung für die PMD-bedingten Verzerrungen betrifft, ist diese so ausgebildet, daß sie die PMD direkt oder über die Erfassung von Polarisationszuständen in einem oder mehreren Transmissionskanälen des Transmissionssystems optisch erfaßt. Aufgrund dieser Ausbildung ist es insbesondere möglich, daß das Ausgangssignal der Meßeinrichtung als IST-Signal für die Steuerung der Emulationseinheit oder bei mehrkanaliger Erfassung für die Steuerung mehrerer Emu-

lationseinheiten und der vorgeschalteten Polarisations-
transformationselemente dient.

Dabei ist es von besonderem Vorteil, wenn die Meßein-
5 richtung zusätzlich zur optischen Erfassung wenigstens
einen optoelektrischen Wandler und mindestens einen
Filter aufweist, der das Ausgangssignal des Wandlers
filtert, und daß das Ausgangssignal des Filters als
weiteres Ist-Signal an die Auswerte- und Steuereinheit
10 oder an eine von der Auswerte- und Steuereinheit unab-
hängige Ansteuereinheit für das wenigstens eine Polari-
sationstransformationselement angelegt ist.

In jedem Falle werden jedoch die Stellwerte für die Po-
15 larisationstransformationselemente aufgrund der Messung
definiert einstellt bzw. geregelt, so daß eine Steue-
rung nach dem trial-and-error-Prinzip, wie sie beim
Stand der Technik verwendet wird, entfallen kann.

Dabei ist es - auch i. S. einer unabhängigen Lösung -
20 von besonderem Vorteil, wenn das wenigstens eine Pola-
risationstransformationselement bis zu drei oder mehr
Polarisationsstellelemente bzw. polarisationsbeeinflus-
sende Elemente aufweist, die die Steuer- und Auswerte-
25 einheit oder die Ansteuereinheit aufgrund des Ausgangs-
signals der Meßeinrichtung steuert. Insbesondere kann
jede Polarisationsstellelement-Einheit wenigstens ein
polarisationsbeeinflussendes Element aufweisen, das ei-
ne mechanische Wirkung auf die Fasern ausübt oder an-
30 derweitig die Polarisation beeinflusst.

Die Beeinflussung der Polarisierung kann beispielsweise durch Elemente, wie Flüssigkristall-Polarisationsdreher, YIG-Kristalle oder nematische Bauelemente erfolgen, wobei die vorgenannte Aufzählung nicht vollständig ist. Im Rahmen der Erfindung - auch i. S. einer unabhängigen Lösung - ist es jedoch von besonderem Vorteil, wenn Elemente verwendet werden, die eine mechanische Wirkung ausüben. Diese Elemente können insbesondere Faserquetscher oder -stretcher mit elektrisch steuerbaren Elementen, wie Piezo-Elementen sein, die eine mechanische Wirkung auf die Faser ausüben.

Weiterverwendung von Elementen, die eine mechanische Wirkung ausüben, ist es von besonderem Vorteil, wenn diese zur Verteilung der mechanischen Wirkung auf eine möglichst große Faserlänge einen Ring aufweisen, auf dem die Faser ohne Verdrehung aufgewickelt ist. Hierdurch ist es aufgrund der langen effektiven Faserstrecke möglich, mit vergleichsweise geringen Brücken zu arbeiten. Damit können Fasern mit einem Standard-Coating eingesetzt werden, ohne daß die Lebensdauer der Faser in der Praxis verkürzt werden würde. Beim Stand der Technik ist es dagegen erforderlich, ein besonders hartes Coating zu verwenden, damit die Lebensdauer zumindest nicht über Gebühr verringert wird.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist wenigstens ein druckausübendes Element vorgesehen, an wenigstens einer Stelle Druck auf eine Mehrzahl von Faserstücken der aufgewickelten Faser ausübt. Dieses druckausübende Element kann insbesondere ein elongierendes Element, wie ein Piezoelement sein, das wenigstens ein

Kreissegment der aufgewickelten Fasern beaufschlagt und das am Ring anliegt. Korrespondierend zu den Kreissegmenten sind Gegensegmente vorgesehen, die an den Faserstücken anliegen und Druck auf die Faser ausüben. Diese Ausbildung hat den Vorteil, daß eine Druckausübung auf die Faser ohne "Strecken" der Faser erfolgt. Bei der Ausgestaltung ist es von Vorteil, wenn sie zu erfolgt, daß sich keine thermischen Einflüsse ergeben.

10 Wie bereits ausgeführt, ist bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung vorgesehen, daß jedes Polarisationsstellelement mindestens zwei polarisationsbeeinflussende Elemente aufweist, die die Faser in unterschiedlicher Richtung beeinflussen, wobei diese Richtungen
15 bevorzugt (ca.) 0° und 45° sind.

Diese unterschiedlichen Richtungen können auf unterschiedlicher Art- und Weise erzeugt werden:

20 So ist es möglich, zwischen den polarisationsbeeinflussenden polarisationsdrehende Elemente vorzusehen bzw. polarisationsdrehende Fasern einzuspleisen. Besonders bevorzugt - da einfach und damit kostengünstig - ist es jedoch, wenn die unterschiedlichen Richtungen durch
25 Drehen bzw. „Twisten“ des Faserstücks zwischen zwei aufeinanderfolgenden polarisationsbeeinflussenden Elementen erzeugt werden.

Prinzipiell ist es möglich, daß die Meßeinrichtung für
30 PMD-bedingte Verzerrungen ein an sich bekanntes Polarisimeter ist. Die erfindungsgemäß eingesetzte Meßeinrichtung für PMD-bedingte Verzerrungen kann jedoch insbe-

sondere derart aufgebaut sein, daß das Eingangslichtsignal und das Signal eines bezüglich seiner Wellenlänge durchstimmbaren optischen Elements, z. B. eines Filters oder insbesondere eines Lasers optisch
5 überlagert werden und die zur Messung der PMD-bedingten Verzerrung notwendigen Polarisationszustände fest oder einstellbar erzeugt werden.

Dabei kann es sich für den Fall der Erfassung nur eines
10 Transmissionskanals um ein nur schmalbandig, z.B. über $\pm 0,5$ nm durchstimmbares Element und insbesondere einen Laser handeln. Dieser Laser kann insbesondere ein temperatur- und/oder stromgesteuerter DFB- oder VCSEL-Laser sein. Sollen die PMD-bedingten Verzerrungen mehrerer Transmissionskanäle mit der Meßeinrichtung erfaßt
15 werden, können breitbandig durchstimbare Elemente, wie DBR- oder Faserlaser eingesetzt werden.

Zur Erzeugung der Meßwerte bei insbesondere 3, 4 oder
20 mehr definierten Polarisationszuständen können die Polarisationstransformationselemente wahlweise im Zweig des Eingangssignals oder auch im Zweig des durchstimbaren Elementes vorgesehen sein. Die Elemente können zeitlich nacheinander z. B. die Polarisationszustände
25 0° , 45° , 90° und „zirkular polarisiert“ erzeugen.

Die zur Messung der PMD-bedingten Verzerrungen notwendigen Polarisationszustände können auch gleichzeitig durch eine feste Aufteilung der Eingangssignale oder
30 des durchstimbaren Signals durch eine geeignete Anordnung realisiert werden. Eine derartige Anordnung kann beispielsweise Polarisationsstrahlteiler oder anstelle

von vier Polarisationsstrahlteilern eine Anordnung von vier Prismen aufweisen, die zur Verringerung des Justieraufwandes in Art eines Polarisationsstrahlteilers aufgebaut sind. Faßt man vier Prismen zu einem Würfel
5 zusammen, kann man als Empfänger Balance-Empfänger verwenden, wobei das Signal in die unterschiedlichen Polarisationsanteile aufgespalten und die Detektion mit dem oder den Balance-Empfänger Störungen, die ohne Nutzsignal vorhanden sind, unterdrückt.

10

Bevorzugt ist es weiterhin, wenn die Auswerte- und Steuereinheit die PMD-Kompensation derart regelt, daß der Polarisationszustand des optischen Datensignals über der Wellenlänge (annähernd) konstant gehalten
15 wird.

Wie bereits ausgeführt, kann die Auswerte- und Steuereinheit das wenigstens eine Polarisationsstransformationselement ansteuern. Alternativ und insbesondere wegen
20 der Geschwindigkeit der Regelung ist es jedoch bevorzugt, wenn eine von der Auswerte- und Steuereinheit unabhängige Ansteuereinheit für das wenigstens eine Polarisationsstransformationselement vorgesehen ist. Diese Ansteuereinheit kann insbesondere eine analoge Schaltung sein, sie schneller als ein digitaler Signalprozessor (DSP) oder ein Mikrocontroller ist.
25

Unabhängig von der Art der Ansteuerung ist es besonders bevorzugt, das Polarisationsstransformationselement, das
30 die Polarisation der aus einem Transmissionssystem austretenden Signale an die PMD-Emulationseinheit anpaßt, moduliert angesteuert wird, wobei vorteilhafter Weise

die mindestens zwei polarisationsbeeinflussenden Elemente mit unterschiedlicher Frequenz moduliert werden. Hierzu ist es möglich, daß an der Ansteuereinheit das Ausgangssignal der Emulationseinheit anliegt, und daß
5 die Ansteuereinheit elektrische und/oder optische Filter mit einer auf die Modulationsfrequenzen abgestimmten Durchlaßcharakteristik aufweist.

Um sehr schnell regeln zu können, ist es von besonderem
10 Vorteil, daß zum Erhalt jeweils der Betrags- und Phaseninformation und damit der Regelrichtung und Regelamplitude das Ausgangssignal der Ansteuereinheit mit jeweils einer der Modulationsfrequenzen gemischt wird, und daß die gemischten Signale zur Ansteuerung jeweils
15 eines polarisationsbeeinflussenden Elements dienen.

Durch die Verwendung von Reset-Algorithmen bei der Vorgabe der Stellwerte ist es möglich, nicht nur mit erfindungsgemäßen, sondern auch mit konventionellen Polarisationsstellelementen endlose Transformationen durchzuführen.
20

Die erfindungsgemäße Anordnung hat in jedem Falle den weiteren Vorteil, daß die PMD-Kompensation unabhängig
25 von der Bitrate des optischen Datensignals ist, daß die Meßmethode flexibel ist und keine festen Filter verwendet werden müssen, und daß die Messung nicht durch andere Dispersionseffekte, wie beispielsweise chromatische Dispersion beeinflusst wird.

30

Kurze Beschreibung der Zeichnung

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben, in der zeigen:

- 5 Fig. 1 eine Anordnung zur Kompensation Polarisations-Modulations-Dispersions (PMD)-bedingter Verzerrungen in optischen Transmissionssystemen und insbesondere Transmissionsfasern, und
- 10 Fig. 2 eine erfindungsgemäße Emulationseinheit für PMD höherer Ordnung mit Ansteuerung, und
- Fig. 3 ein erfindungsgemäßes polarisationsbeeinflussendes Element.

15

Darstellung von Ausführungsbeispielen

- Fig. 1 zeigt eine Anordnung zur Kompensation Polarisations-Modulations-Dispersions (PMD)-bedingter Verzerrungen in optischen Transmissionssystemen und insbesondere Transmissionsfasern. Eine Faser (100) ist an den Eingangsanschluß eines Polarisationsstransformationselements (101) angeschlossen. Der Ausgangsanschluß des Polarisationsstransformationselements (101) ist an den Eingangsanschluß einer nachstehend noch näher beschriebenen Emulationseinheit (102) für einstellbare PMD-Werte angelegt. Am Ausgangsanschluß der Emulationseinheit (102) ist eine Meßeinrichtung (103) für PMD-bedingte Verzerrungen angeordnet, die die Polarisationszustände und/oder die PMD-bedingte Verzerrung mittels optischer Überlagerung des Eingang-Lichtsignals und des Signals eines bezüglich seiner Wellenlänge durchstimmbaren optischen Elements und insbesondere ei-
- 20
- 25
- 30

nes Lasers erfaßt. Das durchstimbare optische Element kann ein schmalbandig durchstimbbarer Laser sein, dessen Durchstimbereich zumindest so groß ist, daß er die Messung der PMD-bedingten Verzerrungen eines optischen Übertragungskanals erlaubt. Ferner kann das durchstimbare optische Element ein breitbandig durchstimbbarer Laser sein, dessen Durchstimbereich so groß ist, daß er die Messung der PMD-bedingten Verzerrungen mehrerer optischer Übertragungskanäle erlaubt. Die genaue Ausbildung der Meßeinrichtung ist Gegenstand einer parallelen Anmeldungen.

Weiterhin ist vorteilhafter Weise ein optoelektrischer Wandler mit einem Filter (pauschal mit 104 bezeichnet) vorgesehen, der das Ausgangssignal des Wandlers filtert. Das Ausgangssignal der Meßeinrichtung (103) und des Elements (104) sind als Ist-Signale an eine Auswerte- und Steuereinheit (105) angelegt, die das Polarisationsstransformationselement (101) und die Emulations-einheit (102) steuert.

Erfindungsgemäß weist die Emulationseinheit (102) wenigstens einen PMD-Emulator aufweist, der die PMD 2.ter und höherer Ordnung emuliert und so die PMD einer realen Transmissionsfaser möglichst exakt nachbildet, und der wenigstens einen oder mehrere Transmissionskanäle kompensiert.

Ein Ausführungsbeispiel für eine derartige Emulations-einheit (102) sowie ein Polarisationsstransformationselement (101) ist in Fig. 2 dargestellt.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel weisen das Polarisationsstransformationselement (101) eine Polarisationsstellelement-Einheit (106) und die Emulationseinheit (102) drei Polarisationsstellelement-Einheiten (106) auf, die jeweils von Stelleinheiten (107) angesteuert werden. Zwischen den Einheiten (106) sind Verzögerungsleitungen (108) mit progressiv zunehmender und insbesondere binär gestaffelter Verzögerungszeit (beispielsweise 8 ps, 17 ps, 25ps und 50ps) vorgesehen.

Jede Polarisationsstellelement-Einheit (106) weist bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel drei Faserquetscher mit beispielsweise Piezo-Elementen auf, deren "Wirkrichtungen" 0° , 45° und 0° sind. Diese Faserquetscher können insbesondere Elemente sein, wie sie in Verbindung mit Fig. 2 noch beschrieben werden.

Am Ausgangsanschluß der Emulationseinheit (102) ist ein erster Faserkoppler (109) vorgesehen, der beispielsweise fünf Prozent des austretenden Lichts "in einen zweiten Faserkoppler (110) abzweigt". Der zweite Faserkoppler (110) teilt das Licht in geeigneter Weise so auf, daß ein Teil des Lichts in die Meßeinrichtung (103) für die Auswerte- und Steuereinheit (105) für die Emulationseinheit (102), die die Stellwerte für das Polarisationsstransformationselement aufgrund der Messung definiert einstellt, und ein anderer Teil des Lichts in eine von der Auswerte- und Steuereinheit (105) unabhängige Ansteuereinheit (111) für das Polarisationsstransformationselement (101) eintritt.

Die Auswerte- und Steuereinheit (105) weist in an sich bekannter Weise einen Mikrocontroller oder einen digitalen Signalprozessor auf.

- 5 Die Meßeinrichtung (103) erfaßt die Polarisationszustände und/oder die PMD-bedingte Verzerrung mittels optischer Überlagerung des Eingangs-Lichtsignals und des Signals eines bezüglich seiner Wellenlänge durchstimmbaren optischen Elements. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Meßeinrichtung (103) einen durchstimmbaren Laser (112), dessen Durchstimmbereich
10 zumindest so groß ist, daß er die Messung der PMD-bedingten Verzerrungen zumindest eines optischen Übertragungskanals erlaubt, sowie Elemente zur Erzeugung
15 der für die PMD-Meßwerte notwendigen Polarisationszustände und geeignete Empfangselemente auf, deren Ausgangssignale nach einer Analog/Digital-Umsetzung an die Auswerte- und Steuereinheit (105) angelegt sind. Die Elemente umfassen insbesondere Strahlteiler, optoelektronische Empfänger, Dioden, Verstärker etc. sowie Analog/Digital-Wandler.
20

- Die Ansteuereinheit (111) weist einen optoelektronischen Empfänger (113), einen Verstärker (114), einen
25 Bandpaß (115) sowie weitere Elemente auf, die ein gefiltertes elektrisches Signal an Mischelemente (116) anlegen. An die Mischelemente (116) ist ferner das Signal jeweils eines Sinusgenerator (117) angelegt. Die Frequenzen der einzelnen Sinusgeneratoren (117) sind
30 unterschiedlich und betragen beispielsweise 50 kHz, 55 kHz und 60 kHz. Die gemischten Signale werden jeweils über einen Tiefpaß (118) und einen integrierenden Ver-

stärker (119) an einen Addierer (120) angelegt, an dem auch das Signal der jeweiligen Sinusgeneratoren (117) sowie Steuer- bzw. Resetsignale der Auswerte- und Steuereinheiten (105) anliegen. Das Ausgangssignal der Addierer (120) steuert jeweils eine Stelleinheit (107) für jeweils ein polarisationsbeeinflussendes Element der Einheit (106) des Polarisationsstransformationselements (101).

10 Die in Fig. 2 dargestellte Konfiguration hat den Vorteil, daß durch die Modulation sehr schnell die Betrags- und Phaseninformation und damit eine Information über die Regelrichtung und Regelamplitude das Ausgangssignal der Ansteuereinheit erhalten wird, so daß die
15 Regelung außerordentlich schnell ist.

Fig.3 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform für ein Element, das zur Polarisationsbeeinflussung eine mechanische Wirkung auf die Faser (100) ausübt. Zur Verteilung der mechanischen Wirkung auf eine möglichst große Faserlänge ist in einem Gehäuse (121') ein Ring (121) vorgesehen, auf dem die Faser (100) ohne Verdrehung aufgewickelt ist. Nicht dargestellt sind die Einführung der Faser in den Ring und die Herausführung der Faser
20 aus dem Ring bzw. dem Gehäuse. Der Ring (121) besteht beispielsweise aus einem dünnen, verformbaren Edelstahlteil. In dem Ring (121) ist ein druckausübendes Element (122), beispielsweise ein Piezoelement angeordnet, das sich - einseitig über ein Ausgleichselement
25 (122') - an zwei Kreissegmenten (123) abstützt, die wiederum an dem Ring (121) anliegen. Gegenüberliegend zu den Kreissegmenten (123) sind Gegensegmente (124)

vorgesehen, die sich am Gehäuse (121') abstützen und an den Faserstücken anliegen, so daß sie bei einer entsprechenden Elongation des Elements (122) Druck auf die Faser (100) ausüben. Durch eine Elongation des Piezo-
5 elements (122) kann damit gezielt die Faser (100) mechanisch belastet werden.

PATENTANSPRÜCHE

- 5 1. Anordnung zur Kompensation Polarisations-
Modulations-Dispersionen (PMD)-bedingter Verzerrun-
gen in optischen Transmissionssystemen und insbe-
sondere Transmissionsfasern, mit
- 10 - einer Meßeinrichtung für PMD-bedingte Verzer-
rungen,
 - einer Emulationseinheit für einstellbare PMD-
Werte,
 - gegebenenfalls wenigstens einem Polarisati-
onstransformationselement, das die Polarisati-
15 on der aus einem Transmissionssystem aus-
tretenden Signale an die PMD-
Emulationseinheit anpaßt,
 - einer Auswerte- und Steuereinheit, an der das
Ausgangssignal der Meßeinrichtung anliegt,
20 und die die Emulationseinheit und gegebenen-
falls das Polarisations-Anpaßelement steuert,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Meßeinrichtung die
PMD direkt oder über die Erfassung von Polarisati-
onzuständen wenigstens eines Transmissionskanals
25 optisch durch Überlagerung des Signals des Trans-
missionskanals mit dem schmalbandigen Signal einer
Lichtquelle erfaßt.
- 30 2. Anordnung nach Anspruch 1,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Meßeinrichtung ei-
nen optoelektrischen Wandler und wenigstens einen
Filter aufweist, der das Ausgangssignal des Wand-

lers filtert, und
daß das Ausgangssignal des Filters als weiteres
Ist-Signal an die Auswerte- und Steuereinheit an-
gelegt ist.

5

3. Anordnung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1
oder nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Emulationseinheit
einen PMD-Emulator aufweist, der PMD 2.ter und ge-
gebenfalls höherer Ordnung emuliert und die PMD
einer realen Transmissionsfaser möglichst exakt
nachbildet, und
daß der wenigstens eine PMD-Emulator wenigstens
einen Transmissionskanal kompensiert.

10

15

4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Emulationseinheit
und/oder das wenigstens eine Polarisationsstrans-
formationselement wenigstens eine Verzögerungslei-
tung aufweist, die über wenigstens eine Polarisati-
onsstellelement-Einheit mit dem Eingangssignal
beaufschlagt ist.

20

25

5. Anordnung nach Anspruch 4,
dadurch **gekennzeichnet**, daß mehr als eine Verzöge-
rungsleitung vorgesehen, und
daß die Verzögerungszeiten der einzelnen Leitung
in etwa binär gestaffelt sind.

30

6. Anordnung nach Anspruch 4 oder 5,
dadurch **gekennzeichnet**, daß jede Polarisations-
stell-element-Einheit wenigstens ein polarisati-

onsbeeinflussendes Element aufweist, das eine mechanische Wirkung auf die Fasern ausübt oder anderweitig die Polarisierung beeinflusst.

- 5 7. Anordnung nach Anspruch 6,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Elemente, die anderweitig die Polarisierung beeinflussen, Flüssigkristall-Polarisationsdreher, YIG-Kristalle oder nematische Bauelemente sind.
- 10
8. Anordnung nach Anspruch 6,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Elemente, die eine mechanische Wirkung ausüben, Faserquetscher oder -stretcher mit elektrisch steuerbaren Elementen,
15 wie Piezo-Elementen sind, die eine mechanische Wirkung auf die Faser ausüben.
9. Anordnung nach Anspruch 8,
dadurch **gekennzeichnet**, daß wenigstens eines der
20 Elemente, die eine mechanische Wirkung ausüben, zur Verteilung der mechanischen Wirkung auf eine möglichst große Faserlänge einen Ring aufweist, auf dem die Faser ohne Verdrehung aufgewickelt ist.
- 25
10. Anordnung nach Anspruch 9,
dadurch **gekennzeichnet**, daß wenigstens ein druckausübendes Element an wenigstens einer Stelle
Druck auf eine Mehrzahl von Faserstücken der aufgewickelten Faser ausübt.
30

11. Anordnung nach Anspruch 10,
dadurch **gekennzeichnet**, daß das durckausübende
Element ein elongierendes Element, wie ein Piezo-
element ist, das wenigstens ein Kreissegment be-
aufschlagt, das am Ring anliegt, und
5 daß wenigstens zu einem Teil der Kreissegmente Ge-
gensegmente vorgesehen sind, die an den Faserstück-
ken anliegen und Druck auf die Faser ausüben.
- 10 12. Anordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 11,
dadurch **gekennzeichnet**, daß jedes Polarisations-
stellelement mindestens zwei polarisationsbeein-
flussende Elemente aufweist, die die Faser in un-
terschiedlicher Richtung beeinflussen.
- 15 13. Anordnung nach Anspruch 12,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Richtungen 0° und
 45° sind.
- 20 14. Anordnung nach Anspruch 12 oder 13,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die unterschiedlichen
Richtungen durch Drehen bzw. „Twisten“ des Faser-
stücks zwischen zwei aufeinanderfolgenden polari-
sationsbeeinflussenden Elementen erzeugt werden.
- 25 15. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Meßeinrichtung für
PMD-bedingte Verzerrungen ein an sich bekanntes
Polarimeter ist.
- 30 16. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Meßeinrichtung die

5 Polarisationszustände und/oder die PMD-bedingte Verzerrung mittels optischer Überlagerung des Eingangs-Lichtsignals und des Signals eines bezüglich seiner Wellenlänge durchstimmbaren optischen Elements und insbesondere eines Lasers optisch erfaßt.

10 17. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch **gekennzeichnet**, daß das durchstimmbare optische Element ein schmalbandig durchstimmbarer Laser ist, dessen Durchstimmbereich zumindest so groß ist, daß er die Messung der PMD-bedingten Verzerrungen eines optischen Übertragungskanals erlaubt.

15 18. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch **gekennzeichnet**, daß das durchstimmbare optische Element ein breitbandig durchstimmbarer Laser ist, dessen Durchstimmbereich so groß ist, daß er die Messung der PMD-bedingten Verzerrungen mehrerer optischer Übertragungskanäle erlaubt.

20 19. Anordnung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Elemente zur Erzeugung der für die PMD-Meßwerte notwendigen Polarisationszustände entweder im Lichtweg des Eingangs-Lichtsignals oder im Lichtweg des durchstimmbaren optischen Elements angeordnet sind.

30 20. Anordnung nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch **gekennzeichnet**, daß die notwendigen Polarisationszustände zeitlich hintereinander durch

veränderte Polarisationsstellelemente und/oder mittels eines optischen Aufbaus aus Strahlteilern oder aus Prismen sowie Wellenplatten für einen Polarisations-Diversity-Empfang erzeugt werden.

5

21. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Auswerte- und Steuereinheit die PMD-Kompensation derart regelt, daß der Polarisationszustand des optischen Datensignals über der Wellenlänge konstant ist.
- 10
22. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Auswerte- und Steuereinheit das wenigstens eine Polarisations-transformationselement ansteuert.
- 15
23. Anordnung nach Anspruch 22, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Auswerte- und Steuereinheit die Stellwerte für das Polarisations-transformationselement aufgrund der Messung definiert einstellt.
- 20
24. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch **gekennzeichnet**, daß eine von der Auswerte- und Steuereinheit unabhängige Ansteuereinheit für das wenigstens eine Polarisations-transformationselement vorgesehen ist.
- 25
25. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Polarisations-transformationselement, das die Polarisation der aus einem Transmissionssystem austretenden Signale
- 30

an die PMD-Emulationseinheit anpaßt, moduliert angesteuert wird.

26. Anordnung nach Anspruch 25,
5 dadurch **gekennzeichnet**, daß die mindestens zwei polarisationsbeeinflussenden Elemente mit unterschiedlicher Frequenz moduliert werden.
27. Anordnung nach Anspruch 26,
10 dadurch **gekennzeichnet**, daß an der Ansteuereinheit das Ausgangssignal der Emulationseinheit anliegt, und
daß die Ansteuereinheit elektrische und/oder optische Filter mit einer auf die Modulationsfrequenzen
15 abgestimmten Durchlaßcharakteristik aufweist.
28. Anordnung nach Anspruch 26 oder 27,
dadurch **gekennzeichnet**, daß zum Erhalt jeweils der Betrags- und Phaseninformation und damit der Re-
20 gelrichtung und Regelamplitude das Ausgangssignal der Ansteuereinheit mit jeweils einer der Modulationsfrequenzen gemischt wird, und
daß die gemischten Signale zur Ansteuerung jeweils eines polarisationsbeeinflussenden Elements die-
25 nen.
29. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 28,
dadurch **gekennzeichnet**, daß die Auswerte- und Steuereinheit mittels Reset-Algorithmen eine end-
30 lose Polarisationsstransformation durch Veränderung der Sollwerte für die einzelnen Stellelemente des Polarisationsstransformationselements ausführt.

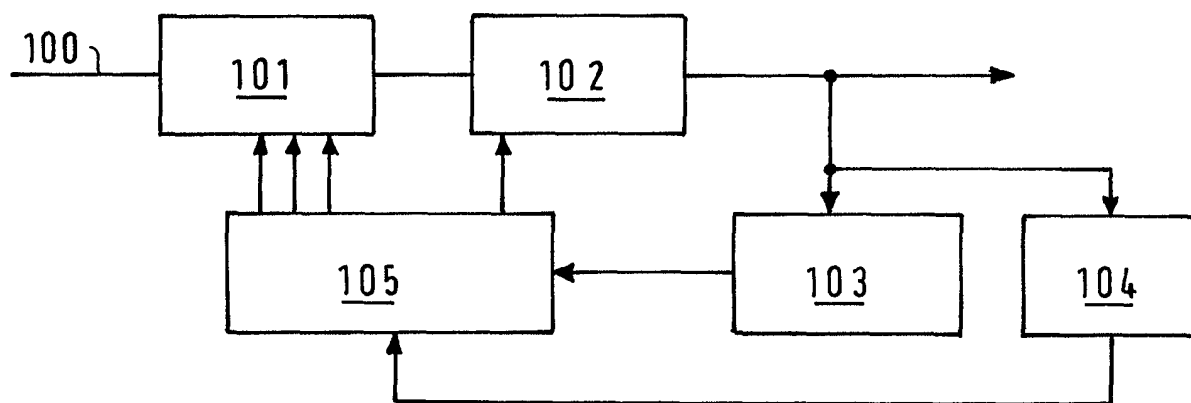


Fig.1

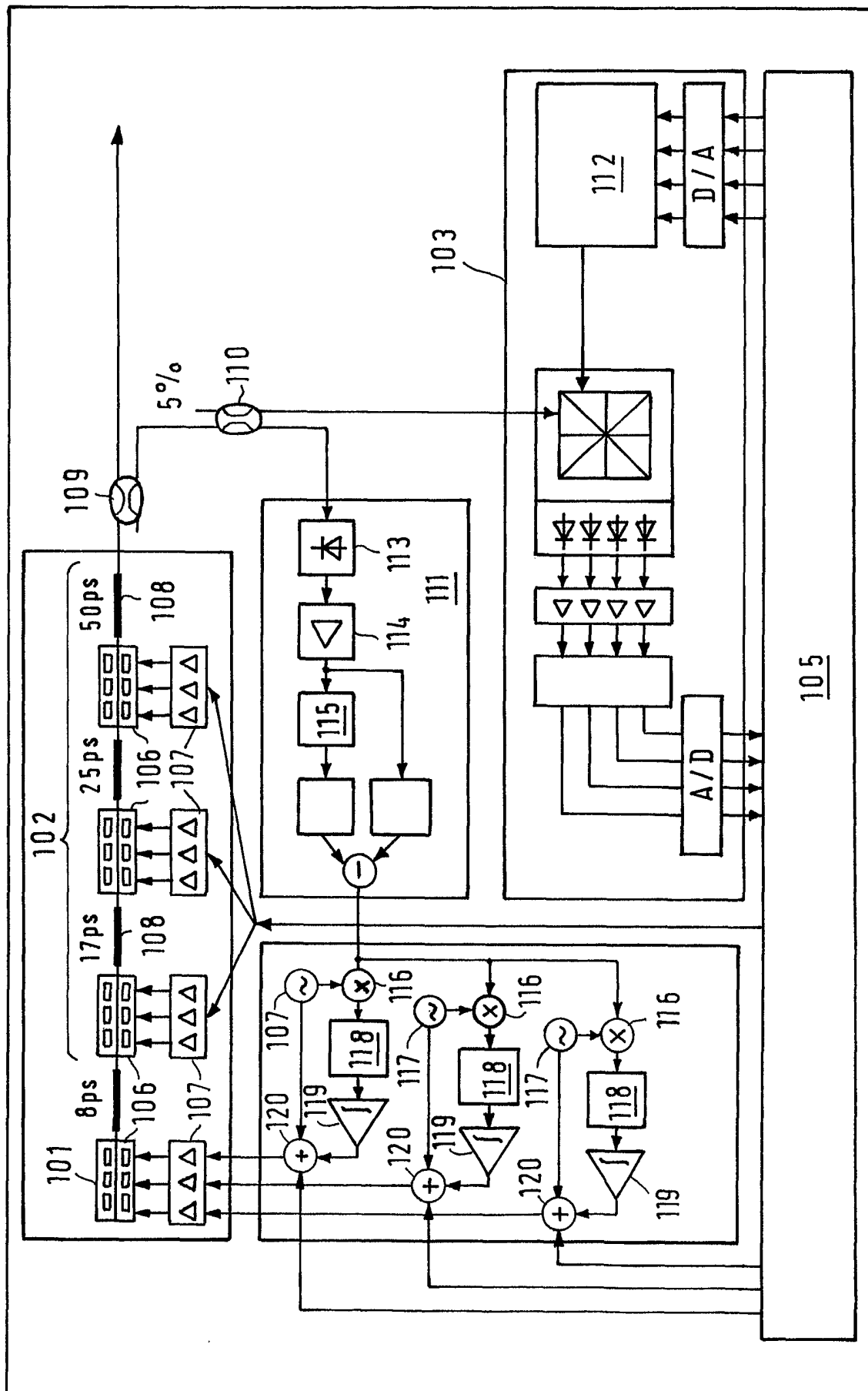


Fig.2

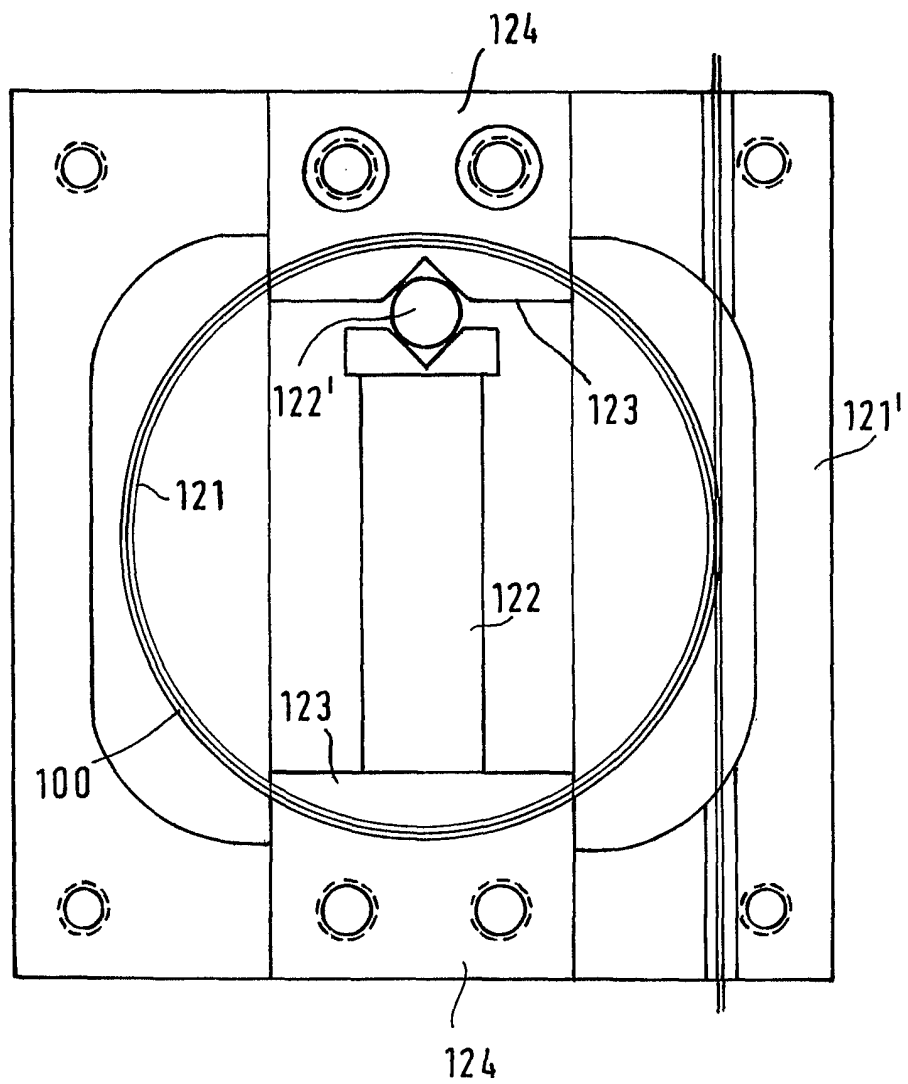


Fig. 3