



(10) **DE 10 2017 128 596 B3** 2019.03.21

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 128 596.2**
 (22) Anmeldetag: **01.12.2017**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **21.03.2019**

(51) Int Cl.: **H01S 3/30 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, dieses vertreten durch den Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, DE

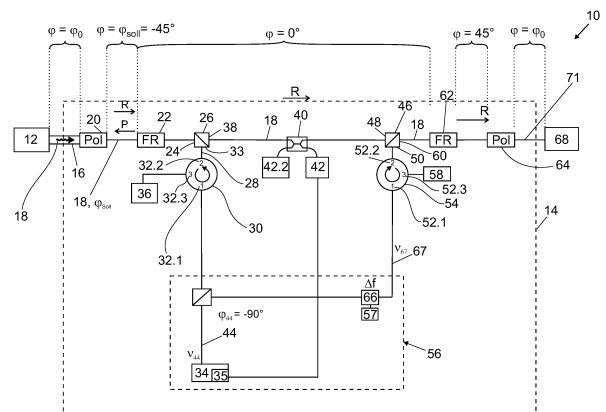
(72) Erfinder:
Kuhl, Alexander, Dr., 38122 Braunschweig, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
EP 2 793 328 A1

(74) Vertreter:
Gramm, Lins & Partner Patent- und Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig, DE

(54) Bezeichnung: **Optischer Verstärker zum Verstärken von polarisiertem Signal-Licht und Verfahren zum Verstärken von Signal-Licht in einem bidirektionalen Glasfasernetz**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen optischen Verstärker (14) zum Verstärken von polarisiertem Signal-Licht (18), mit (a) einer Glasfaser (16) zum Leiten des Signal-Lichts (18), (b) einem Polarisationssteller (20), der angeordnet ist zum Drehen einer Signallicht-Polarisationsebene des Signal-Lichts (18) auf eine vorgegebene Orientierung (φ_{Soll}), (c) einem Faraday-Rotator (22), der hinter dem Polarisationssteller (20) angeordnet ist, zum Drehen der Polarisationssebene des Signal-Lichts (18) um einen vorgegebenen Polarisations-Drehwinkel ($\Delta\varphi$, vorzugsweise 45°), (d) einem in Signallicht-Ausbreitungsrichtung (R) hinter dem Faraday-Rotator (22) angeordneten Polwürfel (26) zum polarisationsselektiven Strahlteilen, der einen ersten Eingang (24) für Signal-Licht (18) vom Faraday-Rotator (22), einen zweiten Eingang (33) und einen Ausgang (38) hat, und (e) einem Pumplaser (34), der an den zweiten Eingang (33) angeschlossen ist und ausgebildet ist zum Erzeugen von Pumplicht (44), mit dem das Signal-Licht (18) mittels stimulierter Brillouin-Streuung verstärkbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen optischen Verstärker zum Verstärken von polarisiertem Signal-Licht und Verfahren zum Verstärken von Signal-Licht in einem bidirektionalen Glasfasernetz.

[0002] Derartige optische Verstärker werden zum Verstärken von Signalen in Glasfaserleitungen eingesetzt. Ein Einsatzgebiet für derartige Glasfasern ist die Übertragung hochgenauer Frequenzen von einer Signalquelle in Form einer hochgenauen Uhr zu einem Ziel, bei dem es sich ebenfalls um eine hochgenaue Uhr handeln kann, sodass beide Uhren miteinander synchronisiert oder verglichen werden können.

[0003] In Glasfasern kommt es unvermeidlich zu einer Schwächung des Lichtsignals, sodass das Lichtsignal in regelmäßigen Abständen verstärkt werden muss. Je effektiver die Verstärkung gelingt, desto weniger Verstärkerstationen sind notwendig, was den Aufwand minimiert.

[0004] Bekannt ist, die Signale mittels EDFAs zu verstärken (EDFA: Erbium-dotierter Faserverstärker). Für die Verwendung zweier hochgenauer Uhren muss die Glasfaserverbindung bidirektional sein. Die Bidirektionalität limitiert die Verstärkung mittels EDFAs auf ungefähr 17 dB.

[0005] Eine weitere Verstärkertechnik ist die Brillouin-Verstärkung, die beispielsweise aus der EP 2 793 328 A1 bekannt ist. Hierbei wird das Licht eines Pumpasers entgegen der Signallicht-Ausbreitungsrichtung in die Glasfaser eingekoppelt. Beim Brillouin-Prozess werden mit dem Pumpaser akustische Schwingungen in der Glasfaser angeregt. Dieser Prozess beginnt ab etwa 3 bis 5 mW für schmalbandiges Laserlicht und erstreckt sich über eine Länge von einigen Kilometern in der Glasfaser. Durch die akustischen Schwingungen wird das Laserlicht entlang dieser Strecke zum Teil reflektiert. Notwendig ist eine Frequenzdifferenz zwischen Signallicht-Frequenz und Laserlicht, die beispielsweise ungefähr 11 GHz bei einer Signallicht-Wellenlänge von 1550 nm in Telekommunikationsglasfasern beträgt. Wenn die Brillouin-Streuung in der optischen Frequenz genau mit der Frequenz des Signallichts übereinstimmt, wird aus der spontanen Brillouin-Streuung eine stimulierte Streuung und das Signallicht wird verstärkt. Bisherige Versuche zur Verstärkung mittels stimulierter Brillouin-Streuung haben gezeigt, dass eine höhere Verstärkung und eine bessere/einfachere Polarisationskontrolle wünschenswert wäre.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

[0007] Die Erfindung löst das Problem durch einen optischen Verstärker zur Verstärkung von polarisier-

tem Signal-Licht mit (a) einer Glasfaser zum Leiten des Signal-Lichts, (b) einem Polarisationssteller, der angeordnet ist zum Drehen einer Signallicht-Polarisationsebene des Signal-Lichts auf eine vorgegebene Orientierung, (c) einem Faraday-Rotator zum Drehen der Polarisationssebene des Signal-Lichts um einen vorgegebenen Polarisations-Drehwinkel, der vorzugsweise 45° beträgt, (d) einem in Signallicht-Ausbreitungsrichtung hinter dem Faraday-Rotator angeordneten Polwürfel zum polarisationsselektiven Strahlteil, der einen ersten Eingang für Signal-Licht vom Faraday-Rotator, einen zweiten Eingang und einen Ausgang hat und (e) einem Pumpaser, der an den zweiten Eingang angeschlossen ist und ausgebildet ist zum Erzeugen von Pumplicht, mit dem das Signal-Licht mittels stimulierter Brillouin-Streuung verstärkbar ist.

[0008] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einem Polarisationssteller insbesondere ein Bauelement verstanden, das die Ausrichtung der Polarisationsachsen, beispielsweise durch eine mechanische Belastung einer Faser mit Druck oder Torsion, kontrolliert ändert.

[0009] Unter einem Polwürfel wird insbesondere ein polarisierender Strahlteiler verstanden.

[0010] Vorteilhaft an diesem optischen Verstärker ist, dass die Einkopplung des Pumplichts in die Glasfaser verbessert ist. Vorteilhaft ist zudem, dass die Verluste des Signal-Lichts durch den Verstärker verringert sein können. So wird das Signal-Licht innerhalb des optischen Verstärkers meist nur um ca. 1 bis 6 dB abgeschwächt, was eine Verbesserung gegenüber bekannten Systemen von zumindest 2 dB darstellt. Zumindest theoretisch kann das Pumplicht ohne Verluste eingekoppelt werden. Auch wenn es real zu Verlusten von häufig 3 dB kommt, so sind dies noch immer 2 dB weniger als bei bekannten Systemen.

[0011] Durch die höhere Verstärkung ist es beispielsweise ausreichend, auf einer Glasfaserleitung zwischen Braunschweig und Straßburg nur drei optische Verstärker vorzusehen, mit der herkömmlichen Technik z. B. mit bidirektionalen EDFA, wären deutlich mehr Verstärker notwendig. Eine verbesserte Polarisationskontrolle bei Verstärkern mittels stimulierter Brillouin-Streuung vermindert (erheblich) die Ausfallhäufigkeit und somit werden Ausfallzeiten minimiert.

[0012] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform besitzt der optische Verstärker (a) eine Intensitätsmessvorrichtung und (b) einen Drei-Port-Zirkulator, der mit seinem ersten Port mit dem Pumpaser verbunden ist, mit seinem zweiten Port mit dem zweiten Eingang des Polwürfels verbunden ist und mit seinem dritten Port mit der Intensitätsmessvorrichtung ver-

bunden ist, sodass Signal-Licht vom Polwürfel vom zweiten Port zum dritten Port leitbar ist, wobei der Polsteller auf eine minimale vom Intensitätsmesser gemessene Intensität geregelt ist. In anderen Worten existiert eine Schaltung, insbesondere eine elektronische Schaltung, die so ausgebildet ist, dass der Polsteller die Polarisationssebene um einen solchen Polarisations-Drehwinkel dreht, dass die Intensität, die der Intensitätsmesser misst, minimal wird. In anderen Worten wird durch verändern des Polarisations-Drehwinkels die gemessene Intensität minimiert.

[0013] Vorteilhaft an dieser Ausgestaltung ist, dass der Polarisations-Drehwinkel besonders genau und sicher bestimmbar ist. Ist nämlich die gemessene Intensität null, so ist der Polarisations-Drehwinkel optimal. Das Verschwinden eines Signals ist einfacher zu detektieren als, wie bei bisherigen Lösungen üblich, auf ein Maximum zu regeln, da die Höhe des Maximums in der Regel unbekannt ist.

[0014] Vorzugsweise besitzt der optische Verstärker einen Koppler, der in Signallicht-Ausbreitungsrichtung hinter dem ersten Polwürfel angeordnet ist und insbesondere mit dem Ausgang des ersten Polwürfels verbunden ist, wobei der Verstärker zudem einen Intensitätsmonitor zum Messen einer Intensität des vom Koppler ausgekoppelten Lichts aufweist und wobei der Polsteller auf eine maximale vom Intensitätsmonitor gemessene Intensität geregelt ist. Die Regelung mittels der vom Intensitätsmonitor gemessenen Intensität ist hierarchisch der Regelung des Polstellers auf eine minimale vom Intensitätsmesser gemessene Intensität untergeordnet. Vorzugsweise koppelt der Koppler höchstens 20 %, insbesondere höchstens 15 %, der Lichtleistung aus. Auf diese Weise werden die Verluste an Lichtintensität klein gehalten und die vom optischen Verstärker erreichbare Verstärkung vergrößert.

[0015] Vorzugsweise besitzt der Pumplaser eine Regelvorrichtung zum Regeln einer Pumplicht-Frequenz des Pumplichts, sodass die Intensität des vom Koppler ausgekoppelten Lichts maximal wird. Bei typischen Glasfasern muss das Pumplicht in der Frequenz ca. 10 bis 13 GHz höher sein als eine Signallicht-Frequenz des Signal-Lichts. Die Pumplicht-Frequenz wird so gewählt, dass das Signal-Licht durch stimulierte Brillouin-Streuung verstärkt wird. Welche Frequenz das genau ist, wird in Vorversuchen ermittelt. Dabei wird die Frequenz des Signal-Lichts kontinuierlich verändert und die erreichbare Verstärkung ermittelt.

[0016] Günstig ist es, wenn der optische Verstärker (f) einen zweiten Polwürfel, der in Signallicht-Ausbreitungsrichtung hinter dem ersten Polwürfel angeordnet ist, einen ersten Zweitpolwürfel-Eingang, der zum Empfangen von Signal-Licht mit dem Ausgang des ersten Polwürfels angeordnet ist, einen

zweiten Zweitpolwürfel-Eingang hat und der einen Zweitpolwürfel-Ausgang hat, (g) einen zweiten Faraday-Rotator zum Drehen der Polarisationssebene des Signal-Lichts den vorgegebenen Polarisations-Drehwinkel und (h) eine Pumplichtquelle zum Erzeugen von Zweit-Pumplicht aufweist, die an den zweiten Zweitpolwürfel-Eingang angeschlossen ist und ausgebildet ist zum Erzeugen von Zweit-Pumplicht, mit dem ein Rücksignal-Licht mittels stimulierter Brillouin-Streuung verstärkbar ist, wobei das Rücksignal-Licht eine Signallicht-Ausbreitungsrichtung entgegengesetzt zur Rücksignal-Ausbreitungsrichtung hat, wobei das Rücksignal-Licht vorzugsweise in der gleichen Glasfaser läuft wie das Signal-Licht, und wobei das Rücksignal-Licht eine Rücksignallicht-Polarisationsebene hat, die orthogonal zur Signallicht-Polarisationsebene des Signal-Lichts verläuft.

[0017] Unter dem Merkmal, dass die Polarisations Ebenen von Signal-Licht und Rücksignal-Licht orthogonal zueinander verlaufen, wird insbesondere verstanden, dass ein Winkel zwischen den beiden Polarisations Ebenen nur wenig, insbesondere höchstens 3°, von 90° außerhalb des Verstärkers abweicht.

[0018] Günstig ist es, wenn der optische Verstärker einen zweiten Polarisationssteller, der angeordnet ist zum Drehen der Polarisationssebene des Signal-Lichts auf eine vorgegebene Zweitorientierung, aufweist. Der zweite Polarisationssteller und ein vorzugsweise vorhandener zweiter Zirkulator sind besonders vorteilhaft, wenn außerhalb des Verstärkers das Rücksignal-Licht nicht orthogonal zum Signal-Licht ist.

[0019] Günstig ist es, wenn der optische Verstärker einen zweiten Intensitätsmonitor, der an den Koppler zum Messen einer Rücksignallicht-Intensität des Rücksignal-Lichts angeschlossen ist, wobei die Pumplichtquelle eine zweite Regelvorrichtung aufweist, die eingerichtet ist zum Regeln einer Zweitpumplicht-Frequenz des Zweit-Pumplichts, sodass die vom zweiten Intensitätsmonitor gemessene Intensität maximal wird. Auf diese Weise wird eine maximale Verstärkung des Rücklichts erreicht.

[0020] Günstig ist es, wenn die Pumplichtquelle den Pumplaser, einen Strahlteiler und einen akustooptischen Modulator umfasst, wobei der akustooptische Modulator ausgebildet ist zum Verschieben der Frequenz um eine Differenzfrequenz, die zwischen dem 0,7-fachen und dem 1,3-fachen der Differenz aus Signallicht-Frequenz und Rücksignallicht-Frequenz beträgt. In diesem Fall ist lediglich ein Laser notwendig, um sowohl das Signal-Licht als auch das Rücksignal-Licht zu verstärken.

[0021] Vorzugsweise ist das Signal-Licht zwischen dem ersten Faraday-Rotator und dem zweiten Faraday-Rotator polarisationserhaltend geführt. Das kann

beispielsweise dadurch geschehen, dass das Signal-Licht in einer polarisationserhaltenden Glasfaser geführt ist. Alternativ kann das Signal-Licht als Freistrahl zwischen den genannten Komponenten vorliegen. Das gleiche gilt für das Rücksignal-Licht.

[0022] Ein erfindungsgemäßes bidirektionales Glasfasernetz umfasst eine Referenz-Lichtquelle zum Aussenden des Signal-Lichts in die Glasfaser und einen erfindungsgemäßen optischen Verstärker, wobei das Signal-Licht eine Signallicht-Frequenz hat und wobei das Pumplicht eine Pumplicht-Frequenz hat, die um eine Frequenzdifferenz, insbesondere von 10 bis 13 GHz, von der Signallicht-Frequenz abweicht, sodass das Signal-Licht durch stimulierte Brillouin-Streuung verstärkbar ist. Bei der Referenz-Lichtquelle handelt es sich beispielsweise um einen ultrastabilen Laser. Ein ultrastabiler Laser ist insbesondere ein Laser mit einer relativen Frequenzinstabilität von höchstens 10^{-14} bei einer Mittelungszeit von 1 Sekunde.

[0023] Erfindungsgemäß ist zudem ein Verfahrensverstärken von Signal-Licht, bei dem ein erfindungsgemäßer optischer Verstärker eingesetzt wird und wobei die Differenzfrequenz so geregelt wird, dass die Verstärkung des Signal-Lichts durch stimulierte Brillouin-Streuung maximal wird.

[0024] Ein erfindungsgemäßes Verfahren umfasst vorzugsweise die Schritte (a) Regeln der Pumplicht-Frequenz des Pumplichts, sodass die Intensität des vom Koppler ausgekoppelten Lichts maximal wird und/oder (b) Regeln der Zweitpumplicht-Frequenz des Zweit-Pumplichts, sodass die Intensität des vom Koppler ausgekoppelten Lichts maximal wird und/oder (c) Regeln der Polarisierungen, sodass die Intensität an den Zirkulatoren ausgekoppelten Lichts am Port minimal wird.

[0025] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine bidirektionale Glasfaserleitung mit einem erfindungsgemäßen optischen Verstärker zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß einer ersten Ausführungsform,

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Glasfaserleitung mit einem erfindungsgemäßen optischen Verstärker gemäß einer zweiten Ausführungsform und

Fig. 3 eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen optischen Verstärkers.

[0026] **Fig. 1** zeigt eine erfindungsgemäße bidirektionale Glasfaserleitung **10**, die eine Signal-Lichtquelle **12**, im vorliegenden Fall in Form eines genauen Lasers, aufweist. Die Glasfaserleitung **10** besitzt zudem

einen optischen Verstärker **14**, der eine Glasfaser **16** hat, in dem Signal-Licht **18** der Referenz-Lichtquelle **12** geleitet wird.

[0027] Der Verstärker **14** umfasst zudem einen Polarisationssteller **20**, der die Polarisationssebene des Signal-Lichts **18** auf eine vorgegebene Orientierung dreht. Die vorgegebene Orientierung wird als Drehwinkel φ_{Soll} angegeben. Da der Nullpunkt des Drehwinkels frei wählbar ist, wird im Folgenden davon ausgegangen, dass hinter dem Polarisationssteller **20** ein Polarisations-Drehwinkel φ eine vorgegebene Orientierung φ_{Soll} von $\varphi_{\text{Soll}} = -45^\circ$ hat.

[0028] In einer Signallicht-Ausbreitungsrichtung **R** hinter dem Polarisationssteller **20** ist ein erster Faraday-Rotator **22** angeordnet. Der Faraday-Rotator **22** ist ausgebildet zum Drehen der Polarisationssebene des Signal-Lichts um einen vorgegebenen Polarisations-Drehwinkel $\Delta\varphi$ vom vorliegenden Fall 45° . Die Polarisationssebene steht damit nach dem ersten Faraday-Rotator **22** bei $\varphi = 0^\circ$.

[0029] Das Signal-Licht **18** trifft hinter dem ersten Faraday-Rotator **22** auf einen ersten Eingang **24** eines ersten Polwürfels **26**. Ein Teil des Signal-Lichts **18** wird als Teil-Licht **28** aus einem zweiten Eingang **33** ausgekoppelt und zu einem zweiten Port **32.2** des Drei-Port-Zirkulators **30** geleitet. Ein erster Port **32.1** des Drei-Port-Zirkulators **30** ist mit einem Pumplaser **34** verbunden. Ein dritter Port **32.3** ist mit einer Intensitätsmessvorrichtung **36** verbunden, die eine Intensität I_{36} des Teil-Lichts **28** misst. Der Polsteller **20** ist so geregelt (von einer internen Regelung), dass I_{36} minimal wird.

[0030] Licht, das aus einem Ausgang **38** des ersten Polwürfels **26** austritt, gelangt zu einem Koppler **40**, der einen Teil des Signal-Lichts **18** auskoppelt und einem Intensitätsmonitor **42** zuführt. Der Intensitätsmonitor **42** misst eine Intensität I_{42} des so ausgekoppelten Lichts und ist mit einer Regelvorrichtung **35** des Pumplasers **34** verbunden.

[0031] Der Pumplaser **34** gibt Pumplicht **44** mit einer Pumplicht-Frequenz ν_{44} ab. Die Pumplicht-Frequenz ν_{44} ist veränderbar und wird vom Pumplaser **34** auf maximale Intensität I_{42} geregelt. In anderen Worten umfasst der Pumplaser **34** die Pumplicht-Frequenz ν_{44} automatisch so, dass die Pumplicht-Frequenz ν_{44} zur optimalen Verstärkung führt.

[0032] Das Licht des Pumplasers **34** wird über den zweiten Eingang **33** in die Glasfaser **16** eingekoppelt und führt zur Verstärkung des Signal-Lichts **18**.

[0033] In Signallicht-Ausbreitungsrichtung **R** hinter dem Koppler **40** ist ein zweiter Polwürfel **46** angeordnet, in dessen ersten Zweitpolwürfel-Eingang **48** das vom Koppler **40** gekommene Signal-Licht eingekop-

pelt wird. Ein zweiter Zweitpolwürfel-Eingang **50** ist mit einem zweiten Port **52.2** eines zweiten Drei-Port-Zirkulators **54** verbunden. Der erste Port **52.1** dieses Drei-Port-Zirkulators **54** ist mit einer Pumplichtquelle **56** verbunden. Der dritte Port **52.3** ist mit einem Intensitätsmesser **58** verbunden, der eine Intensität I_{58} misst. An einem Zweitwürfel-Ausgang **60** des zweiten Polwürfels **46** ist ein zweiter Faraday-Rotator **62** angeschlossen, der die Polarisationssebene des Signal-Lichts **18** um den vorgegebenen Polarisations-Drehwinkel $\Delta\varphi$ von dem vorliegenden Fall $\Delta\varphi = 45^\circ$ dreht. In Signal-Ausbreitungsrichtung **R** ist ein zweiter Polarisationssteller **64** angeordnet. Hinter dem zweiten Faraday-Rotator **62** gilt für den Polarisations-Drehwinkel $\varphi = 45^\circ$.

[0034] Der Pumplaser **34** gibt Licht mit einem Polarisations-Drehwinkel $\varphi_{44} = -90^\circ$ ab. Der Polwürfel **26** lenkt Licht mit einer Polarisation von $+90^\circ$ oder -90° ab. Somit wird das Pumplicht **44** in die Faser eingeleitet und breitet sich entgegen der Signallicht-Ausbreitungsrichtung **R** aus. Der Faraday-Rotator **22** dreht die Polarisationssebene um $\Delta\varphi = +45^\circ$. In Pumplicht-Ausbreitungsrichtung **P** hinter dem ersten Faraday-Rotator **22** hat das Pumplicht damit eine Polarisation von -45° . Der Polarisationssteller **20** verdreht zwar diese Polarisation, jedoch bleibt die Polarisation zwischen dem Signal-Licht **18** und dem Pump-Licht **44** gleich.

[0035] Die Pumplicht-Frequenz ν_{44} unterscheidet sich von einer Signallicht-Frequenz ν_{18} um eine Brillouin-Frequenz f_B von beispielsweise $f_B = 10,9$ GHz. Dadurch kommt es in der Glasfaser **16** zwischen der Lichtquelle **12** und dem Polarisationssteller **20** zu einer Verstärkung des Signal-Lichts **18** aufgrund von stimulierter Brillouin-Streuung. Die Pumplicht-Frequenz ν_{44} wird von der Regelvorrichtung **35** anhand der Intensität I_{42} geregelt, die der Intensitätsmonitor **42** misst.

[0036] Die Pumplichtquelle **56** umfasst den Pumplaser **34** sowie einen akustooptischen Modulator **66**, der ein Teil des Pumplichtes in seiner Frequenz um eine Differenzfrequenz Δf verschiebt. Beispielsweise beträgt die Differenzfrequenz $\Delta f = 74$ MHz. Insbesondere entspricht die Differenzfrequenz Δf ungefähr der Differenz $\nu_{71} - \nu_{18}$, wobei ν_{71} die Frequenz von Rücksignal-Licht **71** ist. Die Differenzfrequenz Δf wird von einer zweiten Regelvorrichtung **57** geregelt, die die Frequenz des akustooptischen Modulator **66** so regelt, dass eine Intensität $I_{42.2}$, die von der zweiten Regelvorrichtung **42.2** gemessen wird, maximal wird.

[0037] Der Polsteller **64** ist angeschlossen an eine Regelung, die mit dem Intensitätsmesser **58** verbunden ist und die Polarisation so dreht, dass I_{58} , die vom Intensitätsmesser **58** gemessen wird, minimal wird. Entsprechend arbeitet der Polsteller **20** in Bezug auf I_{36} .

[0038] Fig. 2 zeigt eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verstärkers **14**. Dieser ist wie der Verstärker gemäß Fig. 1 aufgebaut, besitzt jedoch keinen zweiten Polsteller und keinen zweiten Zirkulator. Wird die Orthogonalität des Rücksignal-Lichtes zum Signal-Licht z. B. durch Benutzung eines Faraday-Rotator-Spiegels zum Erzeugen des Rücksignal-Lichtes aus dem Signal-Licht, so wird der zweite Polsteller und dessen Regelung überflüssig. Wie Fig. 1 zeigt, führt die Glasfaser **16** in Signallicht-Ausbreitungsrichtung **R** zu einer Uhr **68**, die mit der Referenz-Lichtquelle **12** synchronisiert und/oder verglichen wird. Selbstverständlich kann statt der Referenz-Lichtquelle **12** eine andere Datenquelle verwendet werden und statt der Uhr **68** kann ein Signalempfänger verwendet werden.

[0039] Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen optischen Verstärkers, der am Ende einer bidirektionalen Glasfaserleitung **70** angeordnet ist. Unter der bidirektionalen Glasfaserleitung wird, wie auch in den Fig. 1 und Fig. 2 gezeigt, eine Verbindung zwischen zwei Punkten, im vorliegenden Fall zwischen der Referenz-Lichtquelle **12** und der Uhr **68**, verstanden, bei der Lichtsignale, nämlich das Signal-Licht **18** und das Rücksignal-Licht **71**, in beide Richtungen laufen und vom Verstärker **14** verstärkt werden.

[0040] Fig. 3 zeigt den Fall, dass der Verstärker **14** in Signallicht-Ausbreitungsrichtung **R** hinter dem ersten Polwürfel **26** einen akustooptischen Modulator **72** aufweist, der vor dem Koppler **40** angeordnet ist. Hinter dem Koppler **40** befindet sich ein Spiegel **74**, der das Signal-Licht reflektiert, sodass es zum Rücksignal-Licht **71** wird und nach dem Faraday-Rotator **22** orthogonal zum Signal-Licht ist. Aus dem Koppler **40** kann über eine Entnahme-Glasfaser **76** ein Teil des verstärkten Signal-Lichts entnommen und beispielsweise zu einem Experiment, einer Uhr oder einem sonstigen Daten-Ziel geleitet werden.

Bezugszeichenliste

10	Glasfaserleitung
12	Referenz-Lichtquelle
14	Verstärker
16	Glasfaser
18	Signal-Licht
20	Polarisationssteller
22	erster Faraday-Rotator
24	erster Eingang
26	erster Polwürfel
28	Teil-Licht
30	Drei-Port-Zirkulator

32	Port	f_{diff}	Frequenzdifferenz $f_{\text{diff}}=v_{44}-v_{18}$		
33	zweiter Eingang	P	Rücksignallicht-Ausbreitungsrichtung		
34	Pumplaser	R	Signallicht-Ausbreitungsrichtung		
35	Regelvorrichtung	Patentansprüche			
36	Intensitätsmessvorrichtung	<p>1. Optischer Verstärker (14) zum Verstärken von polarisiertem Signal-Licht (18), mit</p> <p>(a) einer Glasfaser (16) zum Leiten des Signal-Lichts (18),</p> <p>(b) einem Polarisationssteller (20), der angeordnet ist zum Drehen einer Signallicht-Polarisationsebene des Signal-Lichts (18) auf eine vorgegebene Orientierung (φ_{Soll}),</p> <p>(c) einem Faraday-Rotator (22), der hinter dem Polarisationssteller (20) angeordnet ist, zum Drehen der Polarisationsebene des Signal-Lichts (18) um einen vorgegebenen Polarisations-Drehwinkel ($\Delta\varphi$), vorzugsweise 45°</p> <p>(d) einem in Signallicht-Ausbreitungsrichtung (R) hinter dem Faraday-Rotator (22) angeordneten Polwürfel (26) zum polarisationsselektiven Strahlteilen,</p> <p>- der einen ersten Eingang (24) für Signal-Licht (18) vom Faraday-Rotator (22)</p> <p>- einen zweiten Eingang (33) und</p> <p>- einen Ausgang (38) hat, und</p> <p>(e) einem Pumplaser (34), der</p> <p>- an den zweiten Eingang (33) angeschlossen ist und</p> <p>- ausgebildet ist zum Erzeugen von Pumplicht (44), mit dem das Signal-Licht (18) mittels stimulierter Brillouin-Streuung verstärkbar ist.</p> <p>2. Optischer Verstärker (14) nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch</p> <p>(a) eine Intensitätsmessvorrichtung (36) und</p> <p>(b) einen Drei-Port-Zirkulator (30), der</p> <p>- mit seinem ersten Port (32.1) mit dem Pumplaser (34) verbunden ist,</p> <p>- mit seinem zweiten Port (32.2) mit dem zweiten Eingang (33) des Polwürfels (26) verbunden ist und</p> <p>- mit seinem dritten Port (32.3) mit der Intensitätsmessvorrichtung (36) verbunden ist, sodass Signal-Licht (18) vom Polwürfel (26) vom zweiten Port (32.2) zum dritten Port (32.3) leitbar ist,</p> <p>(c) wobei der Polsteller (20) auf eine minimale von der Intensitätsmessvorrichtung (36) gemessene Intensität (I_{36}) geregelt ist.</p> <p>3. Optischer Verstärker (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch</p> <p>- einen Koppler (40), der in Signallicht-Ausbreitungsrichtung (R) hinter dem ersten Polwürfel (26) angeordnet ist, und</p> <p>- einen Intensitätsmonitor (42) zum Messen einer Intensität (I_{42}) des vom Koppler (40) ausgekoppelten Lichts,</p> <p>- wobei der Polsteller (20) auf eine maximale vom Intensitätsmonitor (42) gemessene Intensität (I_{42}) geregelt ist.</p>			
38	Ausgang				
40	Koppler				
42	Intensitätsmonitor				
44	Pumplicht				
46	zweiter Polwürfel				
48	erster Zweitpolwürfel-Eingang				
50	zweiter Zweitpolwürfel-Eingang				
52	Port				
54	Drei-Port-Zirkulator				
56	Pumplichtquelle				
57	zweiten Regelvorrichtung				
58	Intensitätsmesser				
60	Zweitwürfel-Ausgang				
62	zweiter Faraday-Rotator				
64	zweiter Polarisationssteller				
66	akustooptischer Modulator				
68	Uhr				
70	bidirektionale Glasfaserleitung				
71	Rücksignal-Licht				
72	akustooptischer Modulator				
74	Spiegel				
76	Entnahme-Glasfaser				
$\Delta\varphi$	Polarisations-Drehwinkel				
φ_{Soll}	vorgegebene Orientierung				
v_{44}	Pumplicht-Frequenz				
v_{18}	Signallicht-Frequenz				
v_{71}	Rücksignallicht-Frequenz				
v_{67}	Zweitpumplicht-Frequenz				
I_{36}	Intensität				
I_{42}	Intensität				
I_{58}	Intensität				
f_B	Brillouin-Frequenz				
Δf	Differenzfrequenz $\Delta f \approx v_{71} - v_{18}$				

4. Optischer Verstärker (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Pumplaser (34) eine Regelvorrichtung (35) zum Regeln einer Pumplicht-Frequenz (ν_{44}) des Pumplichts (44), sodass die Intensität (I_{42}) des vom Koppler (40) ausgekoppelten Lichts maximal wird, aufweist.

5. Optischer Verstärker (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch**

- (f) einen zweiten Polwürfel (46), der
 - in Signallicht-Ausbreitungsrichtung (R) hinter dem ersten Polwürfel (26) beziehungsweise hinter dem Koppler (40) angeordnet ist,
 - einen ersten Zweitpolwürfel-Eingang (48), der zum Empfangen von Signal-Licht (18) vom Ausgang (38) des ersten Polwürfels (26) angeordnet ist,
 - einen zweiten Zweitpolwürfel-Eingang (50) und
 - einen Zweitpolwürfel-Ausgang (60) hat,
- (g) einen zweiten Faraday-Rotator (62), der in Signallicht-Ausbreitungsrichtung (R) hinter dem zweiten Polwürfel angeordnet ist, zum Drehen der Polarisationssebene des Signal-Lichts (18) um den vorgegebenen Polarisations-Drehwinkel ($\Delta\phi$) und
- (h) eine Pumplichtquelle (56) zum Erzeugen von Zweit-Pumplicht, die
 - an den zweiten Zweitpolwürfel-Eingang (50) angeschlossen ist und
 - ausgebildet ist zum Erzeugen von Zweit-Pumplicht (67), mit dem ein Rücksignal-Licht mittels stimulierter Brillouin-Streuung verstärkbar ist,
 - wobei das Rücksignal-Licht eine zur Signallicht-Ausbreitungsrichtung (R) entgegengesetzte Rücksignal-Ausbreitungsrichtung (P) hat und
 - wobei das Rücksignal-Licht eine Rücksignallicht-Polarisationsebene hat, die orthogonal zur Signallicht-Polarisationsebene des Signal-Lichts (18) verläuft.

6. Optischer Verstärker (14) nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch**

- einen zweiten Intensitätsmonitor (42.2), der an den Koppler (40) zum Messen einer Rücksignallicht-Intensität des Rücksignal-Lichts angeschlossen ist,
- wobei die Pumplichtquelle (56) eine zweite Regelvorrichtung aufweist, die eingerichtet ist zum Regeln einer Zweitpumplicht-Frequenz (ν_{67}) des Zweit-Pumplichts (67), sodass die vom zweiten Intensitätsmonitor (42.2) gemessene Intensität ($I_{42.2}$) maximal wird.

7. Optischer Verstärker (14) nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) die Pumplichtquelle (56)
 - den Pumplaser (34),
 - einen Strahlteiler und
 - einen akustooptischen Modulator (66) umfasst, und
- (b) der akustooptische Modulator (66) ausgebildet ist zum Verschieben der Frequenz um eine Differenzfrequenz (Δf), die zwischen dem 0,7-fachen und dem 1,3-fachen der Differenz aus Signallicht-Frequenz (ν_{18})

des Signal-Lichts (18) und Rücksignallicht-Frequenz des Rücksignallichts beträgt.

8. Optischer Verstärker (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Signal-Licht (18) zwischen dem ersten Faraday-Rotator (22) und dem zweiten Faraday-Rotator (62) polarisationserhaltend geführt ist, insbesondere mittels einer polarisationserhaltenden Glasfaser (16).

9. Bidirektionale Glasfaserleitung (70) mit

- (a) einer Referenz-Lichtquelle (12) zum Aussenden des Signal-Lichts (18) in die Glasfaser (16) und
- (b) einem optischen Verstärker (14) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
- (c) wobei das Signal-Licht (18) eine Signallicht-Frequenz (ν_{18}) hat und
- (d) wobei das Pumplicht (44) eine Pumplicht-Frequenz (ν_{44}) hat, die um eine Frequenzdifferenz (f_{diff}), insbesondere $f_{\text{diff}} = 10$ bis 13 GHz, von der Signallicht-Frequenz (ν_{18}) abweicht, sodass das Signal-Licht (18) durch stimulierte Brillouin-Streuung verstärkbar ist.

10. Verfahren zum Verstärken von Signal-Licht (18) in einem bidirektionalen Glasfasernetz nach Anspruch 9, mit dem Schritt:

- (a) Regeln der Frequenzdifferenz (f_{diff}), sodass die Verstärkung des Signal-Lichts (18) durch stimulierte Brillouin-Streuung maximal wird und/oder
- (b) Regeln der Pumplicht-Frequenz des Pumplichts (44), sodass die Intensität des vom Koppler (40) ausgekoppelten Lichts maximal wird, und/oder
- (c) Regeln der Zweitpumplicht-Frequenz des Zweit-Pumplichts, sodass die Intensität des vom Koppler (40) ausgekoppelten Lichts maximal wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

14

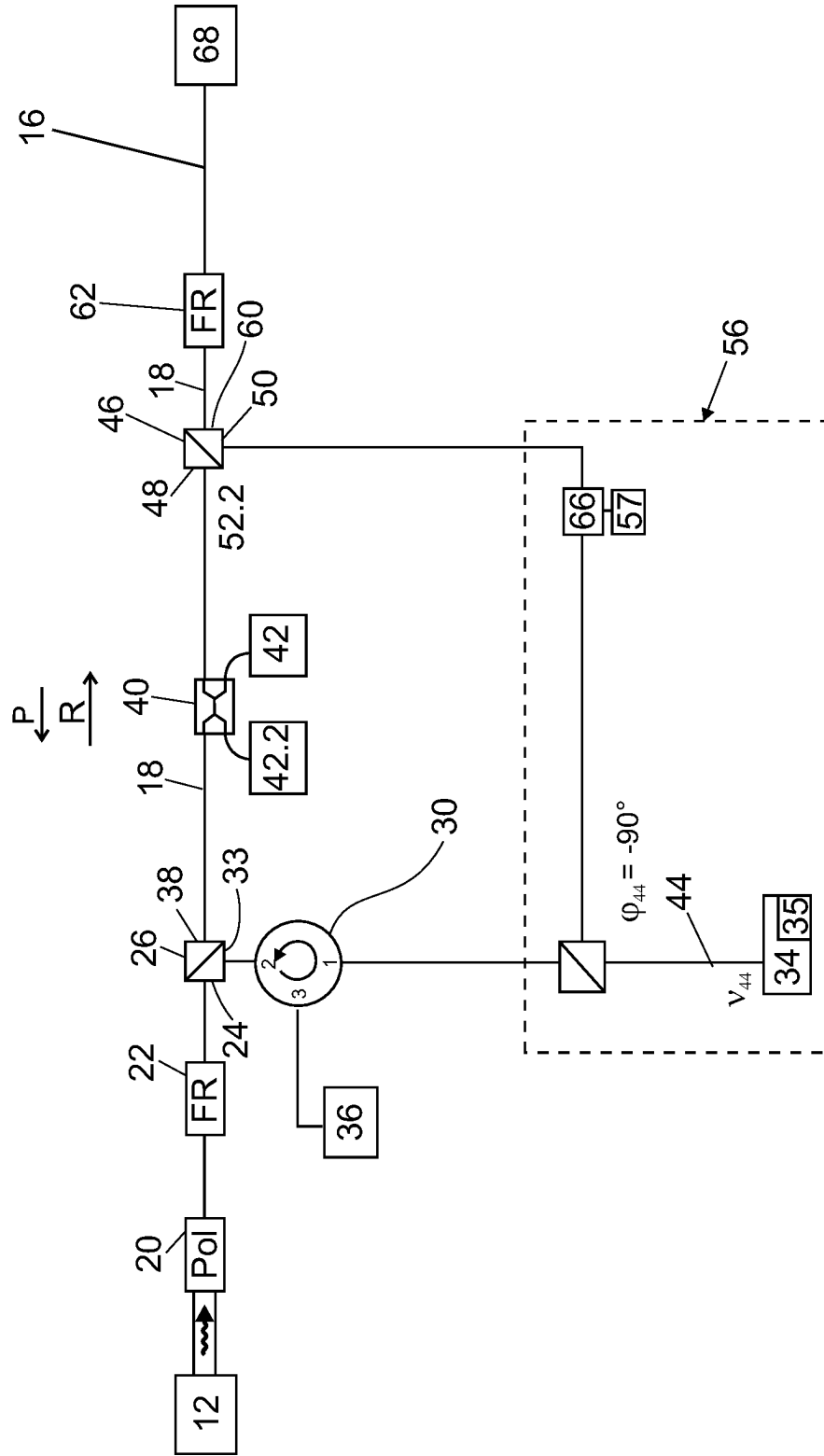


Fig. 2

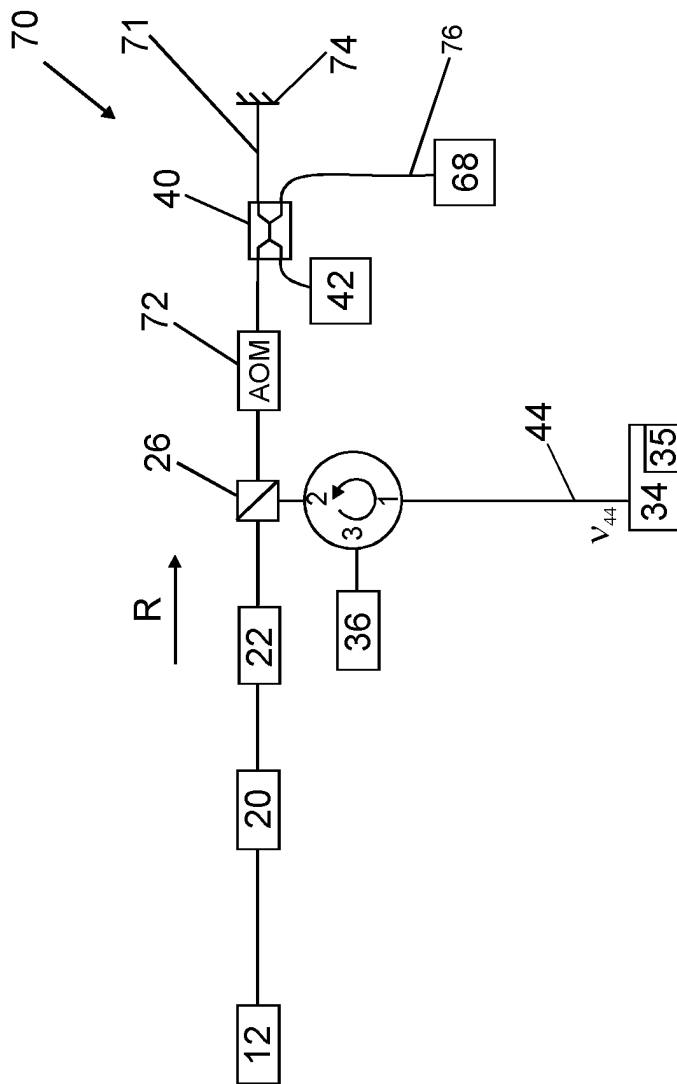


Fig. 3