



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 22 567 T2 2006.05.04**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 041 752 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H04B 10/18 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 22 567.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 302 734.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **31.03.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.10.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **14.09.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.05.2006**

(30) Unionspriorität:

99106659 01.04.1999 EP

127949 P 06.04.1999 US

99106933 08.04.1999 EP

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT, NL

(72) Erfinder:

Franco, Pierluigi, 35100 Padova, IT; Romagnoli,

Marco, 20100 Milan, IT; Midrio, Michele, 35100

Padova, IT

(73) Patentinhaber:

Cisco Photonics Italy S.r.l., Mailand/Milano, IT

(74) Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &

Schwanhäusser, 80538 München

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Rauschverminderung in in einem optischen Ferntelekommunikationssystem**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Sachgebiet der Erfindung

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf ein Telekommunikationssystem, und, insbesondere, auf eine Rauschverringerung in optischen Telekommunikationssystemen für große Entfernungen.

Diskussion des Hintergrunds

[0002] In einem optischen Telekommunikationssystem für große Entfernungen leidet das übertragene Signal allgemein an Effekten einer Nichtlinearität und einer Dispersion, was berücksichtigt werden muss, wenn die Parameter des Systems selbst optimiert werden. Aufgrund dieser Effekte kann das Signal, das an dem Ende der Kommunikationsleitung empfangen wird, eine Verzerrung (oder Variationen der Form) haben, was eine Begrenzung der Übertragungskapazität des Systems darstellt. Um die Verzerrung zu minimieren, ist es möglich, spezielle Übertragungstechniken zu verwenden, die von Charakteristika des in Rede stehenden Systems abhängen, wie beispielsweise Bit-Übertragungsgeschwindigkeit (oder Bit-Rate), die Länge der Verbindung, die Beabstandung zwischen den Verstärkern und die Zahl von WDM-Kanälen. Um Beispiele dieser Techniken anzuführen, ist eine Kompensation der chromatischen Dispersion mittels Dispersions-Kompensationsfasern oder Bragg-Gittern mit variabler Teilung bzw. variablem Pitch, einer solitonischen Übertragung ohne eine Kompensation der chromatischen Dispersion und eine solitonen Übertragung mit Anordnungen für eine Kompensation der chromatischen Dispersion vorhanden, wie dies, zum Beispiel, in der Patentanmeldung WO99/08406, angemeldet durch den Anmelder, beschrieben ist. Die letztgenannte Technik kann, in einigen Fällen, eine geeignete Lösung zum Verringern der Verzerrung in dem System darstellen.

[0003] Ein weiteres Phänomen, das dauerhaft in optisch verstärkten Übertragungssystemen vorhanden ist, ist durch die progressive Erhöhung in dem Verstärker-Spontan-Emissions-Rauschen (ASE), erzeugt entlang einer Leitung durch die optischen Leistungsverstärker, vorhanden. Zu jedem Zeitpunkt, zu dem das Signal durch einen optischen Verstärker hindurchfährt, wird ein Spontan-Emissions-Rauschen dazu hinzugefügt. An dem Leitungsende wird der Einfluss eines ASE-Rauschens in Bezug auf die Funktionsweise des Systems entsprechend größer, je höher das Niveau dieses Rauschens (im Hinblick auf eine optische Leistung) in Bezug auf den Signalpegel wird, das bedeutet, das niedrigere Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR), definiert als das Verhältnis der optischen Leistung, zugeordnet zu dem Signal, zu der optischen Leistung, zugeordnet zu dem Rauschen in einem vorab eingerichteten Referenzband einer Wellenlänge. Allgemein hängt der minimale Wert, benötigt für das Signal-zu-Rausch-Verhältnis, um einen korrekten Empfang des Signals zu garantieren, von den Charakteristika des Systems, das geprüft wird, ab (Bit-Rate, Format des übertragenen Signals, Empfänger-Charakteristika).

[0004] Wenn eine Verzerrung und ein ASE-Rauschen gleichzeitig an dem Ende der Verbindung vorhanden sind, ändern sich die Funktionsweisen des Systems in Abhängigkeit von der Größe der zwei Beiträge. Allgemein gesagt muss die Beeinträchtigung der Funktionsweisen des Systems aufgrund einer Verzerrung und eines Rauschens nicht über die eingerichteten Grenzen hinaus sein, über die hinaus ein korrekter Signalempfang nicht länger garantiert ist. Um die Beeinträchtigung des Signals innerhalb der eingerichteten Grenzen zu halten, werden Einschränkungen allgemein auferlegt, wenn die Systemparameter definiert werden, und insbesondere dann, wenn die Bit-Rate, die Zahl der WDM-Kanäle, die übertragen werden soll, die gesamte Länge der Verbindung, die Zahl der Verstärker, die in die Verbindung eingesetzt werden soll, und die Ausgangsleistung der Verstärker definiert werden.

[0005] Falls die nichtlinearen Effekte, die in dem System vorhanden sind, vernachlässigbar sind, kann angenommen werden, dass, während einer Propagation des Signals, keine Wechselwirkung zwischen Signal und Rauschen vorhanden sind und dass deshalb das ASE Rauschen als ein zusätzlicher Beitrag zu dem Signal angesehen werden kann. In diesem Fall entspricht die Beeinträchtigung des Signals, das empfangen ist, der Kombination der Beeinträchtigung aufgrund der Verzerrung (berechnet so, als würde das ASE-Rauschen nicht existieren) und der Beeinträchtigung aufgrund des ASE-Rauschens (berechnet so, als würde die Verzerrung nicht existieren).

[0006] Falls andererseits die nichtlinearen Effekte, die in dem System vorhanden sind, nicht vernachlässigbar sind, zum Beispiel in dem Fall von Übertragungen über eine große Entfernung und/oder Übertragungen unter einer hohen Bit-Rate, treten das optische Signal und das optische Rauschen, propagiert entlang der Leitung,

miteinander in Wechselwirkung. Diese Wechselwirkung tritt aufgrund des Effekts eines Phänomens, bekannt als „Modulations-Instabilität“, auf, beschrieben zum Beispiel in G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, Academic Press, Seiten 134–141 und 267–273. Insbesondere ist eine Modulations-Instabilität in einem Übertragungsmedium vorhanden, falls, zusammen mit der chromatischen Dispersion, ein bestimmter Typ einer Nichtlinearität, bekannt als „Kerr-Effekt“, vorhanden ist, der mit dem Brechungsindex des Mediums in Abhängigkeit von der Intensität des optischen Signals, das durch das Medium selbst hindurchführt, gefunden wird. In dem Rest dieser Beschreibung wird, wenn von Nichtlinearität gesprochen wird, auf die Nichtlinearitäten, bekannt als der „Kerr-Effekt“, Bezug genommen.

[0007] Bei diesem Fall manifestiert sich das Phänomen einer Modulations-Instabilität selbst wie folgt. Es wird eine Übertragungsleitung betrachtet, in der eine Propagation sowohl eines optischen Signals S als auch eines optischen Rauschens n vorhanden ist. Das optische Rauschen n ist eine komplexe Größe und kann in eine Komponente n_F in der Phase mit dem Signal S und eine Komponente n_Q in Quadratur mit dem Signal S unterteilt werden. Die Modulations-Instabilität, die an dem Ende der Übertragungsleitung entsteht, kann unterschiedliche Effekte in Abhängigkeit davon haben, ob die chromatische Dispersion entlang der Leitung ein normaler oder ein anormaler Typ ist. In dem Fall einer Leitung, die mit einer anormalen Dispersion arbeitet, bewirkt die Modulations-Instabilität eine Verstärkung sowohl der In-Phase-Rausch-Komponenten n_E als auch der Quadratur-Rausch-Komponenten n_Q zum Nachteil des Signals S . Andererseits wird dort, wo die Dispersion von einem normalen Typ ist, nur die Quadratur-Komponente n_Q zu dem Nachteil des Signals S verstärkt, wogegen die In-Phase-Komponente n_F gedämpft wird. Diese Phänomene sind im Detail in M. Midrio, „Statistical Properties of Noise Propagation in Normal Dispersion Nonlinear Fibers“, *J. Opt. Soc. Am. B.* vol. 14, n. 11, November 1997, Seiten 2910–2914, beschrieben.

[0008] In einem Telekommunikationssystem werden an dem Ende der Übertragungsleitung das Signal und das Rauschen allgemein durch einen Fotodetektor (eine Fotodiode) vom quadratischen Typ empfangen, in dem eine Überlagerung zwischen dem Signal und dem Rauschen auftritt. Tatsächlich tritt allerdings die Überlagerung nur zwischen dem Signal und der In-Phase-Komponenten n_F auf, wogegen die Quadratur-Komponente n_Q keine Überlagerung mit dem Signal verursacht, sondern nur mit sich selbst. Dies kommt daher, dass ein elektronisches Signal, empfangen durch den Fotodetektor, proportional zu der Leistung der optischen Strahlung, die empfangen ist, ist, das bedeutet zu der Quantität:

$$|S + n_F + i n_Q|^2 = S^2 + n_F^2 + 2 \cdot S \cdot n_F + n_Q^2$$

[0009] In diesem Ausdruck stellt S^2 das effektive Signal, erfasst durch die Fotodiode, dar. Die anderen Terme stellen Rausch-Beiträge dar. Gewöhnlich sind die Terme n_F^2 und n_Q^2 vernachlässigbar, und deshalb ist der Hauptbeitrag zu dem Rauschen an dem Empfänger gegeben durch $2 \cdot S \cdot n_F$, d.h. der Term, der die Überlagerung des Signals mit dem In-Phase-Rauschen darstellt.

[0010] Deshalb kommt der Hauptbeitrag zu der Signal-Beeinträchtigung aufgrund des Rauschens von der Überlagerung [Signal]-[In-Phase-Rauschen], wogegen die Überlagerungen [Quadratur-Rauschen]-[Quadratur-Rauschen] und [In-Phase-Rauschen]-[In-Phase-Rauschen] nicht beeinflussend sind, neben den Effekten einer sekundären Ordnung. Das Vorhandensein dieses Typs einer Signalbeeinträchtigung definiert ein technisches Problem, das der Anmelder dahingehend erkannt hat, dass es sehr wichtig bei der Entwicklung von optischen Telekommunikationssystemen ist, insbesondere über lange Entfernungen (beispielsweise Entfernungen von mehr als 500 km) und mit einer hohen Leistung, zum Beispiel mit einer Bit-Rate größer als oder gleich zu 2,5Gbit/s.

[0011] In Bezug auf eine kontinuierliche Übertragung von optischen Signalen (d.h. bei einer einzelnen Wellenlänge und ohne hinzugefügte Informationen) wird der Effekt einer Modulations-Instabilität auf das Rauschen studiert, zum Beispiel in dem vorstehenden Artikel von M. Midrio. Die Studie, angegeben in diesem Artikel, bestätigt, dass, bei einer kontinuierlichen Übertragung der Signale in einer optischen Faser mit normaler Dispersion, die Modulations-Instabilität dahingehend wirkt, dass sie eine Verringerung des Rauschens der In-Phase-Komponente verursacht. Dieses Verhalten ist entgegengesetzt zu demjenigen, das in einer Faser mit anormaler Dispersion beobachtet wird, wo das Rauschen der In-Phase-Komponente verstärkt wird.

[0012] Der Artikel, geschrieben von R. Hui und M. O'Sullivan „Noise Squeezing Due to Kerr Effect Nonlinearities in Optical Fibres with Negative Dispersion“, *Electronics Letters*, 10. Oktober 1996, vol. 32, no. 21, Seiten 2001–2003, beschreibt ein Experiment, in dem zwei mit Erbium dotierte Faserverstärker (EDFA) verwendet werden, um die optische Strahlung mit kontinuierlicher Welle (continuous wave – CW), emittiert durch eine Laserdiode, zu verstärken und um ein gegebenes Niveau eines ASE zu erzeugen. Eine Breitband-Fotodiode und

ein Mikrowellen-Spektrum-Analysierer werden als der Empfänger verwendet, um das relative Intensitäts-Rausch-(RIN)-Spektrum zu messen. Eine optische Faser mit positiver (d.h. anormaler) Dispersion oder, alternativ, eine optische Faser mit negativer (d.h. normaler) Dispersion, ist zwischen dem Ausgang des zweiten, optischen Verstärkers und der Fotodiode verbunden. Der Artikel zeigt, dass es möglich ist, die Amplitude des Rauschens mit relativer Intensität (relative intensity noise – RIN) in Systemen mit Fasern mit negativer (normaler) Dispersion zu verringern. Der Artikel vermittelt, dass der physikalische Grund für die Reduktion einer RIN mit der teilweisen Kohärenz zwischen dem Signal und dem ASE aufgrund eines Vier-Wellen-Mischens (Four Wave Mixing – FWM) in Fasern mit negativer (normaler) Dispersion verknüpft ist. Der Artikel gibt an, dass praktische Anwendungen für das Rausch-Squeezing in einem System mit Fasern mit negativer Dispersion vorhanden sein könnten, mit möglichen Verbesserungen in der Funktionsweise eines Intensity-Modulated Direct Detection System (IM-DD).

[0013] Allerdings beobachtet der Anmelder, dass, in Bezug auf die praktischen Anordnungen zur Verwendung des Effekts, angezeigt in einem optischen Telekommunikationssystem, der Artikel nur angibt, dass das Four Wave Mixing eine wichtige Rolle haben könnte und dass es berücksichtigt werden sollte, wenn eine geeignete Dispersions-Kompensation ausgelegt wird.

[0014] Ein weiterer Artikel von R. Hui et al., „Modulation Instability and Its Impact in Multispan Optical Amplified IMDD Systems: Theory and Experiments“, Journal of Lightwave Technology, Vol. 15, No. 7, Juli 1997, Seiten 1071–1081, stellt eine theoretische und experimentelle Studie der Effekte der nichtlinearen Wechselwirkung zwischen dem ASE-Rauschen und dem Signal, übertragen in einer dispersiven, optischen Faser, dar. Der Artikel zeigt, dass, in einem System mit normaler Dispersion, die Nichtlinearität die negativen Effekte des ASE-Rauschens in Bezug auf den Fall einer linearen Propagation verringert, und, andererseits, unter anormalen Dispersions-Zuständen, eine Nichtlinearität immer die System-Funktionsweise verglichen mit dem Fall einer linearen Propagation beeinflusst. Der Artikel gibt an, dass eine Kompensation der chromatischen Dispersion eine effektive Art und Weise zum Reduzieren der Effekte einer Modulations-Instabilität ist und diskutiert die optimale Platzierung des Dispersions-Kompensators. Insbesondere zeigt er, dass, in einer Leitung dieses Typs, die Effekte einer Modulations-Instabilität stärker mit einem konzentrierten Typ einer Dispersions-Kompensation, angeordnet vor dem Empfänger, ist als dann, wenn die Kompensation entlang der gesamten Leitung verteilt ist, reduziert werden. Eine konzentrierte Kompensation wird unter Verwendung einer optischen Faser mit geeigneten Dispersions-Charakteristika erzeugt. Die Energie des Signaleingangs zu dieser Faser wird so ausgewählt, dass die Erzeugung von nichtlinearen Effekten innerhalb der Faser vermieden werden kann.

[0015] Der Anmelder beobachtet, dass, in diesem Artikel, sich die Experimente ebenso nur auf eine kontinuierliche Signalübertragung beziehen.

[0016] Der Anmelder hat bis heute festgestellt, dass sich die Studien des Phänomens der Modulations-Instabilität hauptsächlich auf die kontinuierliche Übertragung von Signalen konzentriert haben. Der Anmelder geht davon aus, dass diese Studien nicht erschöpfend sind in dem Sinne, dass sie nicht die interessanteste Situation auf dem Gebiet von optischen Übertragungen beschreiben, d.h. diejenige, in der das Signal codierte Informationen trägt. Der Anmelder hat beobachtet, dass, in dem Fall einer Übertragung von Signalen, die codierte Informationen tragen, Signal-Verzerrungs-Phänomene vorhanden sind, die die Qualität des Signals, das empfangen ist, beeinflussen, und die nicht vernachlässigt werden können.

[0017] Der Artikel „The Effect of Dispersion Compensation on System Performance When Nonlinearities are Important“, von A. N. Pilipetskin et al., IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 11, No. 2, Februar 1999, Seiten 284–286, geht davon aus, dass ein Platzieren einer Dispersions-Kompensation an dem Ende eines nichtlinearen Systems sowohl eine Signalvarianz (d.h. das Rauschen) als auch eine Impulsverzerrung beeinflusst. Anhand von Experimenten und theoretischen Betrachtungen demonstriert der Artikel, dass ein Auswählen einer Dispersions-Kompensation, um eine Impulsverzerrung zu minimieren, im Gegensatz zu der Signalvarianz, ermöglicht, dass eine optimale Funktionsweise für eine experimentelle Konfiguration von 4780 km erreichbar ist. Die Übertragungsfasern, die in der experimentellen Konfiguration verwendet sind, haben eine normale Dispersion (-2 ps/nm/km). Die Dispersions-Kompensation wird in dem Experiment und den Simulationen, die Fasern mit einer anormalen Dispersion ($+17$ ps/nm/km) verwenden, erhalten. Der Artikel folgert, dass es, idealerweise, möglich sein sollte, eine Dispersionsauflistung zu erzeugen, um ein Rausch-Squeezing zu erhalten, und um gleichzeitig eine Impulsverzerrung durch eine geeignete Auswahl der Dispersionsauflistung und durch eine Vor- und Nachkompensation der Dispersion zu minimieren. Insbesondere könnte die Post-Kompensation einer Verzerrung dazu verwendet werden, die Varianz (d.h. das Rauschen) zu minimieren, wogegen eine Optimierung der Impulse für die korrigierte Dispersionsliste erhalten werden könnte, und zwar gleichzeitig über eine korrekte Vorkompensation der Dispersion. Der Anmelder stellt fest, dass die Energiewerte pro Kanal, angege-

ben in dem Artikel, relativ niedrig sind, das bedeutet unzureichend, um wesentliche, nichtlineare Effekte in der Dispersions-Kompensations-Faser DPSC, hinzugefügt zu dem Empfänger, zu verursachen. Der Anmelder stellt auch fest, dass die Verringerung der Rauscheffekte, die in dem Artikel angenommen werden, unter Verwendung der Dispersion der optischen Fasern erreicht wird, die die Telekommunikationsleitungen bilden, und, wenn erforderlich, von Dispersions-Kompensationen vom Vor- und Nach-Typ, zusammen mit der Nichtlinearität von nur den optischen Fasern, die die Telekommunikationsleitung bilden.

[0018] Der Anmelder hat festgestellt, dass die Lösungen, die bis heute vorgeschlagen sind, um die negativen Effekte einer Modulations-Instabilität zu verringern, eine ad hoc Auswahl der Dispersions-Kompensatoren vorsieht. Diese Lösungen erfordern, dass das Problem der Modulations-Instabilität so früh wie die Design-Stufe des Übertragungssystems berücksichtigt werden kann, was es schwierig oder unmöglich macht, Änderungen an bereits installierten, optischen Systemen vorzunehmen, um die Bit-Rate, zum Beispiel, zu erhöhen, damit die Effekte einer Modulations-Instabilität berücksichtigt werden können.

[0019] Der Anmelder hat das Problem des Schaffens einer Technik zum Verringern eines Rauschens geprüft, die einfach und schnell bei irgendwelchen optischen Telekommunikationssystemen anwendbar ist, die das nicht vernachlässigbare, optische Rauschen haben, zum Beispiel ASE-Rauschen, wie beispielsweise ein System für eine große Entfernung (zum Beispiel über 500 km) und/oder ein System mit einer hohen Bit-Rate (größer als oder gleich zu 2,5 Gbit/s).

[0020] Typischerweise wird in einem optischen Telekommunikationssystem dieses Typs die Dispersions-Kompensation durch Ändern, entlang der Telekommunikationsleitung, von Abschnitten der Übertragungsfasern, die eine Dispersion mit einem entgegengesetzten Vorzeichen besitzt, oder durch Einsetzen, gewöhnlich an den optischen Verstärkern, geeigneter Kompensatoren, die eine Dispersion eines entgegengesetzten Vorzeichens zu demjenigen der Fasern, die die Telekommunikationsleitungen bilden, haben, vorgenommen.

[0021] Die Techniken und die Vorrichtungen für die chromatische Dispersions-Kompensation, allgemein eingesetzt in optischen Übertragungssystemen, ermöglichen die Kompensation eines vorbestimmten Prozentsatzes, bezeichnet als Verhältnis einer Kompensation (ratio of compensation – RC), der Dispersion, die zuvor durch das Signal akkumuliert ist. In dem Fall von Übertragungsleitungen mit Fasern einer nicht gleichförmigen Länge und/oder mit Dispersions-Charakteristika ist das Verhältnis der Kompensation (RC) als der Durchschnitt der Verhältnisse einer Kompensation der unterschiedlichen Abschnitte einer optischen Faser zwischen aufeinanderfolgenden Verstärkern entlang der Leitung, gewichtet in Bezug auf die Längen der Abschnitte selbst, definiert. Das Verhältnis einer Kompensation ist vorzugsweise, obwohl nicht notwendigerweise, geringer als 100% in Systemen mit anormaler Dispersion und größer als 100% in Systemen mit normaler Dispersion. Das optimale Niveau des Verhältnisses einer Kompensation hängt von zahlreichen System-Parametern ab, wie beispielsweise der Zahl und der Länge der Abschnitte der Faser, die verwendet sind, dem Koeffizienten einer Dispersion der Abschnitte der Faser, der Menge eines Signal-Prechirping an der Übertragungsstation, dort, wo dies anwendbar ist, und der optische Energie- bzw. Leistungspegel der Signale, die übertragen sind.

[0022] Der Stand der Technik schlägt vor, dass die Effekte eines Rauschens durch Ausnutzen der Modulations-Instabilität, die normalerweise in den optischen Fasern, die für Übertragungen über große Entfernungen verwendet werden, und unter Berücksichtigung der Modulations-Instabilität, wenn die „Kompensationsliste“ ausgelegt wird, d.h. die Stelle und die Charakteristika der Dispersions-Kompensatoren entlang der Leitung, begrenzt werden können.

[0023] Der Anmelder hat herausgefunden, dass leichte Verbesserungen auf diese Art und Weise in den System-Übertragungskapazitäten erreicht werden konnten, allerdings sind diese Verbesserungen nicht wesentlich in Bezug auf „lineare“ Transmissionsbedingungen.

[0024] Wie zuvor angegeben ist, wirkt, in einer optischen Faser mit normaler Dispersion, eine Modulations-Instabilität dadurch, dass eine Verringerung der Rausch-In-Phase-Komponente und eine entsprechende Erhöhung der Quadratur-Komponente hervorgerufen wird. Der Anmelder hat allerdings beobachtet, dass eine optische Komponente mit anormaler Dispersion (gebildet zum Beispiel durch eine optische Faser oder einen Chirp-Gitter-Dispersions-Kompensator), angeordnet entlang einer Telekommunikationsleitung, die optische Verstärker aufweist, zu einer Umverteilung des Rauschens, zwischen den zwei Quadratur- n_Q - und In-Phase- n_P -Komponenten führt, was eine wesentliche Umbalancierung der Leistung bzw. Energie der Komponenten hervorruft. Der Anmelder hat deshalb herausgefunden, dass dann, wenn eine Komponente mit anormaler Dispersion ausgangsseitig einer normalen Dispersions-Faser angeordnet ist, zumindest ein Teil des Rauschens, getragen von der In-Phase-Komponenten n_P , zu der Quadratur-Komponenten n_Q in der Faser mit normaler Dis-

person aufgrund einer Modulations-Instabilität, in der entgegengesetzten Richtung in der Komponenten mit anormalen Dispersion übertragen wird, und deshalb ist entsprechend eine Verringerung in der Effektivität der Rauschunterdrückung, erhalten zuvor, vorhanden. In einer Telekommunikationsleitung, bei der die Dispersion mittels alternierender, optischer Fasern mit normaler, optischer Dispersion und Komponenten mit anormaler Dispersion (wie zum Beispiel optische Fasern oder Dispersions-Kompensatoren mit einem Gitter mit variabler Teilung) kompensiert wird, wird das vorstehend erwähnte Phänomen einer Rauschübertragung in einer Richtung und dann in der anderen zwischen den zwei In-Phase- und Quadratur-Komponenten mehrere Male wiederholt und der Effekt der Rauschunterdrückung an dem Leitungsende wird relativ verringert.

[0025] Der Anmelder hat bestimmt, dass es möglich ist, die System-Funktion wesentlich, über die Werte entsprechend zu linearen Übertragungszuständen hinaus, zu verbessern und dementsprechend die Effekte eines Rauschens, unter Verwendung einer Nichtlinearität, kombiniert mit einer normalen Dispersion, konzentriert an dem Ende der Übertragungsleitung, zu stark zu kompensieren. Diese Technik kann zusätzlich zu den gewöhnlichen Dispersions-Kompensations-Techniken, die vorstehend angegeben sind, verwendet werden.

[0026] Der Anmelder hat insbesondere beobachtet, dass die Verringerung in einem optischen Rauschen, erhaltbar dadurch, dass das optische Signal an dem Ende der Übertragungsleitung einer geeignet ausgewählten, nichtlinearen Phasenverschiebung, und die normale Dispersion, einen größeren Vorteil als die negativen Effekte aufgrund der Erhöhung in der Störung, die entsprechend eingebracht wird, erzeugen können.

[0027] Der Anmelder hat bestimmt, dass die Dispersions-Kompensation vorteilhaft ausgewählt werden kann, und zwar auf der Basis der zuvor erwähnten Parameter (Zahl und Länge der Abschnitte der Faser, die verwendet ist, Koeffizient der Dispersion der Abschnitte der Faser, Umfang des Signal-Prechirpings, dort, wo diese anwendbar ist, und optischer Leistungspegel der übertragenen Signale), um so eine ausreichend niedrige Störung zu erhalten, ohne die Effekte einer Modulations-Instabilität in Bezug auf das Rauschen zu beachten. Eine akzeptable Störung bzw. Verzerrung ist diejenige entsprechend zu einem Diagramm für das Schließen des Auges von weniger als 2dB. Vorzugsweise wird allerdings die Dispersion des Kommunikationssystems in einer solchen Art und Weise ausgewählt, um ein Diagramm für das Schließen des Auges geringer als oder gleich zu 1dB zu garantieren.

[0028] Allgemein hat der Anmelder herausgefunden, dass die Störung von Signalen in Dispersions-Kompensations-Systemen effektiv unter Verwendung eines RC-Werts zwischen 80% und 120% verringert werden kann.

[0029] Vorzugsweise liegt das Verhältnis einer Kompensation zwischen 85% und 115%. Noch bevorzugter liegt RC zwischen 90% und 110%.

[0030] „Information-Maintaining Separation of Optical Pulses Employing Nonlinearity of Silica Fiber“, Yoichi Fujii, Applied Optics, vol. 29, no. 6 (20. Februar 1990) offenbart ein Verfahren zum Separieren von zwei Signalen in einem optischen Übertragungssystem für eine große Entfernung. Nach einer Dispersions-Kompensation wird das Signal einer nichtlinearen Phasenverschiebung, und einem linearen, normalen oder negativ-dispersivem Medium, um eine ausreichende Separation zu erreichen, unterworfen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0031] Ein nichtlineares Filter gemäß der Erfindung weist eine normale Dispersion und eine nichtlineare Komponente, geeignet zum Verringern der Rauschkomponente, in Phase mit dem Signal, geeignet dazu, an dem Ende einer in der Dispersion kompensierten, optischen Telekommunikationsleitung verbunden zu werden, auf. Das nichtlineare Filter der Erfindung kann auch eine Komponente mit anormaler Dispersion, angeordnet eingangsseitig der normalen Dispersions- und nichtlinearen Komponente, geeignet zum Korrigieren der Form der Impulse, die das Signal bilden, aufweisen.

[0032] Die Vorrichtung der Erfindung wird vorzugsweise bei Telekommunikationssystemen angewandt, die zum Übertragen von digitalen Signalen im RZ-Format, d.h. Signalen, gebildet durch Impulse einer geringeren Dauer als die Periode entsprechend zu der Datenrate, die angewandt wird, moduliert auf der Basis der digitalen Informationen, die übertragen werden sollen, geeignet sind. In dem Rest dieser Beschreibung wird Bezug insbesondere auf RZ-Signale vom solitonischen oder nahezu solitonischen Typ, nämlich Signale, in denen die Impulszeitform von dem $\text{sech}^2(t)$ - oder einem ähnlichen Typ (zum Beispiel Gauss-Form) ist, genommen, die von speziellem Interesse bei der Entwicklung von neuen Übertragungssystemen für lange Entfernungen sind.

[0033] Der Anmelder hat weiterhin ein Verfahren zum Verringern des Rauschens geschaffen, das den Schritt eines Zuführens eines Signals, übertragen an einem Ende einer optischen Telekommunikationsleitung, im wesentlichen frei von einer Störung, bevor es empfangen wird, zu einer Vorrichtung, die sowohl Charakteristika einer normalen Dispersion als auch Charakteristika einer Nichtlinearität besitzt, aufweist. Dieses Verfahren kann zum Verringern des optischen Rauschens in Telekommunikationssystemen, im Wesentlichen kompensiert in der Dispersion, verwendet werden, und ist in vorteilhafter Weise bei Telekommunikationssystemen anwendbar, die bereits aufgebaut oder installiert sind, was ermöglicht, die Funktionsweise des Übertragungssystems in Bezug auf ein Rauschen in einer Art und Weise zu optimieren, dass es unabhängig von der Optimierung seiner anderen, technischen Charakteristika ist, wie zum Beispiel einer Dispersion.

[0034] Das Verfahren der Erfindung ist insbesondere für Systeme geeignet, die mit digitalen Signalen vom RZ-Typ arbeiten.

[0035] Das Verfahren und die Vorrichtung der Erfindung ermöglichen, dass das Signal-zu-Rausch-Verhältnis an dem Ende der Übertragungsleitung erhöht werden kann, und dementsprechend die Qualität des Signals, das empfangen ist, verbessert werden kann, ohne die Systemparameter ändern zu müssen. Dies führt zu der Möglichkeit, für eine ähnliche Qualität des Signals, das empfangen wird, ein Übertragungssystem zu erhalten, das eine größere Gesamtlänge und/oder eine größere Entfernung zwischen den Verstärkern und/oder eine höhere Bit-Rate pro Kanal und/oder eine größere Zahl von WDM-Kanälen, die übertragen werden, besitzt.

[0036] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Verringern eines Rauschens in einem optischen Telekommunikationssystem für eine große Entfernung geschaffen. Das Verfahren weist ein Übertragen eines optischen Signals auf einer Telekommunikationsleitung mit optischer Faser auf, die optische Verstärker aufweist und eine im Wesentlichen kompensierte Dispersion besitzt. Das Verfahren umfasst auch ein Empfangen von der Leitung eines mit Rauschen behafteten, optischen Signals, das das übertragene, optische Signal und ein optisches Rauschsignal umfasst. Das Verfahren umfasst ein Erzeugen eines elektronischen Signals, korreliert zu dem mit Rauschen behafteten, optischen Signal. Das elektronische Signal ist einem Qualitäts-Parameter (Q) zugeordnet, der von dem optischen Rauschsignal und der Störung des optischen Signals abhängt. Zusätzlich umfasst das Verfahren ein Anwenden auf das optische Signal einer nichtlinearen Phasenverschiebung e^{φ} , zugeordnet zu einer Variation der Phase φ größer als 0,5 Radiant, und eine normale Dispersion $\beta_{2,NORM} \cdot L$, wobei die nichtlineare Phasenverschiebung und die normale Dispersion operativ so ausgewählt werden, um den Qualitätsparameter um mindestens 1dB zu erhöhen.

[0037] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die normale Dispersion geringer als 500 ps², geringer als 200 ps² oder geringer als 100 ps².

[0038] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Dispersion der Telekommunikationsleitung entsprechend einem Kompensationsverhältnis von zwischen 80% und 120%, zwischen 85% und 115% oder zwischen 90% und 110% kompensiert.

[0039] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist der Schritt eines Übertragens des optischen Signals den Schritt eines Übertragens eines optischen Signals, das codierte Informationen trägt, vorzugsweise eines optischen, digitalen Signals von RZ-Typ, auf.

[0040] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist der Schritt eines Anwendens ein Anwenden der nichtlinearen Phasenverschiebung, dann der normalen Dispersion, auf.

[0041] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Verfahren weiterhin ein Anwenden einer anormalen Dispersion auf das optische Signal und das optische Rauschsignal auf.

[0042] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die anormale Dispersion einen Wert zwischen -1000 ps² und 0 ps², oder zwischen -500 ps² und 0 ps², haben.

[0043] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Verfahren ein Verstärken des optischen Signals auf einen zuvor eingerichteten Energiepegel auf.

[0044] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Verfahren eine Wellenlängenfilterung des optischen Signals auf.

[0045] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Verfahren ein Übertra-

gen einer Vielzahl von optischen Signalen bei unterschiedlichen Wellenlängen und Empfangen der Vielzahl der optischen Signale auf.

[0046] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das Verfahren ein Separieren der optischen Signale entlang bestimmter, optischer Wege, und Anwenden der nichtlinearen Phasenverschiebung und der normalen Dispersion entlang eines der optischen Wege, auf.

[0047] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erfolgt der Schritt eines Anwendens entlang jedes der optischen Wege.

[0048] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung weist das optische Telekommunikationssystem einen Sender auf, der so aufgebaut ist, um ein optisches Signal zu erzeugen. Eine optische Verbindung weist einen optischen Verstärker auf, der so aufgebaut ist, um das optische Signal in einer zuvor eingerichteten Richtung einer Propagation mit einer im Wesentlichen kompensierten Dispersion zu übertragen, um ein zugeordnetes, optisches Rauschen zu haben. Ein Empfänger ist so aufgebaut, um ein mit Rauschen behaftetes, optisches Signal, umfassend das gesendete, optische Signal und ein optisches Rauschsignal, zu empfangen. Der Empfänger weist eine Fotoerfassungsvorrichtung auf, die so aufgebaut ist, um ein elektronisches Signal, korreliert zu dem mit Rauschen behafteten, optischen Signal, zu erzeugen. Das elektronische Signal ist zu einem Qualitätsparameter (Q) zugeordnet, der von dem optischen, mit Rauschen behafteten Signal und von der Störung des optischen Signals in der optischen Verbindung abhängt. Die optische Verbindung weist weiterhin eine dispersive und nichtlineare Filtervorrichtung auf, die eine nichtlineare Komponente mit normaler Dispersion umfasst. Die Filtervorrichtung ist entlang der optischen Verbindung angeordnet und besitzt einen zugeordneten Parameter $\beta_{2,NORM} \cdot L$ für die normale Dispersion und einen Nichtlinearitätsparameter γ , operativ so ausgewählt, um den Qualitätsparameter um mindestens 1dB zu erhöhen.

[0049] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das optische Signal ein digitales Signal vom RZ-Typ.

[0050] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die nichtlineare Komponente mit normaler Dispersion ein erstes, nichtlineares Element und ein zweites Element mit nicht normaler Dispersion auf, wobei das erste Element eingangsseitig des zweiten Elements entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist.

[0051] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Filtervorrichtung eine Komponente mit anormaler Dispersion auf, die in einer Kaskadenform mit der nichtlinearen Komponenten mit normaler Dispersion angeordnet ist und ausgangsseitig der nichtlinearen Komponenten mit normaler Dispersion entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist.

[0052] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Filtervorrichtung einen ersten optischen Verstärker auf, der so aufgebaut ist, um das optische Signal auf einen zuvor eingerichteten Energiepegel zu verstärken, wobei der erste optische Verstärker ausgangsseitig der nichtlinearen Komponenten mit normaler Dispersion entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist.

[0053] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Filtervorrichtung ein optisches Bandpassfilter auf.

[0054] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die optische Verbindung einen anderen optischen Verstärker auf, der ausgangsseitig der Filtervorrichtung entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist und zum Verstärken des optischen Signals geeignet ist.

[0055] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das System eine Mehrzahl von Sendern, aufgebaut so, um eine Mehrzahl von optischen Signalen bei unterschiedlichen Wellenlängen zu übertragen, und eine Mehrzahl von Empfängern, aufgebaut so, um die optischen Signale zu empfangen, auf.

[0056] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das System eine Multiplexiervorrichtung für das optische Signal, die ausgangsseitig der optischen Übertragungsleitung entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist, und eine Demultiplexiervorrichtung für das optische Signal, die ausgangsseitig der optischen Übertragungsleitung entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist, wobei die Filtervorrichtung ausgangsseitig der Demultiplexiervorrichtung entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist, auf.

[0057] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die optische Verbindung einen Kompensator für die chromatische Dispersion auf.

[0058] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die nichtlineare Komponente mit normaler Dispersion durch eine optische Faser gebildet.

[0059] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das erste, nichtlineare Element eine optische Faser.

[0060] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das erste, nichtlineare Element eine Halbleitervorrichtung.

[0061] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das zweite Element mit normaler Dispersion eine optische Faser.

[0062] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das zweite Element mit normaler Dispersion ein Bragg-Gitter auf.

[0063] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Komponente mit anormaler Dispersion eine optische Faser.

[0064] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist die Komponente mit anormaler Dispersion ein Bragg-Gitter auf.

[0065] Gemäß einem noch anderen Aspekt der Erfindung weist eine Vorrichtung zum Erreichen der Verringerung eines Rauschens in einem optischen Telekommunikationssystem mit kompensierter Dispersion einen Empfänger auf, der so aufgebaut ist, um ein mit Rauschen behaftetes, optisches Signal von einer optischen Verbindung mit kompensierter Dispersion zu empfangen. Das mit Rauschen behaftete, optische Signal umfasst ein optisches Signal und ein optisches Rauschsignal. Der Empfänger weist einen Fotodetektor auf, der so aufgebaut ist, um ein elektronisches Signal, korreliert zu dem mit Rauschen behafteten, optischen Signal, zu erzeugen. Das elektronische Signal ist einem Qualitäts-Parameter (Q) zugeordnet, der von einem Niveau einer Störung, zugeordnet zu dem mit Rauschen behafteten, optischen Signal in der optischen Verbindung, abhängt. Ein optischer Eingang ist so aufgebaut, um sich optisch mit der optischen Verbindung zu verbinden. Ein optischer Ausgang ist so aufgebaut, damit er optisch mit dem Empfänger verbunden werden kann. Der optische Ausgang weist eine nichtlineare Komponente mit normalen Dispersions-Charakteristika auf, die einen normalen Dispersions-Parameter $\beta_{2,NORM} \cdot L$ und einen Nichtlinearitätsparameter γ , operativ so ausgewählt, um den Qualitäts-Parameter um mindestens 1dB zu erhöhen, besitzt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0066] Weitere Details können in der Beschreibung, die folgt, erhalten werden, die sich auf die beigefügten Figuren, die nachfolgend aufgelistet sind, bezieht:

[0067] [Fig. 1](#) stellt in einer schematischen, vereinfachten Form ein optisches Übertragungssystem, hergestellt gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, dar;

[0068] [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) stellen zwei mögliche Ausführungsformen einer Vorrichtung für die Verringerung eines Rauschens in dem System, dargestellt in [Fig. 1](#), dar;

[0069] [Fig. 3](#) stellt ein optisches Übertragungssystem, verwendet für digitale Simulationen, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, dar; und

[0070] [Fig. 4–Fig. 13](#) stellen die Ergebnisse von digitalen Simulationen in Bezug auf die Übertragung von Signalen in dem System der [Fig. 3](#) dar.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0071] [Fig. 1](#) stellt in einer schematischen und vereinfachten Form ein optisches Übertragungssystem **1** vom WDM-Typ dar, geeignet für eine Übertragung über große Entfernungen (zum Beispiel hunderte von Kilometern) von optischen Signalen auf einer Vielzahl von Übertragungskanälen, wobei jeder Kanal einer jeweiligen

Wellenlänge innerhalb des Übertragungswellenlängenbands zugeordnet ist.

[0072] Das System **1** weist eine Sendeeinheit **2**, die dazu geeignet ist, optische Signale zu senden, zum Beispiel Signale vom RZ-Typ, gebildet durch solitone Impulse, eine Empfangseinheit **3** zum Empfangen dieser Signale und eine optische Übertragungsleitung **4**, die optisch die Sende- und Empfangseinheiten **2**, **3** miteinander verbindet, auf.

[0073] Die Sendeeinheit **2** weist N optische Sender **5** (TX_1, \dots, TX_N), einen Multiplexierer **6** (d.h. eine Signalkombiniervorrichtung, bezeichnet mit MUX in abgekürzter Form) und einen Leistungsverstärker **7** auf.

[0074] Jeder der Sender **5** ist einem jeweiligen Kanal zugeordnet und ist deshalb dazu geeignet, ein jeweiliges solitonisches Signal bei einer jeweiligen Wellenlänge zu übertragen. Die Sender **5** sind dazu geeignet, Signale zu übertragen, die eine vorbestimmte Impuls-Wiederholungsfrequenz (ausgedrückt in Gbit/s) und eine Impulsdauer (ausgedrückt in ps) haben. Für die Zwecke dieser Erfindung ist mit „Dauer“ eines Impulses die gesamte Dauer einer halben Höhe, bekannt in dem Stand der Technik als T_{FWHM} (Full Width at Half Maximum – volle Breite bei halbem Maximum), gemeint. Typischerweise ist die Dauer der Impulse ausreichend geringer als die Bit-Periode (übereinstimmend mit dem Inversen der Impuls-Wiederholungsfrequenz), um zu vermeiden, dass fortlaufende Impulse entlang der Leitung in Wechselwirkung treten. Die Sendefrequenz könnte, zum Beispiel, 2,5 Gbit/s, 10Gbit/s oder 40 Gbit/s sein, allerdings können auch Frequenzen geringer als oder größer als diese betrachtet werden.

[0075] Jeder der Sender **5** kann, zum Beispiel, in einer nicht dargestellten Weise einen Laser mit kontinuierlicher Emission, einen ersten Amplituden-Modulator, zum Beispiel den Mach-Zehnder-Interferometer-Typ, zum Erzeugen von der Strahlung, emittiert durch den Laser, von solitonen Impulsen einer vorab eingerichteten Amplitude und unter einer vorab eingerichteten Bit-Rate, und einen zweiten Amplituden-Modulator, zum Beispiel auch den Mach-Zehnder-Interferometer-Typ, zum Modulieren des Zugs der solitonen Impulse mit den Informationen, die gesendet werden sollen, aufweisen. In der Praxis wird ein digitales Signal an dem Ausgang des zweiten Modulators erhalten, in dem ein Signal, in der Periode entsprechend zu einem Bit, das Vorhandensein des solitonen Impulses ein Bit bei einem Niveau „1“ identifiziert, und das Nichtvorhandensein des solitonen Impulses ein Bit bei einem Niveau „0“ identifiziert. Anstelle eines Lasers mit kontinuierlicher Emission und dem ersten Modulator kann, gemäß alternativen, bekannten Techniken, ein Laser mit direkter Modulation, vorzugsweise ein Low-Chirp-Typ, verwendet werden, oder ein modeverriegelter Laser, geeignet zum Emittieren von Impulsen mit den Charakteristika, die erforderlich sind, kann verwendet werden.

[0076] Die Informationen, codiert auf den Signalen, erzeugt durch die Sender **5**, können zu den in Rede stehenden Sendern **5** in einem elektronischen Format oder in einem optischen Format zugeführt werden. Die letztere Situation (Informationen in einem optischen Format) ist der Fall, zum Beispiel, wenn die Sendeeinheit **2** optische Signale von einer weiteren, optischen Vorrichtung oder von einer optischen Übertragungsleitung, andere als diejenige der [Fig. 1](#), empfängt, und dementsprechend auf der Leitung **4** optische Signale sendet, die in einer Codeform mindestens einen Teil der Informationen, die empfangen sind, tragen und Charakteristika, geeignet zum Senden auf der Leitung **4** selbst, haben. In dem Fall, bei dem die digitalen Signale (zugeführt durch die Sender **5** und von einer unterschiedlichen Übertragungsleitung ankommend) unterschiedliche Charakteristika (wie zum Beispiel Wellenlänge, Datenfrequenz und/oder Format) gegenüber solchen, die für die optische Übertragungsleitung der [Fig. 1](#) erforderlich sind, haben, weist das optische Übertragungssystem vorzugsweise auch Schnittstelleneinheiten auf, die zum Empfangen der digitalen, optischen Signale geeignet sind und sie an die Charakteristika, erforderlich für die optische Übertragungsleitung, anpassen. Zum Beispiel geben die Schnittstelleneinheiten optische Signale aus, die Wellenlängen innerhalb des nutzbaren Arbeitsbands der optischen Verstärker, angeordnet in einer Kaskadenform, entlang der optischen Übertragungsleitung, haben.

[0077] In dem US-Patent Nr. 5267073, angemeldet durch den Anmelder, werden Schnittstelleneinheiten beschrieben, die insbesondere einen Übertragungsadapter, geeignet zum Umwandeln eines optischen Eingangssignals in eine Form, geeignet für die optische Übertragungsleitung, und einen Empfangsadapter, geeignet zum Zurückwandeln des gesendeten Signals zurück in eine Form, geeignet für eine Empfangsvorrichtung, aufweisen. Der Multiplexierer **6** ist zum Empfangen der N-Signale von den optischen Sendern **5** (TX_1, \dots, TX_N) geeignet, und um sie zu einem einzelnen Ausgang zuzuführen, um ein einzelnes WDM-Signal zu erzeugen. Der Multiplexierer **6** ist eine passive, optische Vorrichtung, die allgemein Koppler vom Typ einer geschmolzenen Faser, von planaren Optiken, von Mikrooptiken, oder ähnlichem Typ, aufweist. Anhand eines Beispiels werden Multiplexierer, geeignet für den vorgesehenen Zweck, durch B-TEK DYNAMICS INC. vertrieben.

[0078] Der Leistungsverstärker **7** ist zum Empfangen der Signale von dem Ausgang des Multiplexierers **6** und zum Anheben deren Energiepegel auf einen Wert, ausreichend, um entlang einer darauf folgenden Strecke einer optischen Faser, angeordnet vor einer neuen, verstärkenden Einrichtung, zu laufen und um die erforderliche Übertragungsqualität zu garantieren. Mit Leistungsverstärker ist ein Verstärker gemeint, der unter Zuständen einer Sättigung arbeitet, in der die Ausgangsleistung von der Pumpleistung abhängt.

[0079] In einer bevorzugten Ausführungsform davon weist die Leitung **4** eine Zahl von Abschnitten einer optischen Faser **8**, geeignet zum Abdecken der erwünschten Entfernung, optische Leistungsverstärker **9**, die sich mit den optischen Faserabschnitten **8** abwechseln, und Dispersions-Kompensatoren **10** auf.

[0080] Die Abschnitte der optischen Faser **8** (jeder zum Beispiel ungefähr einhundert Kilometer lang) sind vorzugsweise von einem monomodalen Typ, um das WDM-Signal über große Entfernungen zu leiten. Die Faser, verwendet für die Abschnitte **8** der optischen Faser, ist vorzugsweise eine Faser mit einem hohen, chromatischen Dispersionswert, zum Beispiel ein Stufenindex-Typ, eine Single-Mode-Faser (SMF) mit einer chromatischen Dispersion von Null mit ungefähr 1300 nm, kann allerdings auch alternativ von einem anderen Typ einer Faser sein, die die Propagation von RZ-Signalen, insbesondere von solitonen und nahezu solitonen Impulsen, ermöglicht, wie zum Beispiel eine Faser vom Typ mit Dispersionsverschiebung (dispersion shifted – DS) oder eine Faser vom Typ mit einer Nicht-Null-Dispersion (nonzero dispersion – NZD).

[0081] Jeder optische Leistungsverstärker **9** ist zwischen einem Abschnitt der Faser **8** und der nächsten angeordnet, um das Signal mit dem optischen Leistungsverlust zu Lasten der unvermeidbaren Dämpfung, die mit den Fasern auftritt, zuzuführen. Die Leistungsverstärker **9** sind, zum Beispiel, mittels Erbium dotierte, optische Faserverstärker (vorzugsweise mit verschiedenen Stufen), geeignet zum Ausgeben eines gesamten Leistungsumfangs entsprechend der Zahl von WDM-Kanälen, die übertragen werden sollen. Vorzugsweise sind die optischen Verstärker dazu geeignet, eine gesamte Leistung von mindestens 20 dBm auszugeben. Typischerweise sind die Verstärker dazu geeignet, in einem Unterband des Wellenlängenbands von 1530–1565 nm zu arbeiten. Vorzugsweise sind die Verstärker dazu geeignet, in dem gesamten Wellenlängenband von 1530–1565 nm, und bevorzugter in dem erweiterten Band von 1530–1600 nm, zu arbeiten. Verstärker, die zur Verwendung in dem System **1** geeignet sind, werden, zum Beispiel, durch den Anmelder hergestellt.

[0082] Die Leistungsverstärker **9**, wie auch der Leistungsverstärker **7**, ebenso wie das Vorsehen einer Verstärkung des WDM-Signals, sind Quellen eines Rauschens einer verstärkten, spontanen Emission (amplified spontaneous emission – ASE), das entlang der Leitung zusammen mit dem WDM-Signal propagiert wird. Dieses optische Rauschen tendiert dazu, sich durch den Effekt der unterschiedlichen Verstärker, die entlang der Leitung vorhanden sind, zu erhöhen, und demzufolge seine maximale Intensität an dem Ende der in Rede stehenden Leitung zu erreichen.

[0083] Die Dispersions-Kompensatoren **10** sind als Rechtecke, angeordnet an den optischen Leistungsverstärkern **9**, dargestellt. In der Praxis kann jeder Dispersions-Kompensator **10** innerhalb eines jeweiligen Verstärkers (zum Beispiel in dem Fall von Mehrfach-Stufen-Verstärkern zwischen einer Verstärkungsstufe und der nächsten) angeordnet werden, und zwar eingangsseitig oder ausgangseitig des Verstärkers selbst, oder, als eine zusätzliche Alternative, an einem Zwischenpunkt der Leitung zwischen den zwei aufeinanderfolgenden Verstärkern. Jeder Dispersions-Kompensator **10** wird durch das gesendete Signal durchlaufen und ist dazu geeignet, einen zuvor eingerichteten Prozentsatz (definiert durch das Verhältnis einer Kompensation RC) der chromatischen Dispersion, akkumuliert durch das Signal, zu kompensieren. Die Dispersions-Kompensatoren **10** können, zum Beispiel, Abschnitte einer vorbestimmten Länge einer Dispersion kompensierenden Faser (wie dies zum Beispiel in dem US-Patent Nr. 5,361,319 beschrieben ist) oder ein oder mehrere Abschnitte einer Faser, die ein Gitter mit nicht konstanter Teilung (chirped), verbunden in der Leitung über einen Zirkulator, einen Koppler, oder dergleichen, um, in einer geeigneten Zeitsequenz, die unterschiedlichen, spektralen Komponenten des Signals zu reflektieren, wie dies zum Beispiel in dem US-Patent Nr. 4,953,939 beschrieben ist, aufweisen. Eine Technik zum Erzeugen von Chirp-Gittern, geeignet zur Verwendung in dieser Erfindung, ist, zum Beispiel, in der Patentanmeldung WO 98/08120, angemeldet durch den Anmelder, beschrieben. Die Funktion jedes Kompensators ist diejenige, eine Änderung in dem Zeitprofil der Impulse entgegengesetzt zu demjenigen, verursacht durch die optischen Fasern der Leitung, und von einer Größe so, um deren Störung bzw. Verzerrung in einem wesentlichen Umfang zu kompensieren, zu bewirken.

[0084] Die Empfangseinheit **3** weist einen Vorverstärker **12**, einen Demultiplexierer **13** (bezeichnet mit DEMUX), N nichtlineare Filter **15**, hergestellt gemäß der Erfindung, und N optische Empfänger **14** auf. Hier und nachfolgend ist mit „nichtlineares Filter“ eine Vorrichtung mit nichtlinearen und dispersiven Charakteristika, geeignet zum Filtern des optischen Rauschens, übertragen gleichzeitig mit dem Signal, gemeint. Genauer gesagt

ist das „nichtlineare Filter“ einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung, die zum Ausnützen dispersiver und nichtlinearer Phänomene geeignet ist, um eine Verringerung der Rauschkomponente in der Phase mit dem Signal zu erzeugen. Dementsprechend wird, auf der Basis des Vorstehenden, eine Verringerung des Rauschens, vorhanden in dem Signal, das empfangen ist, erhalten.

[0085] Der Vorverstärker **12** ist zum Empfangen der 30 Signale von dem letzten Abschnitt der optischen Faser **8** der Leitung **4** und zum Verstärken davon auf ein Leistungsniveau, das von sowohl den Verlusten der Leistung, erwartet in dem Demultiplexierer **13**, als auch in den nichtlinearen Filtern **15**, ebenso wie von der Leistung, erforderlich dazu, einen korrekten Empfang an den Empfängern **14** zu haben, abhängt. Insbesondere ist der Vorverstärker **12** dazu geeignet, die Leistung bzw. Energie des Signals, das zu den Empfängern **14** zugeführt werden soll, auf einen Wert geeignet größer als der Empfindlichkeits-Schwellwert des Empfängers selbst (zum Beispiel von -26 dBm bis -11 dBm an dem Eingang der Empfänger) anzuheben, wobei gleichzeitig ein Rauschen so gering wie möglich eingeführt wird und die Entzerrung der Signale beibehalten wird. Der Vorverstärker **12** ist, zum Beispiel, ein mit Erbium dotierter, optischer Faserverstärker mit einer oder mehreren Stufe(n). Der Vorverstärker **12** ist auch eine Quelle einer verstärkten, spontanen Emission (amplified spontaneous emission – ASE).

[0086] Der Demultiplexierer **13** kann mit irgendeiner Vielzahl von Technologien hergestellt werden und ist zum Separieren der N-Kanäle, die empfangen sind, bei jeweiligen Wellenlängen, auf N unterschiedlichen Ausgängen, geeignet. Zum Beispiel kann der Demultiplexierer **13** ein Bragg-Gitter oder Signalteiler vom Interferenz-Typ und Filter aufweisen, oder kann, alternativ, Arrayed Waveguide Grating Vorrichtungen (AWG) aufweisen.

[0087] Jeder optische Empfänger **14** (RX_1, \dots, RX_N) weist einen Fotodetektor (nicht dargestellt), verbunden mit einem jeweiligen Ausgang des Demultiplexierers **13**, zum Empfangen eines jeweiligen Signals zusammen mit dem optischen Rauschen, erzeugt durch die Verstärker des Systems **1**, und zum entsprechenden Erzeugen eines elektronischen Signals, korreliert zu sowohl dem optischen Signal als auch dem optischen Rauschen, das empfangen ist, auf. Zugeordnet zu jedem elektronischen Signal ist ein Qualitäts-Parameter oder -Faktor Q, definiert nachfolgend, der von dem Niveau des optischen Rauschens (insbesondere demjenigen, definiert durch die verstärkte, stimulierte Emission der Verstärker) und von der Verzerrung, die durch das optische Signal während der Übertragung erfahren wird, abhängt. Die Informationen, enthalten in den elektronischen Signalen, erzeugt durch jeden optischen Empfänger, können so, wie sie sind, verwendet werden, oder können zu einer Regenerierungseinheit (nicht dargestellt) für die Modulation weiterer optischer Signale, die vordefinierte, parametrische Charakteristika haben, zugeführt werden.

[0088] Vorzugsweise weist die Empfangseinheit **3** auch einen Dispersions-Kompensator **10**, zum Beispiel desselben Typs wie solche, die entlang der Leitung **4** platziert sind, angeordnet an dem Vorverstärker **12**, auf.

[0089] Das System **1** kann auch Vorrichtungen zum Extrahieren und/oder Einsetzen der Signale eines bekannten Typs (nicht dargestellt), angeordnet zum Beispiel entlang der Leitung **4**, aufweisen, wobei in diesem Fall die Zahl von Kanälen, die empfangen ist, unterschiedlich gegenüber der Zahl von Kanälen, die gesendet ist, sein kann, und deshalb kann die Zahl von Empfängern **14** unterschiedlich gegenüber der Zahl von Sendern **5** sein. Ohne irgendeine Beeinträchtigung der allgemeinen Art wird hier und in dem Nachfolgenden angenommen werden, dass die Zahl von Empfängern **14** dieselbe wie die Zahl von Sendern **5** ist, und dass es deshalb möglich ist, eine optische Verbindung zwischen jedem der Empfänger **14** und einem entsprechenden Sender **5** zu definieren. Diese Verbindung weist den Multiplexierer **6**, den Verstärker **7**, die Leitung **4**, den Vorverstärker **12** und den Demultiplexierer **13** auf. Die nichtlinearen Filter **15** (NLF_1, \dots, NLF_N) sind jeweils zwischen einem jeweiligen Ausgang des Demultiplexers **13** und einem jeweiligen entsprechenden Empfänger **14** angeordnet.

[0090] Dargestellt in [Fig. 2a](#) ist eine bevorzugte Ausführungsform eines nichtlinearen Filters **15**. Das nichtlineare Filter **15** weist einen optischen Eingang **16** zum Eingeben der Signale, einen optischen Ausgang **17** zum Ausgeben der Signale, eine erste, nichtlineare Komponenten **18** mit normaler Dispersion und vorzugsweise, allerdings nicht notwendigerweise, eine zweite Komponente **19** mit anormaler Dispersion, angeordnet ausgangsseitig der Komponenten **18** in Bezug auf die Propagationsrichtung der Signale, das bedeutet, platziert zwischen dem Eingang **16** und der Komponenten **18**, auf. Diese Komponente **19** mit anormale Dispersion besitzt vorzugsweise eine vernachlässigbare Nichtlinearität und weist, zum Beispiel, ein Chirp-Gitter oder eine optische Faser mit anormaler Dispersion auf.

[0091] Für die Zwecke dieser Erfindung ist mit „nichtlinearer Komponente“ oder „Komponente, die eine Nichtlinearität besitzt“, eine optische Vorrichtung zum Bestimmen, in einem optischen Signal, das dort hindurchfährt,

einer nichtlinearen Phasenverschiebung $e^{i\varphi}$, wobei die Variation der Phase φ , ausgedrückt in Radiant, größer als 0,5 ist, gemeint. Vorzugsweise ist die nichtlineare Phasenverschiebung größer als 1 Radiant, und noch bevorzugter größer als 2 Radiant.

[0092] Vorzugsweise, obwohl nicht notwendigerweise, weist das Filter **15** auch ein optisches Bandpass-Filter **20** eines bekannten Typs, das ein Durchlassband, zentriert auf der Wellenlänge des Signals, besitzt, und einen optischen Verstärker **21**, auch eines bekannten Typs, angeordnet in einer Kaskadenform zwischen dem Eingang **16** und der zweiten Komponenten **19**, auf. Vorzugsweise ist der optische Verstärker **21** aus dem Vorverstärker des optischen Telekommunikationssystems aufgebaut.

[0093] Die erste Komponente **18** wird betriebsmäßig in einer solchen Art und Weise ausgewählt, um die Rauschkomponente, in Phase mit dem Signal, auf der Basis des Modulations-Instabilitäts-Phänomens in einer normalen Dispersion, beschrieben vorstehend, zu reduzieren.

[0094] Die zweite Komponente **19** ist, obwohl sie vorhanden ist, betriebsmäßig in einer solchen Art und Weise ausgewählt, um die Form der Signalimpulse wieder zu optimieren, d.h. die Verzerrung der Impulse, die in Rede stehen, an dem Ende der Übertragungsleitung zu reduzieren.

[0095] Das Platzieren der zweiten Komponenten **19** ausgangsseitig der ersten Komponenten **18** ist für das Erreichen des erwünschten Rauschfiltereffekts wichtig. Dies kommt daher, dass eine Komponente mit anormaler Dispersion eine erneute Störung des Rauschens zwischen den zwei In-Phase- n_F - und der In-Quadratur- n_Q -Komponenten ausreichend erzeugt, um im Wesentlichen das Gleichgewicht zwischen der Leistung der Komponenten wieder herzustellen. Falls sie eingangsseitig der ersten Komponenten **18** angeordnet ist, nimmt die Komponenten **19** mit anormaler Dispersion ein Eingangsrauschen mit In-Phase- n_F - und der In-Quadratur-Nicht-Beiträge des gleichen Umfangs (im Durchschnitt) auf. Der Effekt einer erneuten Störung ändert nicht diese Situation eines Gleichgewichts, und der einzige Beitrag der Komponenten mit anormaler Dispersion ist derjenige eines Verringerns der Störung bzw. Verzerrung.

[0096] Andererseits würde, falls die Komponente **19** anormaler Dispersion ausgangsseitig der Komponenten **18** vorhanden sein würde, sie an dem Eingang Strahlung aufnehmen, in der das In-Phase-Rauschen n_F in Bezug auf das In-Quadratur-Rauschen n_Q unterdrückt ist. In diesem Fall würde der Effekt der Komponenten **19** in einer nicht erwünschten Weise erneut die In-Phase-Komponente eines Teils des In-Quadratur-Rauschens stören, und deshalb würde die Filterwirkung der Komponenten **18** an der In-Phase-Komponenten n_F zumindest teilweise aufgehoben werden.

[0097] Die erste Komponente **18** weist vorzugsweise eine optische Faser mit einem hohen, nichtlinearen Effekt und mit einem Betrieb vom Typ mit normaler Dispersion auf. Eine Anzahl von charakteristischen Parametern ist der optischen Faser, die betrachtet wird, zugeordnet, insbesondere der Nichtlinearitätskoeffizient γ (ausgedrückt in $W^{-1} \cdot km^{-1}$), der Dämpfungskoeffizient a (ausgedrückt in $dB \cdot km^{-1}$), die Länge L_{19} der Faser selbst (ausgedrückt in km) und der Dispersionskoeffizient β_2 (ausgedrückt in $ps^2 \cdot km^{-1}$). In diesem Fall wird der Dispersionskoeffizient β_2 der ersten Komponenten **18** hier und in dem Nachfolgenden als $\beta_{2,NORM}$ angezeigt und als „Koeffizient mit normaler Dispersion“ bezeichnet, um anzuzeigen, dass die erste Komponente **18** unter Umständen einer normalen Dispersion arbeitet.

[0098] Der Parameter β_1 wird dazu verwendet, eine optische Komponente in Bezug auf eine Dispersion zu charakterisieren, und stellt den Koeffizient der zweiten Ordnung der Expansion in Taylor-Reihen der Propagations-Konstanten β dar. Für ein Signal, das eine zentrale Frequenz ω_0 hat, wird die Reihenexpansion ausgedrückt wie folgt:

$$\beta(\omega) = n(\omega) \cdot \frac{\omega}{c} = \beta_0 + \beta_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2}\beta_2(\omega - \omega_0)^2 + \dots$$

[0099] Es kann gezeigt werden, dass, für eine Wellenlänge λ , der Parameter β_2 gegeben ist durch:

$$\beta_2 = \frac{\lambda^3}{2\pi c^2} \frac{d^2 n}{d\lambda^2}$$

wobei n der Brechungsindex ist und c die Lichtgeschwindigkeit ist. Ebenso wie mit dem Parameter β_2 können die Dispersions-Charakteristika einer Faser auch unter Verwendung des Dispersions-Parameters D (ausgedrückt in $ps \cdot nm^{-1} \cdot km^{-1}$), verknüpft mit dem Parameter β_2 , durch die Beziehung beschrieben werden:

$$D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \cdot \beta_2$$

[0100] Eine Faser mit einer normalen Dispersion ist durch einen positiven β_2 Wert, und deshalb durch einen negativen Wert für D , charakterisiert, wogegen eine Faser mit einer anormalen Dispersion durch einen negativen β_2 Wert, und deshalb einem positiven Wert für D , charakterisiert ist.

[0101] In dem derzeitigen Stand der Technik wird der Koeffizient der Nichtlinearität γ allgemein mittels des Ausdrucks angenähert:

$$\gamma = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{\text{eff}}}$$

wobei n_2 der nichtlineare Brechungsindex der Faser ist, A_{eff} der effektive Bereich der Faser ist und λ die Wellenlänge der optischen Strahlung, die betrachtet wird, ist.

[0102] Der Zustand, ausgedrückt in der Definition einer Nichtlinearität, $\phi > 0,5$, stellt eine Beschränkung in Bezug auf die Auswahl der charakteristischen Parameter der nichtlinearen Komponenten **18** dar. Tatsächlich ist die Phase mit den charakteristischen Parametern der Komponenten **18** durch die folgende Beziehung verknüpft:

$$\phi = \gamma \cdot P \cdot L_{\text{eff}}$$

wobei γ der bereits angegebene Koeffizient einer Nichtlinearität (ausgedrückt in $W^{-1} \cdot km^{-1}$) ist, P die durchschnittliche Leistung des Signals pro Kanal (ausgedrückt in W) ist und L_{eff} die effektive Länge der Faser (ausgedrückt in km) ist. Die effektive Länge der Faser L_{eff} kann wiederum ausgedrückt werden wie folgt:

$$L_{\text{eff}} = \frac{1 - e^{-\alpha}}{\alpha}$$

wobei α der bereits angegebene Dämpfungskoeffizient, der der Komponenten zugeordnet ist, ist, in diesem Fall ausgedrückt in km^{-1} .

[0103] Der vorstehende Zustand wird zum Beispiel durch eine optische Faser erfüllt, die einen Koeffizienten einer Nichtlinearität γ von $20 W^{-1} km^{-1}$, eine durchschnittliche Signalleistung P von $10 mW$ und eine effektive Länge L_{eff} von $5 km$ besitzt.

[0104] Die Werte für eine Dispersion $\beta_{2,NORM}$ und eine Nichtlinearität (nichtlineare Phasenverschiebung ϕ) der Komponenten **18** werden positiv gewählt, und zwar ohne das Vorhandensein der Komponenten **19** mit anormaler Dispersion, in einer solchen Art und Weise, um eine Erhöhung um mindestens $1 dB$ des Qualitätsparameters Q für das Übertragungssystem in Bezug auf den Fall zu erhalten, bei dem die Komponente **18** fehlt. Für die Zwecke einer praktischen Anwendung dieser Erfindung ist der durchschnittliche Wert von $\beta_{2,NORM} \cdot L$ entlang der Komponenten **18** größer als $0 ps^2$ und geringer als $500 ps^2$. Dies kommt daher, dass der Anmelder beobachtet hat, dass in der Praxis, für eine breite Auswahl von Betriebszuständen (Bit-Rate, Länge der Kommunikationsleitung, nichtlineare Phasenverschiebung e^{ϕ} des nichtlinearen Filters, usw.), Werte von $\beta_{2,NORM} \cdot L$ größer als $500 ps^2$ eine übermäßige Verzerrung des Signals und eine Verschlechterung, im Gegensatz zu einer Verbesserung, des Q -Faktors verursachen.

[0105] Vorzugsweise ist der durchschnittliche Wert von $\beta_{2,NORM} \cdot L$ geringer als $200 ps^2$. Noch bevorzugter besitzt $\beta_{2,NORM} \cdot L$ einen durchschnittlichen Wert von geringer als $100 ps^2$.

[0106] Der Anmelder hat herausgefunden, dass, zu Lasten der relativ hohen Werte des Nichtlinearitätskoeffizienten der Komponenten **18** und der optischen Leistung darin, die Komponente **18** einer stimulierten Brillouin-Streuung (Stimulated Brillouin Scattering – SBS) unterworfen werden kann. Die Effekte dieses Phänomens können, entsprechend bekannten Techniken, zum Beispiel durch ein Dithering der Wellenlänge des optischen Signals um die zentrale Wellenlänge herum, oder in dem Fall, bei dem die Komponente **18** eine optische Faser aufweist, die eine hohe Nichtlinearität besitzt, durch Unterbrechen der Übertragung der aufgrund des Brillouin-Effekts zurückgestreuten Strahlung mittels optischer Isolatoren, angeordnet entlang der optischen Faser selbst, entweder unter regelmäßigen Intervallen, oder, noch bevorzugter, unter einem Abstand, abgemessen in Bezug auf die optische Leistung entlang des Lichtreflexes, kompensiert werden. Gemäß einer

anderen Technik kann ein SBS durch Erzeugen einer nichtlinearen (und, wie dies notwendig ist, einer normalen Dispersion) optischen Faser für die Komponente **18** verringert werden, beginnend von einer Vorform aus, erhalten durch Überlegen in Folge von „Scheiben“ bzw. „Discs“, die ein Brechungsindexprofil entsprechend zu den optischen Eigenschaften, die erwünscht sind, haben, allerdings aus unterschiedlichen Materialien hergestellt sind, so dass deren elastische Charakteristika zueinander unterschiedlich sind. Beginnend von einer Preform bzw. Vorform dieses Typs aus ist es möglich, durch Ziehen eine optischen Faser mit elastischen Charakteristika zu erhalten, die entlang dieser Faser variieren, so dass die Kohärenz der akustischen Signale entlang der Faser unterbrochen werden kann und das SBS wesentlich verringert werden kann.

[0107] Die zweite Komponente **19** weist vorzugsweise eine Faser auf, die in einem anomalen Dispersionsbereich arbeitet, und, vorzugsweise, unter Zuständen einer Linearität, und deren charakteristische Parameter sind der Dämpfungskoeffizient α , die Länge L_{19} und der Dispersionskoeffizient β_2 , hier und nachfolgend angegeben mit $\beta_{2,ANOM}$ und bezeichnet als „Koeffizient einer anomalen Dispersion“, um anzuzeigen, dass dieselbe, zweite Komponente **19** in dem anomalen Dispersionsbereich arbeitet. Die Werte der Parameter, insbesondere des Dispersionskoeffizienten $\beta_{2,ANOM}$ und der Länge L_{19} , werden so ausgewählt, um eine Verzerrung des Signals zu verringern. Insbesondere reichen typische Werte für das Produkt $\beta_{2,ANOM} \cdot L_{19}$ zwischen -1000 ps^2 und 0 ps^2 , vorzugsweise zwischen -500 ps^2 und 0 ps^2 . Alternativ weist die zweite Komponente **19** ein anomales Dispersions-Chirp-Gitter, das Charakteristika besitzt, die zum Reduzieren der Signalverzerrung geeignet sind, wie dies vorstehend angegeben ist, auf.

[0108] Dargestellt in [Fig. 2b](#) ist eine unterschiedliche, mögliche Ausführungsform des nichtlinearen Filters, bezeichnet hier mit **15'**. Das Filter **15'** unterscheidet sich von dem Filter **15** dahingehend, dass es eine erste Komponente **18'**, aufweisend zwei separate Elemente **18'a** und **18'b**, umfasst, wobei die erste davon (**18'a**) vorherrschend nichtlineare Charakteristika besitzt, und die zweite davon (**18'b**) vorherrschend normale Dispersions-Charakteristika besitzt. Die Reihenfolge, in der die zwei Elemente **18'a** und **18'b** in Reihe angeordnet sind, ist wichtig, da dann, wenn die Reihenfolge in Bezug auf diejenige, die vorstehend angegeben ist, umgeändert wird, dabei nicht länger der erwünschte Filtereffekt vorhanden ist, sondern anstelle davon eine nicht erwünschte Verzerrung des Signals vorhanden ist. Tatsächlich würde, falls das nichtlineare Element **18'a** ausgangsseitig des dispersiven Elements **18'b** angeordnet werden würde, der Beitrag des Elements **18'a**, identifizierbar als eine Phasenverschiebung $e^{i\phi}$, angewandt auf das Signal, durch die „Quadrat-Modul“-Operation, bewirkt durch den Fotodetektor an dem Ende des Telekommunikationssystems, aufgehoben werden würde.

[0109] Das erste Element **18'a** ist, vorzugsweise, eine optische Faser (wie dies in [Fig. 2b](#) dargestellt ist) mit einem sehr hohen, nichtlinearen Effekt bei der chromatischen Dispersion Null und unter Bedingungen einer hohen Signalleistung, und deren charakteristische Parameter sind der Nichtlinearitätskoeffizient γ , der Dämpfungskoeffizient α und die Länge $L_{18'a}$. Das zweite Element **18'b** ist vorzugsweise eine optische Faser mit normaler Dispersion (wie dies in [Fig. 2b](#) dargestellt ist). Der Dämpfung durch das Element **18'a** folgend, arbeitet die Faser **18'b** vorzugsweise unter Bedingungen einer Nichtlinearität (niedrige Leistung). Deren charakteristische Parameter sind der Koeffizient der normalen Dispersion $\beta_{2,NORM}$, der Dämpfungskoeffizient α und die Länge $L_{18'b}$.

[0110] Die anderen Teile des Filters **15'** sind dieselben wie die entsprechenden Teile des Filters **15** und werden deshalb unter Verwendung derselben Bezugszeichen bezeichnet. Der Zustand einer Phasenverschiebung, ausgedrückt in der Definition einer Nichtlinearität, kann einfach auf den Fall der Komponenten **18'**, unter Berücksichtigung der charakteristischen Parameter des ersten Elements **18'a**, erweitert werden.

[0111] Die Werte einer Nichtlinearität (nichtlineare Phasenverschiebung ϕ) des Elements **18'a** und einer Dispersion $\beta_{2,NORM}$ des Elements **18'b** werden betriebsmäßig beim Nichtvorhandensein der Komponenten **19** mit anomaler Dispersion so, um zumindest um 1 dB den Qualitätsparameter Q des Übertragungssystems in Bezug auf den Fall, bei dem die Komponente **18'** nicht verwendet wird, zu erhöhen, ausgewählt.

[0112] Der Filtereffekt des nichtlinearen Filters **15** (oder **15'**) in Bezug auf das Signal, das dadurch hindurchfährt, kann wie nachfolgend beschrieben werden. Das Bandpassfilter **20** isoliert die Signal- und Rauschbeiträge bei einer Wellenlänge, die von Interesse ist, unter Beseitigen der Signal- und Rauschbeiträge bei den anderen Wellenfängen. In der Praxis ermöglicht, in dem Fall des i-ten Kanals, das Bandpassfilter **20** des i-ten nichtlinearen Filters NFL nur, dass die optische Strahlung bei der Wellenlänge λ_i hindurchfährt. Der Verstärker **21** empfängt das gefilterte Signal von dem Filter **20** und verstärkt es auf ein erwünschtes Leistungsniveau P.

[0113] Das Signal wird dann durch die Komponente mit anomaler Dispersion empfangen, die die Signalverzerrung reduziert, indem sie (zumindest teilweise) es zu seiner ursprünglichen Form zurücksetzt. Das Signal,

das entsprechend korrigiert ist, gelangt dann zu der Komponenten **18** (oder der Komponenten **18'** in dem Fall des Filters **15'**), wobei, auf Grund der Effekte der Modulations-Instabilität (der Umfang davon ist von den Nicht-linearitäts- und Dispersions-Charakteristika der Komponenten **18** selber abhängig), die Rauschkomponente n_F in Phase mit dem Signal verringert wird. Falls, wie in dem Fall der [Fig. 1](#), das Signal, ausgegeben von dem Filter **15** (oder **15'**), durch einen Fotodetektor empfangen wird, besitzt das elektronische Signal, das aufeinanderfolgend erzeugt ist, einen niedrigen Rauschpegel, da das Phänomen eines Beeinflussens zwischen dem Signal und der In-Phase-Rauschkomponenten n_F reduziert wird.

[0114] Um den Filtereffekt des nichtlinearen Filters **15** in Bezug auf die Funktionsweise des Übertragungssystems **1** zu verifizieren, wurden digitale Simulationsmessungen durch Prüfen eines vereinfachten Übertragungssystems, dargestellt in [Fig. 3](#) und bezeichnet mit dem Bezugszeichen **101**, vorgenommen, geeignet zum Übertragen auf einer einzelnen Wellenlänge ($\lambda = 1550$ nm). Das Sendesystem **101** umfasst eine Sendeeinheit **102**, wiederum einen Sender **105** und einen Leistungsverstärker **107** aufweisend, eine Sendeleitung **104**, wiederum fünf Abschnitte einer Faser **105**, jede 100 km lang, und vier Leistungsverstärker **109** aufweisend, und eine Empfangseinheit **103**, wiederum einen Vorverstärker **112**, ein optisches Bandpassfilter **116**, ein nichtlineares Filter **115** und einen optischen Empfänger **114** aufweisend. Das nichtlineare Filter **115** ist cf des Typs, dargestellt in [Fig. 2a](#), oder des Typs, dargestellt in [Fig. 2b](#).

[0115] Das Sendesystem **101** weist auch fünf Dispersions-Kompensatoren **110** auf, von denen vier jeweils entsprechend zu einem jeweiligen Leistungsverstärker **109** und der verbleibende eine in Übereinstimmung mit dem Vorverstärker **112** platziert sind.

[0116] In den Simulationen wurde der Koeffizient α einer Dämpfung des Signals der Abschnitte der Faser **105** so angenommen, dass er $0,25 \text{ dB km}^{-1}$ ist, und die Signale, gesendet durch den Sender **105**, wurden so angenommen, dass sie solitone Impulse bei einer einzelnen Wellenlänge ($\lambda = 1550$ nm) mit einer Bit-Rate von 10 Gbit/s und einer Zeitdauer (FWHM) von 35 ps sind. Die Leistung des Senders **105** und die Verstärkung der Verstärker **107**, **109** wurden so festgelegt, um eine durchschnittliche Leistung des Signalausgangs von jedem Leistungsverstärker **109** von ungefähr 10 mW zu haben. Zusätzlich wurde ein optisches Filter **116** ausgewählt, das eine Bandbreite von 0,5 nm besaß.

[0117] Innerhalb des Empfängers **114** ist ein elektrisches Filter (nicht dargestellt), zum Beispiel ein Bessel-Thompson-Typ IV. Ordnung, mit einer elektrischen Bandbreite von 7,5 GHz, das eine Frequenzfilterung der elektronischen Signale, erzeugt durch den Empfänger **114**, ermöglicht, besitzt.

[0118] Mit digitalen Übertragungen wird die Qualität des Signals, das empfangen ist, allgemein durch Berücksichtigung eines Qualitätsfaktors, bezeichnet als der „Q-Faktor“, abgeschätzt (definiert, zum Beispiel, in dem zuvor zitierten Artikel von Hui et al., „Modulation Instability and Its Impact in Multispan Optical Amplified IMDD Systems: Theory and Experiments“), der sowohl das Rauschen als auch die Verzerrung, zugeordnet zu dem Signal, berücksichtigt. In der Praxis ist, je höher der Wert von Q ist, desto besser die Qualität des Signals im Hinblick auf ein Rauschen und eine Verzerrung. Der Q-Faktor ist zu der Bit-Fehler-Rate (Bit Error Rate BER), die die Frequenz angibt, mit der ein Bit einer Information nicht korrekt empfangen wird, korreliert.

[0119] Es wird das Diagramm der [Fig. 4a](#) betrachtet (das, auf dem Gebiet von digitalen Übertragungen, herkömmlich als ein „Augen“ Diagramm bezeichnet wird), das die Form des Signals, empfangen durch den Empfänger **114**, in dem Fall eines Sendens ohne das Vorhandensein von Fasern **105** und Dispersions-Kompensatoren **110**, ersetzt durch Dämpfungsglieder einer ähnlichen Dämpfung, und ohne das Vorhandensein des nichtlinearen Filters **115**, darstellt. In diesem Diagramm ist das Signal mit dem Rauschen überlagert, das, zumindest teilweise, von der Strahlung einer spontanen Emission (ASE) der Verstärker **107**, **109**, **112** ausgeht. Ausgangsseitig des Empfängers **114** tendiert die ASE-Komponente, in Phase mit dem Signal, dazu, auf der Basis der Phänomene, die zuvor beschrieben sind, gegenseitige Beeinflussungen mit dem Signal, das empfangen ist, zu erzeugen, was zu einem nicht erwünschten, elektronischen Rauschen führt. Dieses Rauschen manifestiert sich am meisten an den Bits an einem Niveau 1, verringert die Qualität des Signals und verschlechtert deshalb den BER-Wert. Der Q-Faktor kann aus dem approximierten Ausdruck abgeleitet werden:

$$Q[\text{dB}] = 10 \log_{10} \frac{m_1 = m_0}{\sigma_1 \div \sigma_0}$$

wobei m_1 und σ_1 der Durchschnittswert und die Standardabweichung des Signals auf einem Niveau 1 an dem Punkt einer maximalen Apertur des Augen-Diagramms sind und m_0 und σ_0 dieselben Werte, die dem Pegel 0 zugeordnet sind, sind.

[0120] [Fig. 4b](#) stellt das Augen-Diagramm für das Signal, erfasst durch den Empfänger **114**, in dem Fall einer Übertragung ohne das Vorhandensein von Fasern **105** und Dispersions-Kompensatoren **110**, ersetzt durch Dämpfungsglieder einer gleichen Dämpfung, allerdings ohne das Vorhandensein des nichtlinearen Filters **115**, des Typs der [Fig. 2a](#) oder der [Fig. 2b](#), dar. Das Signal, das empfangen ist, besitzt einen niedrigeren Rauschpegel als dasjenige des vorherigen Falls, insbesondere bei einem Pegel „1“. Das nichtlineare Filter **115** erzeugt allerdings eine Verzerrung des Signals und eine Verringerung in der Amplitude des Augen-Diagramms, da die Signalkurve relativ zu einem Bit unter einem Pegel „1“ einer Abflachung unterliegt und dazu tendiert, sich der Kurve relativ zu einem Bit auf einem Niveau „0“ anzunähern.

[0121] In der Praxis zeigt, wie durch die Simulationen, angegeben in den [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#), demonstriert ist, falls das nichtlineare Filter **115** nicht umfasst ist, das Augen-Diagramm, erzeugt durch den Empfänger **114**, das Vorhandensein eines definitiven Bands eines Rauschens, überlegt auf dem Signal, insbesondere auf dem „1“ Pegel (wo eine gegenseitige Beeinträchtigung des Rauschens mit sich selbst alleine vorhanden ist), und ist weniger stark auf dem „0“ Pegel (wo eine Beeinflussung des Rauschens mit sich selbst alleine vorhanden ist). Wenn das nichtlineare Filter **115** vorhanden ist, wird, andererseits, das Band eines Rauschens, überlegt auf den „1“ Symbolen, stark verringert, wogegen dasjenige auf den „0“ Symbolen praktisch unverändert verbleibt. Diese Verringerung in dem Rauschen wird auf Kosten einer Signalverzerrung erhalten, so dass der Impuls relativ zu dem „1“ Symbol praktisch die Form eines NRZ-Signals annimmt. Über diesen Verzerrungs-Schwellwert hinaus würden die „Enden“ der Bit-Kurve des Pegels „1“, d.h. solche Bereiche der Kurve in der Nähe der Grenzen des Zeitschlitzes des Bits, übermäßig werden, in den Zeitschlitz des benachbarten Bits hinein laufend, und was Anlass dazu gibt, was als „Intersymbol-Interferenz“ bekannt ist. Wie nachfolgend demonstriert werden wird, führt das Einsetzen eines geeignet ausgewählten Filters **115** zu einer Verringerung des Rauschens, überlegt auf dem Signal, wobei die positiven Effekte davon in Bezug auf den Q-Faktor, und dementsprechend in Bezug auf BER, größer als die negativen Effekte aufgrund der zusätzlichen Verzerrung sind.

[0122] Anhand der Diagramme in den [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#) kann auch abgeleitet werden, dass die Filtertechnik der Erfindung weniger effektiv in dem Fall einer Übertragung von NRZ-Signalen ist. Dies kommt daher, dass, in diesem Fall, das Signal, das empfangen ist, von dem Typ, dargestellt in [Fig. 4b](#), bereits ohne das Vorhandensein des Filters **115**, sein würde, und dass das Einsetzen des Filters **115** zu einem weiter nach unten Schrägverlauf der Kurve des „1“ Symbols führen würde, d.h. ein Verzerrungseffekt, so dass der BER übermäßig werden würde. Die typische Form des NRZ-Signals definiert deshalb eine Grenze für die Verzerrung, die in dem Fall von RZ-Signalen akzeptierbar ist, über die hinaus jedes Bit dazu tendiert, in die Zeitschlitz der angrenzenden Bits, die eine Interferenz mit dem letztgenannten erzeugen, zu fließen. Kurz gesagt wird, über diese Grenze der positiven Effekte auf Q aufgrund der Verringerung des Rauschens, überlegt auf dem Signal, hinaus, den negativen Effekten auf Q aufgrund einer Verzerrung des Signals entgegengewirkt.

[0123] Die [Fig. 5–Fig. 13](#) stellen die Ergebnisse von digitalen Messungen, geeignet zum Simulieren der Übertragung der Signale in dem System **101** der [Fig. 3](#), und zum Darstellen, wie verschiedene, charakteristische Parameter des nichtlinearen Filters **115** auf die Qualität des empfangenen Signals (gemessen durch den Q-Faktor) einwirken, dar. Um Ergebnisse zu erhalten, die für einen Vergleich geeignet wären, wenn die Simulation durchgeführt werden, wurde angenommen, dass der Beitrag des Rauschens zu dem System immer derselbe war. Die Werte, die berichtet sind, sind, für jede Simulation, das Ergebnis eines Durchschnitts, vorgekommen in Bezug auf 160 Abtastungen, die erhalten sind.

[0124] Das Verfahren eines Vorgangs für die Simulationen war wie folgt. Die Übertragung eines solitonischen Signals wurde in dem System **101** simuliert. Ohne das nichtlineare Filter **115**, den Parameter Q, zugeordnet zu dem elektronischen Signal, das darauffolgend erhalten ist, messend, definiert dieser Wert für Q einen Referenzwert Q_0 . Die Übertragung wurde dann nach Einsetzen, eingangsseitig des Empfängers **114**, eines Dispersions-Kompensators, der unter linearen Zuständen arbeitet, ausgewählt in einer solchen Art und Weise, um den Wert von Q zu maximieren, um so einen Wert von Q_0 zu erhalten, wiederholt. Schließlich wurde jeder Dispersions-Kompensator für eine normale Dispersion, einen normalen Betrieb, durch ein Filter ersetzt, das unter nichtlinearen Zuständen arbeitet, auch ausgewählt in einer solchen Art und Weise, um den Wert von Q zu maximieren, um so einen Wert Q_2 größer als Q_0 zu erhalten. Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass der Wert von Q_2 größer als der Wert von Q_1 ist, was demzufolge zeigt, dass die Technik der Erfindung zum Verbessern der Funktionsweise des Systems in einem Umfang größer als herkömmliche Techniken geeignet ist.

[0125] Die Ergebnisse der Simulationen sind nachfolgend angegeben. Eine erste Simulation (die Ergebnisse davon sind nicht grafisch dargestellt) wurde durchgeführt, unter Annahme, dass das nichtlineare Filter **115** nicht vorhanden ist, und unter der Annahme, dass alle möglichen Nichtlinearitäts- und Dispersions-Beiträge in dem Sendesystem **1** Null sind. Diese Bedingungen wurden durch Ersetzen der Abschnitte der Faser **105** ge-

gen Dämpfungsglieder, geeignet zum Erreichen derselben Signaldämpfung, wie sie durch die Abschnitte der Faser **105** erreicht werden, erhalten. Unter diesen Zuständen wurde ein Referenzwert für Q (Q_{REF}) von 22,8 dB erhalten. Der Wert von Q_{REF} wird als der Term zum Vergleich einer Abschätzung der Ergebnisse der darauf folgenden Simulationen verwendet.

[0126] In einer zweiten Simulation (die Ergebnisse davon sind nicht grafisch dargestellt) wurden die Effekte einer Nichtlinearität und einer Dispersion, erzeugt entlang der Leitung, betrachtet, und eine Evaluierung wurde vorgenommen, wie der Q -Faktor mit der Variation des Verhältnisses einer Kompensation RC der Dispersions-Kompensatoren **110**, gegen das Nichtvorhandensein des nichtlinearen Filters **115**, variiert. Insbesondere wurden vier unterschiedliche Werte von RC betrachtet, und präziser 87%, 91%, 95% und 99%. Die Ergebnisse, die erhalten wurden, sind in Tabelle 1 nachfolgend dargestellt:

RC (%)	Q (dB)
87	20,26
91	21,45
95	21,48
99	20,76

TABELLE 1

[0127] Wie die Ergebnisse der Tabelle 1 zeigen, ist, in der zweiten Simulation, näher als die erste Simulation zu der Situation einer realen Übertragung, der Wert Q des empfangenen Signals, entsprechend zu dem Wert Q_0 , diskutiert vorstehend, niedriger als der Wert von Q_{REF} . Dies verschlechtert die Funktionsweise aufgrund sowohl eines „Schließens“ des Augen-Diagramms, verursacht durch die Effekte einer Signalverzerrung, als auch nichtlinearer Wechselwirkungen zwischen dem Rauschen und dem Signal entlang der Leitung (was Anlass zu einer anormalen Dispersions-Modulations-Instabilität gibt).

[0128] Eine dritte Simulation wurde durchgeführt, um die Möglichkeit einer Verbesserung der Signalqualität abzuschätzen, durch Einführen, in das System **101**, ohne das nichtlineare Filter **115**, eines linearen, dispersiven Elements (nicht dargestellt), platziert unmittelbar eingangsseitig des Empfängers **114**. Insbesondere wurde das Vorhandensein, eingangsseitig des Empfängers **114**, eines Abschnitts einer optischen Faser, 10 km lang, die vernachlässigbare Nichtlinearitäten besaß, betrachtet. Dieser Abschnitt der Faser stellt einen Dispersions-Kompensator eines Typs dar, der üblicherweise in optischen Übertragungssystemen verwendet wird.

[0129] Unter Variation der Dispersion dieses Abschnitts der Faser variiert der Q -Faktor, wie in [Fig. 5](#) dargestellt ist, in der die Abhängigkeit für die vier Werte von RC, die bereits vorstehend betrachtet sind, dargestellt ist. Dargestellt in TABELLE 2 nachfolgend ist, für jeden Wert von RC, der maximale Wert, gemessen für Q , entsprechend zu dem Wert Q_1 , diskutiert vorstehend.

RC (%)	Q (dB)
87	21,63
91	21,97
95	22,02
99	22,04

TABELLE 2

[0130] Die Ergebnisse in Tabelle 2 zeigen, wie die Hinzufügung einer linearen Dispersions-Komponenten an dem Ende der Übertragungsleitung eine Verbesserung der Qualität des empfangenen Signals ermöglicht. Allerdings sind die Werte, erhalten für Q , noch unterhalb solcher von Q_{REF} .

[0131] Die Simulationen, die nachfolgend angegeben sind, sind relativ zu der Einführung von verschiedenen

Konfigurationen eines nichtlinearen Filters **115**, und die Werte von Q , die gefunden wurden, definieren den Wert Q_2 , der vorstehend diskutiert ist.

[0132] Insbesondere wurde eine vierte Simulation durchgeführt, um die Effekte in Bezug auf den Q -Faktor der Einführung in das System **101** eines nichtlinearen Filters **115** des Typs, der in einer der zwei [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) dargestellt ist, allerdings ohne die Komponente **19** mit anormaler Dispersion, abzuschätzen, das bedeutet ein nichtlineares Filter, das nur das Filter **20**, den Verstärker **21** und eine nichtlineare Komponente **18** mit normaler Dispersion aufwies. In der Praxis wurde das Vorhandensein, eingangsseitig des Empfängers **114**, eines nichtlinearen Filters **115**, aufweisend einen Abschnitt einer Faser von 10 km Länge (angenommen ohne Verluste) betrachtet, wobei der Nichtlinearitätskoeffizient γ davon als festgelegt und gleich zu $80 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$ angesehen wurde, und wobei der Dispersionskoeffizient $\beta_{2,\text{NORM}}$ davon so eingerichtet wurde, um zu variieren, um seinen Einfluss auf den Q -Faktor zu bestimmen. Dargestellt in [Fig. 6](#) ist, für jeden der RC-Werte, die betrachtet sind, die Abhängigkeit von Q in Bezug auf den Dispersionskoeffizienten $\beta_{2,\text{NORM}}$, wogegen die maximalen Werte von Q , erfasst für jede der vier Kurven der [Fig. 6](#), in Tabelle 3 nachfolgend aufgelistet sind, zusammen mit den Werten des Dispersionskoeffizienten $\beta_{2,\text{NORM}}$ entsprechend wie diese maximalen Werte von Q erfasst wurden.

RC (%)	$\gamma \text{ (W}^{-1} \text{ km}^{-1}\text{)}$	$\beta_{2,\text{NORM}} \text{ (ps}^2 \text{ km}^{-1}\text{)}$	$Q \text{ (dB)}$
87	80	3,75	25,19
91	80	3,75	25,03
95	80	3,75	24,77
99	80	1,25	21,43

TABELLE 3

[0133] Wie anhand der Tabelle 3 zu beobachten ist, ist eine Verbesserung der Signalqualität in Bezug auf die Referenzmessung für alle RC-Werte, die betrachtet sind, vorhanden, mit Ausnahme für $\text{RC} = 99\%$. Dies basiert auf der Tatsache, dass, in diesem Fall, das Signal auf der Leitung unter Zuständen einer Überkompensation propagiert wird, wobei RC praktisch gleich zu 100% wird (in dem Fall der Faser mit anormaler Dispersion muss RC vorzugsweise unterhalb von 100% liegen), und erreicht deshalb das Ende der Leitung mit einer extrem ausgeprägten Verzerrung. Als Folge der weiteren Verzerrung, eingeführt durch das nichtlineare Filter **115**, ist die Verbesserung geringer als in den anderen Fällen.

[0134] In einer fünften Simulation wurde der Effekt in Bezug auf das Signal beim Vorhandensein eines nichtlinearen Filters **115** eines der Typen, dargestellt in den [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#), d.h. eines nichtlinearen Filters, das, zusätzlich zu der nichtlinearen Komponenten **18**, mit normaler Dispersion, diskutiert vorstehend, auch die Komponente **19** mit anormaler Dispersion aufwies, abgeschätzt. Der Nichtlinearitätskoeffizient der Komponenten mit normaler Dispersion wurde festgelegt beibehalten und war gleich zu $\gamma = 80 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$, wogegen die Dispersionskoeffizienten $\beta_{2,\text{NORM}}$ und $\beta_{2,\text{ANOM}}$ der Komponenten mit normaler Dispersion und der Komponenten mit der anormalen Dispersion so eingerichtet wurden, um zu variieren, um die Abhängigkeit von Q auf diese Parameter abzuschätzen. In der Praxis wurde, in einem ersten Satz von Messungen (die Ergebnisse davon sind nicht grafisch dargestellt), nur der Wert von $\beta_{2,\text{ANOM}}$ so eingerichtet, um zu variieren, und er wurde verifiziert, so dass, für jeden der RC-Werte, die betrachtet wurden, der Q -Faktor entsprechend einem unterschiedlichen, optimalen Wert von $\beta_{2,\text{ANOM}}$ optimiert wurde. Dies zeigt, dass die optimale Auswahl der Komponenten **19** für eine anormale Dispersion für die Zwecke eines Verringerns der Effekte einer Signalverzerrung den Wert von RC berücksichtigen muß.

[0135] Die Abhängigkeit Q von $\beta_{2,\text{NORM}}$ wurde dann in einem zweiten Satz von Messungen festgestellt, in dem, für jeden der RC-Werte, der Wert von $\beta_{2,\text{ANOM}}$ gleich zu dem jeweiligen, optimalen Wert, der zuvor gefunden wurde, gehalten wurde. Die Abhängigkeit von Q von $\beta_{2,\text{NORM}}$ ist in [Fig. 7](#) dargestellt. In Tabelle 4 sind die maximalen Werte von Q , erfasst für jede der vier Kurven der [Fig. 7](#), zusammen mit den Werten der Dispersionskoeffizienten $\beta_{2,\text{ANOM}}$ und $\beta_{2,\text{NORM}}$ entsprechend zu jedem der vorstehenden Werte Q , die erfasst wurden, dargestellt. Wie gesehen werden kann, ist der Wert von $\beta_{2,\text{NORM}}$, der den Q -Faktor optimiert, derselbe in allen Fällen.

RC (%)	γ ($W^{-1} km^{-1}$)	$\beta_{2,ANOM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	$\beta_{2,NORM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	Q (dB)
87	80	0	3,75	25,19
91	80	-20	3,75	26,04
95	80	-50	3,75	26,15
99	80	-30	3,75	25,14

TABELLE 4

[0136] Die Ergebnisse von Tabelle 4 zeigen eine wesentliche Verbesserung in der Qualität des empfangenen Signals in Bezug auf die Referenzmessung für alle RC-Werte, die betrachtet wurden. Diese Ergebnisse zeigen deshalb, dass die Hinzufügung eingangsseitig des Empfängers **114** eines Filters **115**, sowohl eine Komponente mit nichtlinearer, normaler Dispersion als auch eine Komponente mit anormaler Dispersion aufweisend, ermöglicht, dass wesentliche Verbesserungen in Bezug auf die Signalqualität erhalten werden.

[0137] Wie beobachtet wird, wird in diesem Fall die Verbesserung auch in dem Fall erhalten, bei dem RC = 99% gilt. Gemäß dem Anmelder basiert dies aufgrund der Tatsache, dass, mit der Einführung einer Komponente **19** mit anormaler Dispersion, eine Verringerung der Verzerrung (erneuten Einstellung) des Impulses vorhanden ist, bevor er in die nichtlineare Komponente **18** mit normaler Dispersion eintritt, wobei als Folge davon die Verzerrung, eingeführt durch das nichtlineare Filter **115**, minimiert wird.

[0138] Eine sechste und eine siebte Simulation wurden durchgeführt, um zu verifizieren, ob es möglich ist, einen einzelnen Wert von $\beta_{2,ANOM}$ zu finden, der ermöglicht, dass eine hohe Qualität des empfangenen Signals für alle RC-Werte, die betrachtet werden, erreicht wird. In beiden dieser Simulationen wurde γ konstant und gleich zu $80 W^{-1} km^{-1}$ gehalten.

[0139] In der sechsten Simulation wurde $\beta_{2,ANOM}$ konstant bei $-10 ps^2 km^{-1}$ gehalten. Die Abhängigkeit von Q von $\beta_{2,NORM}$ ist in [Fig. 8](#) gezeigt. Wie in [Fig. 8](#) gesehen werden kann, nehmen die Kurven die relativen, maximalen Werte für einen Wert von $\beta_{2,NORM}$ zwischen 2,5 und $4 ps^2 km^{-1}$ an. Um die Gegenstände zu Zwecken eines Vergleichs zu vereinfachen, wurden die Werte von Q alle für einen selben Wert von $\beta_{2,NORM}$ von $3,75 ps^2 km^{-1}$ gemessen. Diese Werte von Q, unter Berücksichtigung der Form der relativen Kurven, unterscheiden sich nur leicht von den maximalen Werten, die in [Fig. 8](#) beobachtbar sind. Dargestellt in [Fig. 5](#) sind andererseits die Werte, erfasst für Q, und die Werte für die anderen Parameter entsprechend dazu, womit diese Werte von Q erfasst wurden.

RC (%)	γ ($W^{-1} km^{-1}$)	$\beta_{2,ANOM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	$\beta_{2,NORM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	Q (dB)
87	80	-10	3,75	25,17
91	80	-10	3,75	25,71
95	80	-10	3,75	25,21
99	80	-10	3,75	22,38

TABELLE 5

[0140] Wie die Ergebnisse zeigen, ermöglicht der Wert von $\beta_{2,NORM}$, der ausgewählt ist, dass hohe Q-Werte für RC von 87%, 91%, 95%, allerdings nicht für das RC von 99%, erhalten werden können.

[0141] In der siebten Simulation wurde $\beta_{2,ANOM}$ konstant bei $-30 ps^2 km^{-1}$ gehalten. Wie [Fig. 8](#) zeigt, nehmen die Kurven die relativen, maximalen Werte für einen Wert von $\beta_{2,NORM}$ zwischen 2,5 und $4 ps^2 km^{-1}$ an. Die Abhängigkeit von Q von $\beta_{2,NORM}$ ist in [Fig. 9](#) gezeigt. Um die Punkte zu Zwecken eines Vergleichs zu vereinfachen, wurden die Werte von Q alle für denselben Wert von $\beta_{2,NORM}$ gemessen, d.h. für ein $\beta_{2,NORM}$ von $2,5 ps^2 km^{-1}$. Diese Werte von Q, unter Berücksichtigung der Form der relativen Kurven, unterscheiden sich nur leicht von den maximalen Werten, die in [Fig. 9](#) beobachtbar sind. Die Werte, erfasst für Q, sind in Tabelle 6 nachfolgend, zusammen mit den Werten der anderen Parameter, dargestellt.

RC (%)	γ ($W^{-1} km^{-1}$)	$\beta_{2,ANOM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	$\beta_{2,NORM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	Q (dB)
87	80	-30	2,5	23,49
91	80	-30	2,5	25,44
95	80	-30	2,5	25,49
99	80	-30	2,5	25,00

TABELLE 6

[0142] Die Ergebnisse zeigen, dass der Wert von $\beta_{2,ANOM}$, der ausgewählt ist, ermöglicht, dass hohe Q-Werte für RC von 91%, 95% und 99% erreichbar sind, und dass eine Verbesserung, obwohl kleiner, für das RC von 87% erreichbar ist.

[0143] Die Ergebnisse der fünften, sechsten und siebten Simulation demonstrieren, dass es, durch geeignetes Auswählen der Werte von γ , $\beta_{2,NORM}$ und $\beta_{2,ANOM}$, möglich ist, den Wert von Q um ungefähr 3 dB in Bezug auf den optimierten Fall (Nichtvorhandensein von nichtlinearen und dispersiven Effekten entlang der Leitung) und um ungefähr 4 dB in Bezug auf den nicht optimierten Fall (Vorhandensein von nichtlinearen und dispersiven Effekten entlang der Leitung) zu erhöhen.

[0144] Die Werte von γ , verwendet in den vorstehenden Simulationen, sind relativ hoch im Vergleich zu den momentanen Prozessen für die Herstellung von optischen Fasern. Mit einer achten Simulation und einer neunten Simulation hat der Anmelder die Effekte eines niedrigeren Werts von γ , der leichter in der tatsächlichen Praxis erhaltbar ist, bestimmt. Insbesondere wurde, in beiden dieser Simulationen, γ gleich zu $20 W^{-1} km^{-1}$ eingestellt, was einen realistischen Wert für eine derzeit ausgelegte, optische Faser darstellt. Die durchschnittliche Signalleistung wurde bei einem Wert von 10 mW, wie in den früheren Fällen, beibehalten.

[0145] In der achten Simulation wurde $\beta_{2,ANOM}$ gleich zu $-10 ps^2 km^{-1}$ eingestellt. Die Abhängigkeit von Q von $\beta_{2,NORM}$ für die verschiedenen RC-Werte, die betrachtet wurden, ist in [Fig. 10](#) dargestellt.

[0146] In [Fig. 10](#) nehmen die Kurven die relativen, maximalen Werte für einen Wert von $\beta_{2,NORM}$ zwischen 7 und $15 ps^2 km^{-1}$ an. Um diese Punkte für die Zwecke eines Vergleichs zu vereinfachen, wurden die Werte von Q alle für denselben Wert von $\beta_{2,NORM}$ gemessen, d.h. für ein $\beta_{2,NORM}$ von $10 ps^2 km^{-1}$. Diese Werte von Q, unter Berücksichtigung der Form der relativen Kurven, unterscheiden sich nur leicht von den maximalen Werten, die in [Fig. 10](#) beobachtbar sind. Dargestellt in Tabelle 7 sind die Werte, erfasst für Q, und die Werte der anderen Parameter, entsprechend zu denen diese Werte erfasst wurden.

RC (%)	γ ($W^{-1} km^{-1}$)	$\beta_{2,ANOM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	$\beta_{2,NORM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	Q (dB)
87	20	-10	10	24,93
91	20	-10	10	25,60
95	20	-10	10	24,84
99	20	-10	10	22,07

TABELLE 7

[0147] In der neunten Simulation wurde $\beta_{2,ANOM}$ gleich zu $-30 ps^2 km^{-1}$ gesetzt. Die Abhängigkeit von Q auf $\beta_{2,NORM}$ für verschiedene RC-Werte, die betrachtet wurden, ist in [Fig. 11](#) dargestellt.

[0148] Wie in [Fig. 10](#) zu sehen ist, nehmen die Kurven die relativen, maximalen Werte für einen Wert von $\beta_{2,NORM}$ zwischen 10 und $18 ps^2 km^{-1}$ an. Um die Gegenstände zu Zwecken eines Vergleichs zu vereinfachen, wurden die Werte von Q alle für denselben Wert von $\beta_{2,NORM}$ gemessen, d.h. für ein $\beta_{2,NORM}$ von $12,5 ps^2 km^{-1}$. Diese Werte von Q, unter Berücksichtigung der Form der relativen Kurven, unterscheiden sich nur leicht von den maximalen Werten, die in [Fig. 11](#) beobachtbar sind. Dargestellt in Tabelle 8 sind die Werte, erfasst für Q, und die Werte der anderen Parameter, entsprechend zu denen diese Werte erfasst wurden.

RC (%)	γ ($W^{-1} km^{-1}$)	$\beta_{2,ANOM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	$\beta_{2,NORM}$ ($ps^2 km^{-1}$)	Q (dB)
87	20	-30	12,5	23,76
91	20	-30	12,5	25,48
95	20	-30	12,5	25,10
99	20	-30	12,5	25,04

TABELLE 8

[0149] Wie die Ergebnisse, dargestellt in Tabelle 7 und Tabelle 8, zeigen, sind die Werte, erhalten für Q, noch im Durchschnitt ein paar dB größer als der Referenzwert Q_{REF} . [Fig. 12](#) stellt die Ergebnisse von anderen Simulationen dar, die vorgenommen wurden, um die Abhängigkeit des BER des Signals, empfangen in dem System **101**, von der Dispersion in dem nichtlinearen Filter **115** abzuschätzen, in dem Fall, in dem das nichtlineare Filter **115** nur die nichtlineare Komponente **18** mit normaler Dispersion aufweist. Die Messungen wurden entsprechend zu zwei unterschiedlichen Werten des Nichtlinearitätskoeffizienten γ vorgenommen, d.h. $10 W^{-1} km^{-1}$ und $20 W^{-1} km^{-1}$. Signale, die Gauss'sche Impulse aufweisen (mit ungefähren solitonischen Impulsen), die eine temporäre Amplitude (FWHM) von 30 ps haben und mit einer Bit-Rate von 10 Gbit/s übertragen werden, wurden betrachtet. Eine Bandbreite von 8 GHz wurde für das elektronische Filter, angeordnet ausgangsseitig des Empfängers **114**, ausgewählt. In [Fig. 12](#) gibt, auf der Ordinatenachse, 50 eine Abschätzung für den BER-Wert in dem Fall des Nichtvorhandenseins des nichtlinearen Filters **115** ($disp = 0$) an. Die Kurven der [Fig. 12](#) zeigen, dass, obwohl der Effekt des Filters besser mit $\gamma = 20 W^{-1} km^{-1}$ nur unterhalb eines Dispersions-Schwellwerts ist (in dem Bereich von $170 ps^2$), dieser Wert von γ ermöglicht, dass niedrigere BER-Werte erhaltbar sind, und zwar mit ausgewählten Werten von $\beta_{2,NORM}$ und einer Länge L der Faser des Filters, als solche in dem Fall, in denen $\gamma = 10 W^{-1} km^{-1}$ gilt.

[0150] Die Messungen wurden mit einer Bit-Rate von 40 Gbit/s und mit Impulsen einer Dauer (FWHM) von 7,5 ps wiederholt. Eine Bandbreite von 32 GHz wurde für das elektronische Filter ausgewählt. Die Ergebnisse dieser weiteren Messungen, dargestellt in [Fig. 13](#), stimmen im Wesentlichen mit den Ergebnissen der [Fig. 12](#) überein.

[0151] Es ist deutlich, dass Änderungen und Variationen in Bezug auf das Verfahren und das System, die beschrieben und hier dargestellt sind, vorgenommen werden können, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

[0152] Zum Beispiel kann eine Komponente **19** mit anormaler Dispersion des nichtlinearen Filters **15**, anstelle einer optischen Faser, ein Chirp-Bragg-Gitter mit einer anormalen Dispersion oder eine andere, bekannte Komponente, geeignet zum Erzeugen desselben Effekts einer anormalen Dispersion, wie, zum Beispiel, ein Paar von Frei-Raum-Diffraktionsgittern, sein. Ähnlich kann die Komponente **18'b** mit normaler Dispersion des nichtlinearen Filters **15'**, anstelle einer optischen Faser mit normaler Dispersion, ein Chirp-Bragg-Gitter mit normaler Dispersion oder eine andere, bekannte Komponente, geeignet zum Erzeugen desselben Effekts einer normalen Dispersion, wie, zum Beispiel, ein Paar von Frei-Raum-Diffraktionsgittern, sein. Schließlich könnte die nichtlineare Komponente **18'b** des nichtlinearen Filters **15'**, anstelle einer nichtlinearen, optischen Faser, eine Halbleiterkomponente oder eine andere, bekannte Komponente, geeignet zum Erzeugen desselben Effekts einer Nichtlinearität, sein.

[0153] Weiterhin ist es möglich, ein System herzustellen, in dem nur einigen der Empfänger ein jeweiliges, nichtlineares Filter **15** vorausgeht und/oder in dem ein oder mehrere der Filter unterschiedliche Charakteristika zueinander haben. In dem letzteren Fall kann jedes Filter jeweiligen Werten von $\beta_{2,NORM}$, γ , und, wo anwendbar, $\beta_{2,ANOM}$, ausgewählt in einer solchen Art und Weise, um eine Verbesserung des Q-Werts, zugeordnet zu dem jeweiligen Signal, zu erhalten, zugeordnet werden.

[0154] Die Technik einer Rauschverringern, beschrieben in dieser Erfindung, ebenso wie die bestimmten Effekte beim Verringern der Effekte des Empfängers des ASE-Rauschens, erzeugt durch die optischen Verstärker, die das optische Signal verstärken, ist beim Verringern der Effekte in Bezug auf den Empfänger von irgendeinem Beitrag eines Rauschens des Systems **1** effektiv, was in statistischen Termen und als eine komplexe Größe, verglichen mit einer Komponenten in Phase mit dem Signal selbst, beschrieben werden kann.

[0155] Auch kann die Technik zum Verringern des Rauschens, wie sie beschrieben und dargestellt ist, in irgendeinem optischen Telekommunikationssystem, monodirektional oder bidirektional, des Typs, der einen Sender (5), eine optische Verbindung (6–9, 12, 13), geeignet zum Erzeugen eines optischen Rauschens des vorstehenden Typs, und einen Empfänger (14) aufweist, ausgeführt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verringern des Rauschens in einem optischen Telekommunikationssystem für große Entfernungen, das aufweist:

Senden eines optischen Signals über eine Telekommunikationsleitung mit optischer Faser (6–9, 12, 13), die optische Verstärker (9) aufweist und eine im Wesentlichen kompensierte Dispersion besitzt;

Empfangen von der Leitung eines mit Rauschen behafteten, optischen Signals, das das gesendete, optische Signal und ein optisches Rauschensignal aufweist;

Erzeugen eines elektronischen Signals, das zu dem mit Rauschen behafteten, optischen Signal korreliert ist, wobei das elektronische Signal einem Qualitätsparameter Q zugeordnet ist, der von dem optischen Rauschensignal unter Verzerrung des optischen Signals abhängt; und

Anwenden, auf das optische Signal, einer nichtlinearen Phasenverschiebung $e^{i\varphi}$, zugeordnet zu einer Variation der Phase φ größer als 0,5 Radiant und einer normalen Dispersion $\beta_{2,NORM} \cdot L$, wobei $\beta_{2,NORM}$ der Koeffizient einer normalen Dispersion ist und L die Faserlänge ist, wobei die nichtlineare Phasenverschiebung und die normale Dispersion betriebsmäßig so ausgewählt werden, um den Qualitätsparameter um mindestens 1 dB zu erhöhen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die normale Dispersion geringer als 500 ps² ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die normale Dispersion geringer als 200 ps² ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die normale Dispersion geringer als 100 ps² ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die kompensierte Dispersion der Telekommunikationsleitung (6–9, 12, 13) entsprechend einem Kompensationsverhältnis zwischen 80% und 120% kompensiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die kompensierte Dispersion der Telekommunikationsleitung (6–9, 12, 13) entsprechend einem Kompensationsverhältnis zwischen 85% und 115% kompensiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die kompensierte Dispersion der Telekommunikationsleitung (6–9, 12, 13) entsprechend einem Kompensationsverhältnis zwischen 90% und 110% kompensiert wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das optische Signal in dem Schritt eines Sendens codierte Informationen trägt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–7, wobei das optische Signal in dem Schritt eines Sendens ein digitales, optisches Signal vom RZ-Typ, das codierte Informationen trägt, ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt eines Anwendens ein Anwenden der nichtlinearen Phasenverschiebung, im Gegensatz zu der normalen Dispersion, aufweist.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das weiterhin ein Anwenden einer anormalen Dispersion auf das optische Signal und das Rauschen aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die anormale Dispersion in dem Schritt eines Anwendens der anormalen Dispersion einen Wert zwischen –1000 ps² und 0 ps² besitzt.

13. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die anormale Dispersion in dem Schritt eines Anwendens der anormalen Dispersion einen Wert zwischen –500 ps² und 0 ps² besitzt.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das weiterhin ein Verstärken des optischen Signals auf einen vorab eingerichteten Leistungspegel aufweist.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das weiterhin aufweist: Wellenlängenfilterung

des optischen Signals.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das weiterhin aufweist:
Senden einer Vielzahl von optischen Signalen bei einer unterschiedlichen Wellenlänge; und Empfangen der Vielzahl der optischen Signale.

17. Verfahren nach Anspruch 16, das weiterhin aufweist:
Separieren der optischen Signale entlang bestimmter, optischer Wege; und
Anwenden, entlang einem der optischen Wege, der nichtlinearen Phasenverschiebung und der normalen Dispersion.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei der Schritt eines Anwendens entlang jedes der optischen Wege erfolgt.

19. Optisches Telekommunikationssystem, das aufweist:
einen Sender (**5**), aufgebaut so, um ein optisches Signal zu erzeugen;
eine optische Verbindung (**6–9, 12, 13**), die einen optischen Verstärker aufweist, aufgebaut so, um das optische Signal in einer vorab eingerichteten Propagationsrichtung mit einer im Wesentlichen kompensierten Dispersion, um ein zugeordnetes, optisches Rauschen zu haben, zu senden; und
einen Empfänger (**14**), aufgebaut so, um ein mit Rauschen behaftetes, optisches Signal, umfassend das gesendete optische Signal und ein optisches Rauschsignal, zu empfangen, wobei der Empfänger aufweist:
eine Fotoerfassungsvorrichtung, aufgebaut so, um ein elektronisches Signal, korreliert zu dem mit Rauschen behafteten, optischen Signal, zu erzeugen, wobei das elektronische Signal einem Qualitätsparameter Q zugeordnet ist, der von dem optischen Rauschsignal und der Verzerrung des optischen Signals in der optischen Verbindung abhängt,
wobei die optische Verbindung weiterhin eine dispersive und nichtlineare Filtervorrichtung (**15**) aufweist, die eine nichtlineare Komponente (**18**) mit normaler Dispersion aufweist, wobei die Filtervorrichtung entlang der optischen Verbindung platziert ist und einen Parameter $\beta_{2,NORM} \cdot L$ einer zugeordneten, normalen Dispersion besitzt, wobei $\beta_{2,NORM}$ der Koeffizient einer normalen Dispersion ist und L die Länge der Komponente ist, und einen Nichtlinearitätsparameter γ besitzt, der betriebsmäßig so ausgewählt ist, um den Qualitätsparameter um mindestens 1 dB zu erhöhen.

20. System nach Anspruch 19, wobei das optische Signal ein digitales Signal vom RZ-Typ ist.

21. System nach Anspruch 19 oder Anspruch 20, wobei die nichtlineare Komponente mit normaler Dispersion aufweist:
ein erstes, nichtlineares Element (**18'a**); und
ein zweites Element (**18'b**) mit normaler Dispersion, wobei das erste Element eingangsseitig des zweiten Elements entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist.

22. System nach einem der Ansprüche 19 bis 21, wobei die Filtervorrichtung aufweist:
eine Komponente (**19**) mit anormaler Dispersion, verbunden in einer Kaskadenform mit der nichtlinearen Komponenten mit normaler Dispersion und angeordnet ausgangseitig der nichtlinearen Komponenten mit normaler Dispersion entlang der Propagationsrichtung.

23. System nach einem der Ansprüche 19 bis 22, wobei die Filtervorrichtung aufweist:
einen ersten optischen Verstärker (**21**), aufgebaut so, um das optische Signal auf einen vorab eingerichteten Leistungspegel zu verstärken, wobei der erste optische Verstärker eingangsseitig der nichtlinearen Komponenten mit normaler Dispersion entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist.

24. System nach einem der Ansprüche 19 bis 23, wobei die Filtervorrichtung ein optisches Bandpassfilter (**20**) aufweist.

25. System nach einem der Ansprüche 19 bis 24, wobei die optische Verbindung einen anderen optischen Verstärker (**7, 9, 12**), angeordnet ausgangseitig der Filtervorrichtung (**15**) entlang der Propagationsrichtung, und geeignet zum Verstärken des optischen Signals, aufweist.

26. System nach Anspruch 19, das weiterhin aufweist:
eine Vielzahl von Sendern (**5**), aufgebaut so, um eine Vielzahl von optischen Signalen bei unterschiedlichen Wellenlängen zu senden; und

eine Vielzahl von Empfängern (**14**), aufgebaut so, um die optischen Signale zu empfangen.

27. System nach Anspruch 26, das weiterhin aufweist:
eine Multiplexiervorrichtung (**6**) für das optische Signal, angeordnet eingangsseitig der optischen Übertragungsleitung entlang der Propagationsrichtung; und
eine Demultiplexiervorrichtung (**13**) für das optische Signal, angeordnet ausgangsseitig der optischen Übertragungsleitung entlang der Propagationsrichtung,
wobei die Filtervorrichtung (**15**) ausgangsseitig der Demultiplexiervorrichtung entlang der Propagationsrichtung angeordnet ist.

28. System nach einem der Ansprüche 19 bis 27, wobei die optische Verbindung einen Kompensator (**10**) für eine chromatische Dispersion aufweist.

29. System nach einem der Ansprüche 19 bis 21, wobei die nichtlineare Komponente (**18**) mit normaler Dispersion durch eine optische Faser gebildet ist.

30. System nach Anspruch 21, wobei das nichtlineare Element eine optische Faser ist.

31. System nach Anspruch 21, wobei das erste, nichtlineare Element eine Halbleitervorrichtung ist.

32. System nach Anspruch 21, wobei das zweite Element mit normaler Dispersion eine optische Faser ist.

33. System nach Anspruch 21, wobei das zweite Element mit normaler Dispersion ein Bragg-Gitter ist.

34. System nach Anspruch 22, wobei die Komponente (**19**) mit anormaler Dispersion eine optische Faser ist.

35. System nach Anspruch 22, wobei die Komponente (**19**) mit anormaler Dispersion ein Bragg-Gitter aufweist.

36. Vorrichtung zum Verringern eines Rauschens in einem optischen Telekommunikationssystem mit kompensierter Dispersion, wobei die Vorrichtung aufweist:
einen Empfänger (**14**), aufgebaut so, um ein mit Rauschen behaftetes, optisches Signal von einer optischen Verbindung (**6–9, 12, 13**) mit kompensierter Dispersion zu empfangen, wobei das mit Rauschen behaftete, optische Signal ein optisches Signal und ein optisches Rauschsignal umfasst, wobei der Empfänger aufweist:
einen Fotodetektor, aufgebaut so, um ein elektronisches Signal, korreliert zu dem mit Rauschen behafteten, optischen Signal, zu erzeugen, wobei das elektronische Signal einem Qualitätsparameter Q zugeordnet ist, der von einem Niveau einer Verzerrung, zugeordnet zu dem mit Rauschen behafteten, optischen Signal in der optischen Verbindung, abhängt;
einen optischen Eingang (**16**), aufgebaut so, um optisch mit der optischen Verbindung verbunden zu werden;
und
einen optischen Ausgang (**17**), aufgebaut so, um optisch mit dem Empfänger verbunden zu werden;
wobei der optische Ausgang eine nichtlineare Komponente mit Charakteristika (**18**) einer normalen Dispersion aufweist, wobei die nichtlineare Komponente einen Parameter $\beta_{2,NORM} \cdot L$ mit normaler Dispersion besitzt, wobei $\beta_{2,NORM}$ der Koeffizient einer normalen Dispersion ist und L die Länge der Komponente ist, und einen Nichtlinearitätsparameter γ besitzt, betriebsmäßig so ausgewählt, um den Qualitätsparameter um mindestens 1 dB zu erhöhen.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

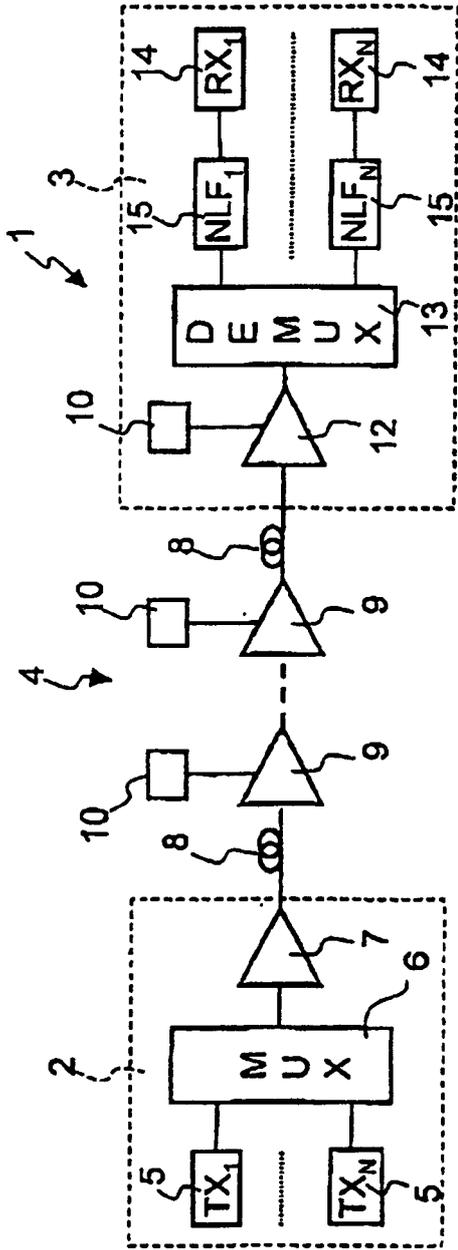


Fig. 1

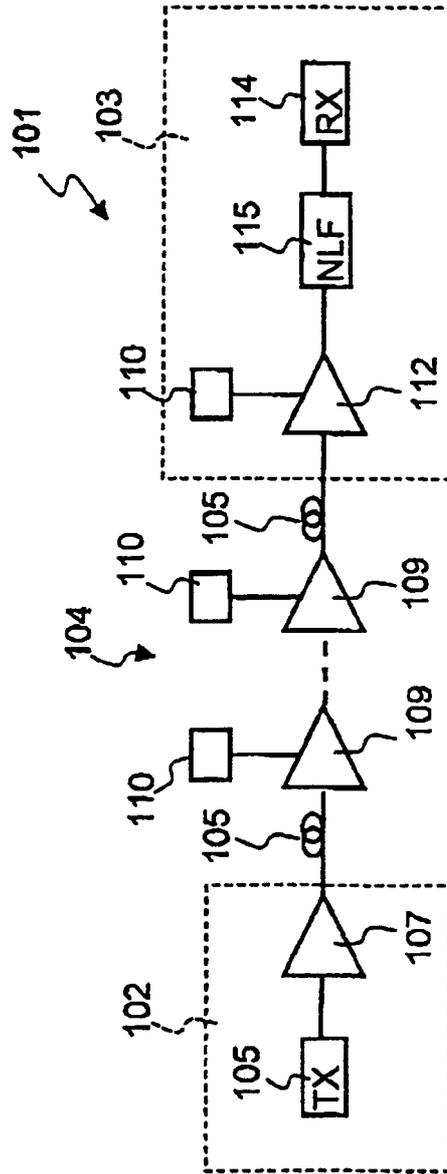


Fig. 3

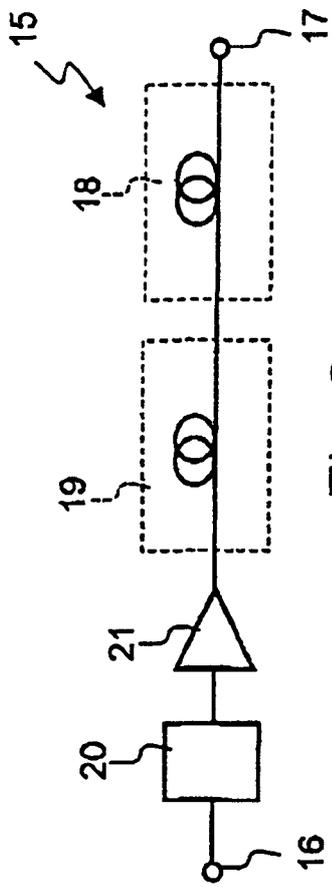


Fig. 2a

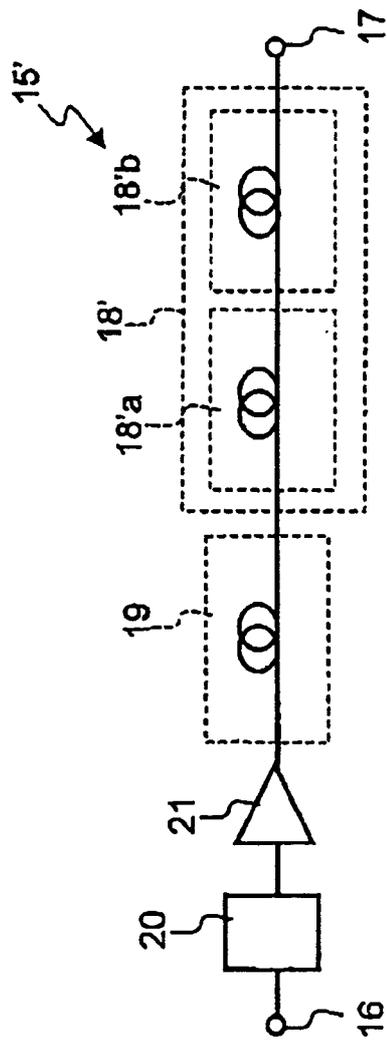


Fig. 2b

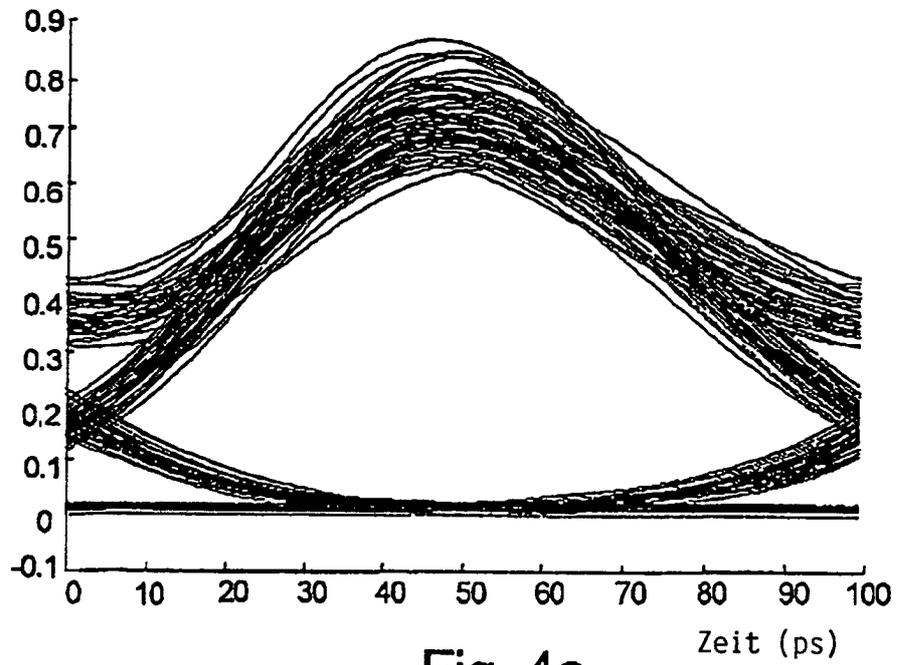


Fig. 4a

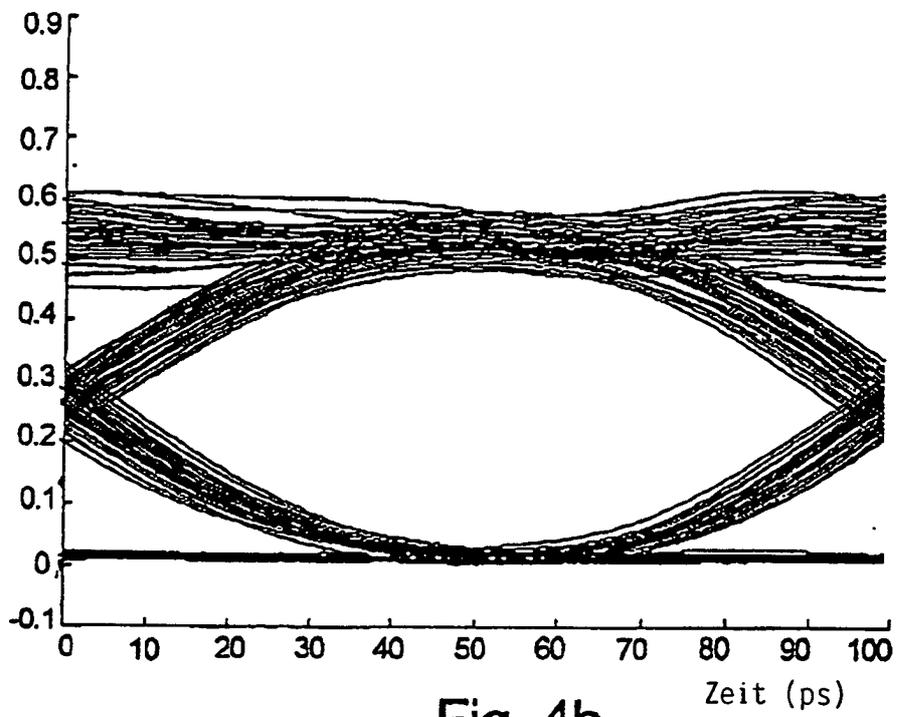


Fig. 4b

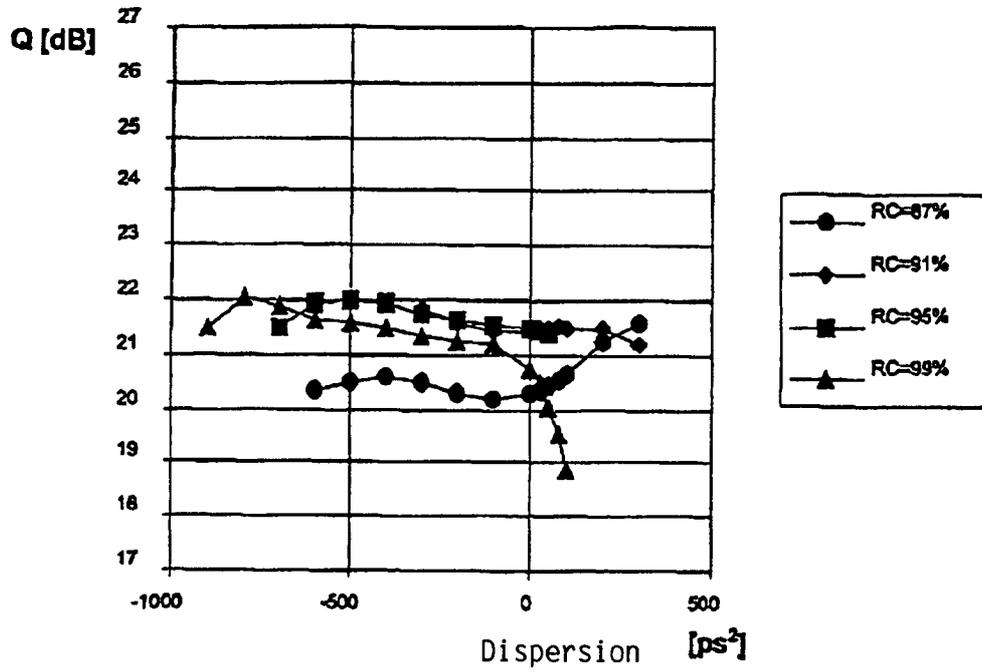


Fig. 5

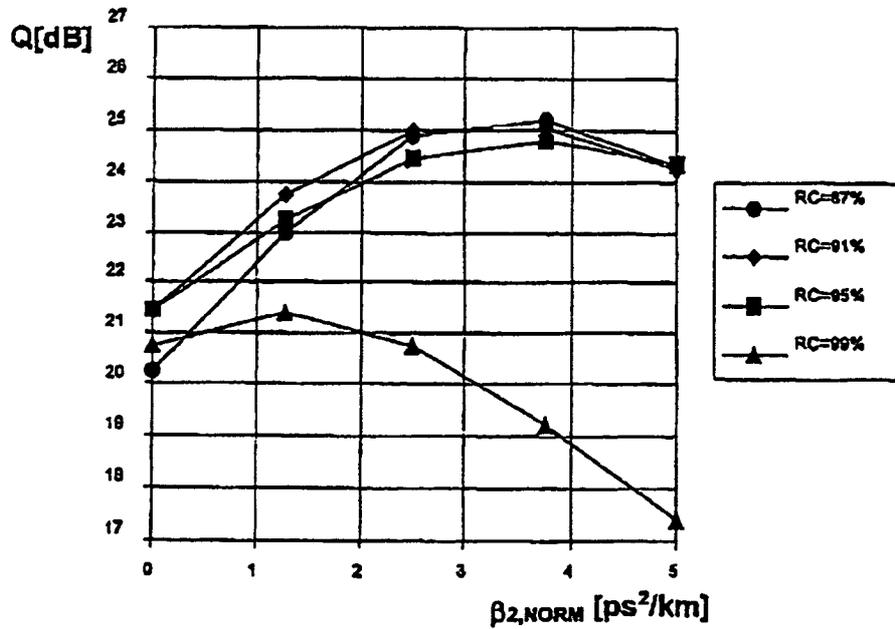


Fig. 6

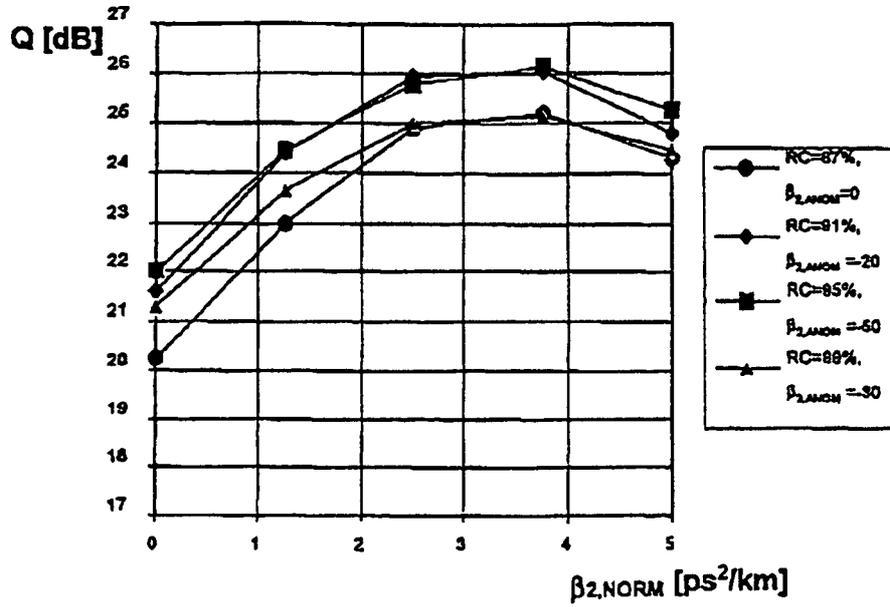


Fig. 7

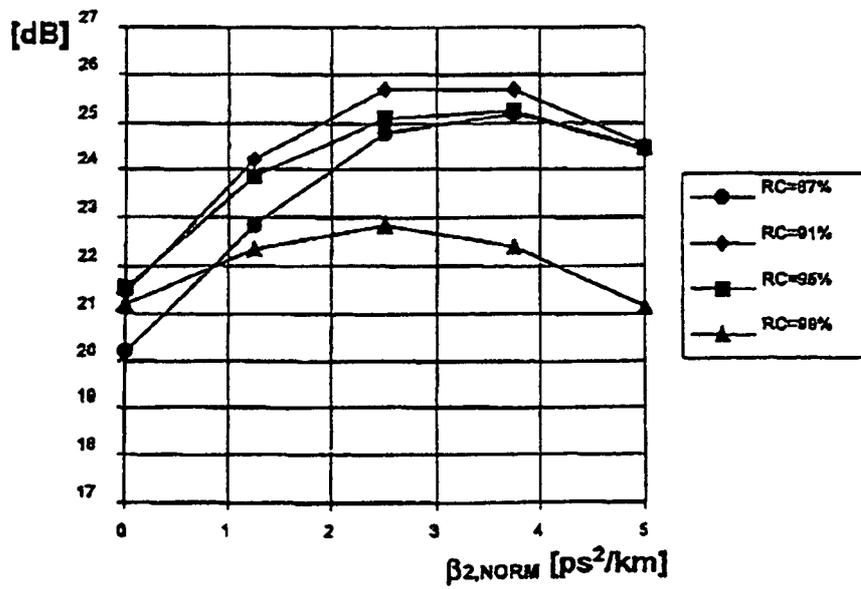


Fig. 8

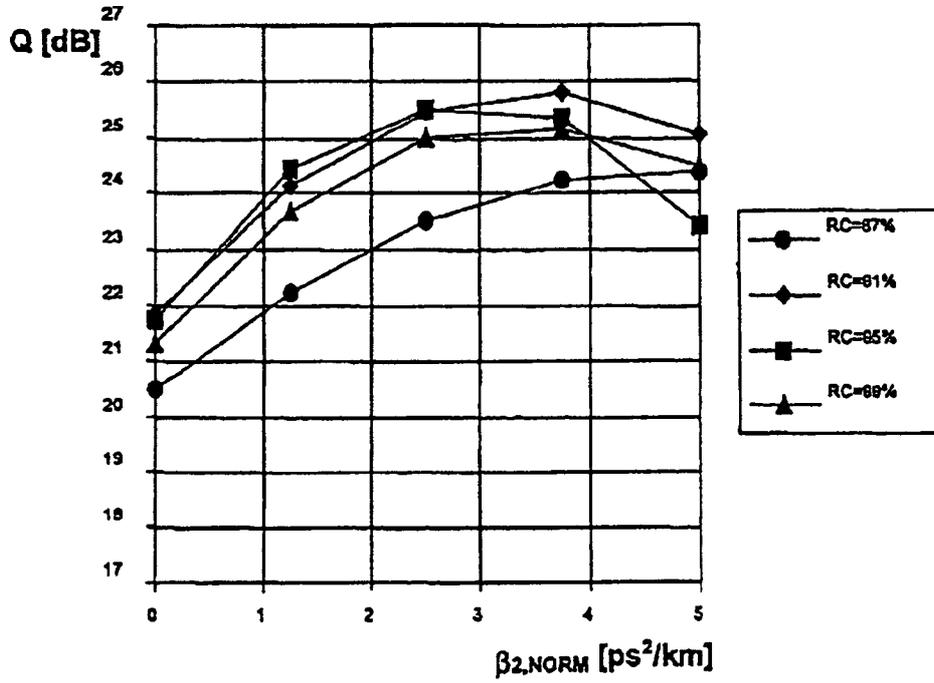


Fig. 9

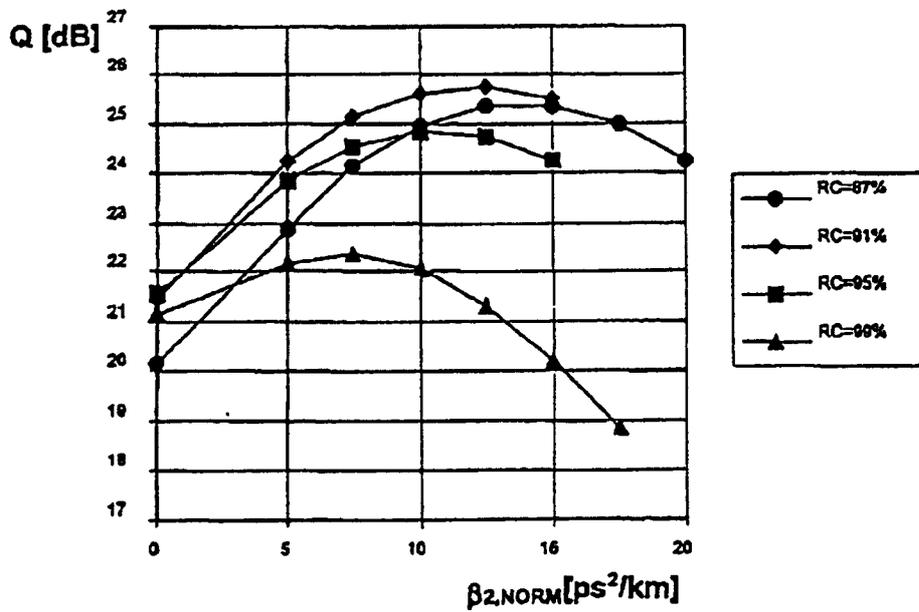


Fig. 10

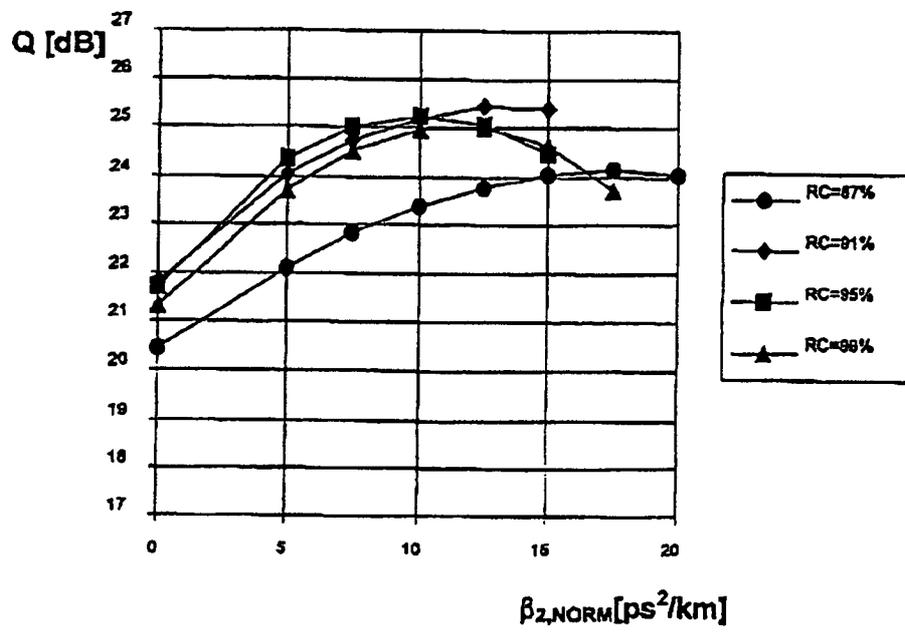


Fig. 11

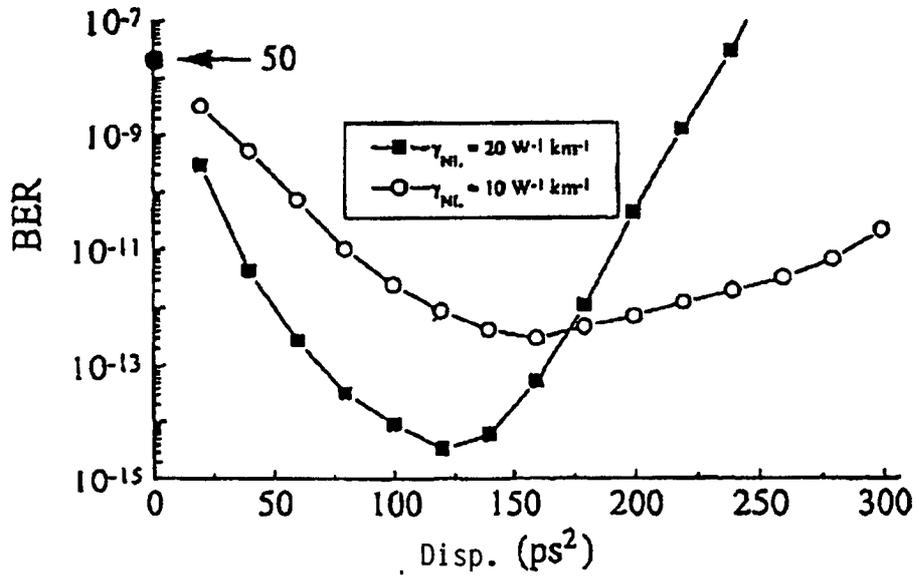


Fig. 12

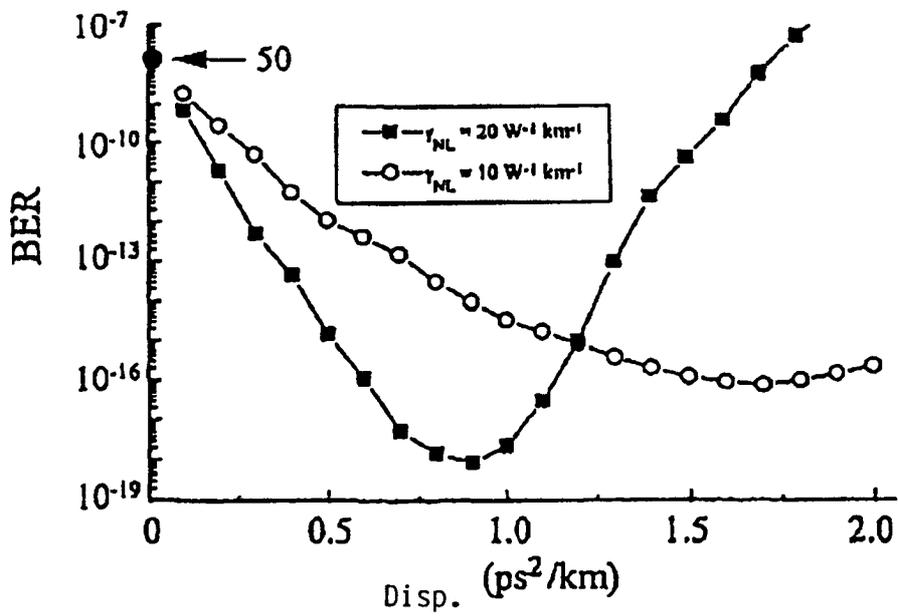


Fig. 13