(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 34 618 T2** 2008.01.31

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 035 670 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 34 618.8**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 301 574.0**
(96) Europäischer Anmeldetag: **28.02.2000**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.09.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **02.05.2007**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **31.01.2008**

(51) Int Cl.[8]: ***H04B 10/17*** (2006.01)
H01S 3/30 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
265943 **08.03.1999** **US**

(73) Patentinhaber:
Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT

(72) Erfinder:
Berger, Matthias, Tinton Falls, Monmouth County, NJ 07724, US; Bode, Dirk, Tinton Falls, New Jersey 07726, US; Fishman, Daniel A., Lakewood, New Jersey 08701, US; Livescu, Gabriela, Marlboro, New Jersey 07746, US; Raabe, Christian, Tinton Falls, New Jersey 07726, US; Shehadeh, Fatimah, Monmouth County, New Jersey 07712, US; Zhou, Jianhui, Freehold, New Jersey 07728, US; Zirngibl, Martin, Middletown, New Jersey 07748, US

(54) Bezeichnung: **Optischer Verstärker zur Verschiebung der Ramanverstärkung angeordnet**

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

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft optische Übertragungssysteme und betrifft insbesondere einen optischen Übertragungsverstärker.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Ein optisches Übertragungssystem ist mit einer Reihe unterschiedlicher faseroptischer Nichtlinearitäten konfrontiert, von denen eine gemeinhin als die Ramanverstärkung. Die Ramanverstärkung ist (in dB) definiert als die Differenz zwischen der Leistung (in dB) des Kanals mit der längsten Wellenlänge und der Leistung (in dB) des Kanals mit der kürzesten Wellenlänge. Die Ramanverstärkung, oder der Ramaneffekt, wird zu einem besonderen Ärgernis, wenn ein hoher Grad an optischer Leistung, die über einen bestimmten Wellenlängenbereich verteilt ist, in eine optische Faser gepumpt wird. In diesem Fall neigt sich die Ramanverstärkung zu Gunsten der Kanäle mit den längeren Wellenlängen. Wie in Fig. 1 grafisch dargestellt, dämpft der Ramaneffekt die Leistungspegel der optischen Kanäle der kürzeren Wellenlängen, aber erhöht die Leistungspegel der optischen Kanäle der größeren Wellenlängen durch Verschieben der Leistung der ersteren Kanäle hin zu den letzteren Kanälen, wie in Fig. 1 veranschaulicht. Die Ramanverstärkung verschlechtert somit das Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) der Signale in den Kanälen mit den kürzeren Wellenlängen und verschlechtert somit in hohem Maß ihre Leistung. Experimente zeigen, dass die Ramanverstärkung über einen Wellenlängenbereich von 32 nm mehr als 2,0 dB bei 22 dBm an in die Übertragungsfaser eingespeister Gesamtleistung für eine standardmäßige Einmodenfaser über eine optische Faserstrecke von 80 Kilometern betragen könnte.

[0003] Die Ramanverstärkung/-neigung kann einige optische Störungen in optischen Niedrigleistungssystemen hervorrufen, die eine schmale belegte Signalbandbreite haben, da die in die Faser eingespeiste Gesamtleistung ebenfalls niedrig ist. Das ist jedoch nicht der Fall bei einem optischen Hochleistungssystem mit einer relativ breiten belegten Signalbandbreite. Der Grund dafür ist, dass ein optisches Signal oder ein optischer Kanal in der Regel mit einem Leistungspegel von zum Beispiel > 0 dBm über eine optische Faser übertragen wird, um zu gewährleisten, dass das optische Signal ein günstiges SRV hat, wenn es an dem nachgeschalteten Empfänger ankommt. Da der Leistungspegel eines jeden der optischen Kanäle kumulativ ist, könnte in einem 80-Kanäle-System der Pegel der in die optische Faser eingespeisten Gesamtleistung am Ausgang eines optischen Verstärkers mehr als 20 dBm betragen.

[0004] Ein Beispiel des Kompensierens einer Ramanstreuung findet sich in "Compensation of Raman scattering und EDFA's non-uniform gain in ultra-long-distance WDM links", X. Y. Zou und Mitarbeiter, IEEE Photonics Tech. Letters, Nr. 1, 1996.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0005] Wir haben festgestellt, dass die beste Art des Umgangs mit dem nachteiligen Effekt der Ramanverstärkung/-neigung darin besteht, optische Signale vor der Übertragung der Signale über eine optische Faserstrecke vorab aufzubereiten. In einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung kompensieren wir den Effekt der Ramanneigung durch Erzeugen einer Verstärkung, die der Ramanneigung entgegen vorgeneigt ist, und Anwenden der geneigten Verstärkung auf das Spektrum optischer Signale, die über eine optische Faser übertragen werden sollen.

[0006] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird eine solche Vorab-Aufbereitung dynamisch in Abhängigkeit von der Anzahl der Kanäle, die in einem empfangenen zusammengesetzten optischen Signal enthalten sind, und von dem Leistungspegel in jedem solchen Kanal erzeugt.

[0007] In einer weiteren veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung wird die Ramanneigung/-Verstärkung aus den empfangenen optischen Signalen herausgefiltert, bevor die Signale über eine nächste optische Faserstrecke am Ausgang eines optischen Verstärkers erneut übertragen werden.

[0008] Diese und weitere Merkmale unserer Erfindung werden anhand der folgenden detaillierten Beschreibung und der begleitenden Zeichnungen problemlos verstanden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0009] In den Zeichnungen ist Folgendes dargestellt:

[0010] Fig. 1 ist ein veranschaulichendes Beispiel des Ramaneffekts.

[0011] Fig. 2 ist ein allgemeines Blockschaubild eines optischen Übertragungssystems, in dem die Prinzipien der Erfindung praktiziert werden können.

[0012] Fig. 3A ist eine grafische Darstellung der Verteilung der Leistungspegel von optischen Signalen, wenn sie am Ausgang eines optischen Verstärkers **100-i** von Fig. 2 übertragen werden, wobei die Verstärkung zu Gunsten der optischen Signale am unteren Ende des Spektrums geneigt wurde.

[0013] Fig. 3B ist ein veranschaulichendes Beispiel

des Neigungsgrades infolge des Ramaneffekts, der auf die übertragenen Signale wirkt, während sie über die optische Übertragungsstrecke zwischen optischen Verstärkern transportiert werden, zum Beispiel einem Verstärker **100-1** und einem Verstärker **100-2** von Fig. 2.

[0014] Fig. 3C veranschaulicht grafisch die Art und Weise, in der die Verstärkung von Fig. 3A die Ramanverstärkung von Fig. 3B auslöscht.

[0015] Fig. 4 ist ein allgemeines Blockschaubild eines Verstärkers **100** von Fig. 2.

[0016] Fig. 5 ist ein veranschaulichendes Beispiel der Art und Weise, in der die optische Überwachungsvorrichtung **70** von Fig. 4 den Leistungspegel jeder Wellenlänge misst, den sie in einem Signal detektiert, das durch den Verstärker von Fig. 4 ausgegeben wird.

[0017] Fig. 6 veranschaulicht die verschiedenen Sättigungszustände für die Ausgangsverstärkungsstufe des optischen Verstärkers von Fig. 4.

[0018] Fig. 7 und Fig. 8 zeigen in Flussdiagrammform ein veranschaulichendes Programm, das die Prinzipien der Erfindung in der Steuerung von Fig. 4 implementiert.

[0019] Fig. 9 zeigt die Art und Weise, in der die Fig. 7 und Fig. 8 relativ zueinander angeordnet sein sollten.

[0020] Fig. 10 zeigt in Flussdiagrammform ein veranschaulichendes Programm, das die Prinzipien der Erfindung in der optischen Überwachungsvorrichtung von Fig. 4 implementiert.

[0021] Fig. 11 ist eine veranschaulichende Anordnung von Speicher zum Speichern einer Tabelle von Neigungswerten.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0022] Ein veranschaulichendes optisches Übertragungssystem, das die Prinzipien der Erfindung verkörpert, ist in vereinfachter Form in Fig. 2 gezeigt. Das optische System enthält insbesondere mehrere Lasersender **110-1** bis **110-N**, einen Multiplexer **120**, mehrere optische Verstärker, die entlang einer optischen Übertragungsstrecke **130** angeordnet sind, einen Demultiplexer **140** und optische Empfänger **150-1** bis **150-M**. Jeder der Sender gibt ein jeweiliges informationstragendes optisches Signal aus, das eine eindeutige Wellenlänge, λ_i, aufweist. Es wird hier angenommen, dass ein bestimmtes optisches Signal für einen der Empfänger **150-1** bis **150-M** bestimmt ist. Für die vorliegende Besprechung wird angenommen, dass das optische Übertragungssystem N optische Kanäle hat, wobei N > 1 und zum Beispiel 80 sein kann. Die optischen Kanäle sind jeweils den Sendern **110-1** bis **110-N** zugeordnet. Die N Kanäle sind anhand ihrer jeweiligen Wellenlängen λ_1, λ_2, λ_3, ... λ_N identifiziert, die ausreichend voneinander beabstandet sind, um zu verhindern, dass Signale in benachbarten Kanälen sich gegenseitig stören. Eine solche Trennung kann zum Beispiel 200 GHz oder weniger betragen. Die Signale, welche die Sender **110-1** bis **110-N** ausgeben, werden im MUX **120** kombiniert (gemultiplext) und dann über den optischen Verstärker **100-1** an die optische Übertragungsleitung **130** ausgegeben. Das kombinierte optische Signal wird dann über die Verstärker **100-2** bis **100-k – 1** und optische Kabel **130** zum DEMUX **140** über den optischen Verstärker **100-k** übertragen. Der DEMUX **140** trennt die kombinierten Signale voneinander und speist die getrennten Signale in jeweilige der Empfänger **150-1** bis **150-M** ein, wobei M gleich N ist.

[0023] Wie oben angesprochen, kann die sogenannte Ramanverstärkung/-neigung in optischen Übertragungssystemen toleriert werden, die eine relativ kleine Anzahl von Kanälen haben, zum Beispiel zweiunddreißig oder weniger. Das gilt jedoch nicht bei einem optischen Übertragungssystem, das mit einer relativ großen Anzahl von optischen Kanälen arbeitet, zum Beispiel 80 Kanälen. In einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung löschen wir den Effekt der Ramanneigung durch Erzeugen einer Verstärkung, die der Ramanneigung entgegen vorgeneigt ist, und Anwenden der geneigten Verstärkung auf das Spektrum von optischen Signalen, die über eine optische Faser übertragen werden sollen, wie in den Fig. 3a, Fig. 3b und Fig. 3c veranschaulicht ist. Insbesondere ist Fig. 3a eine grafische Darstellung der Verteilung der Leistungspegel von optischen Signalen, während sie am Ausgang eines optischen Verstärkers **100-i**, zum Beispiel **100-1** (Fig. 2), ausgegeben werden, wobei die Verstärkung zu Gunsten der optischen Signale am unteren Ende des Spektrums geneigt wurde. Fig. 3b ist ein veranschaulichendes Beispiel des Grades der Neigung infolge des Ramaneffekts, dem die Signale unterliegen, während sie über die optische Übertragungsstrecke zwischen optischen Verstärkern **100-1** und **100-2** transportiert werden. Das Vorneigen der optischen Signale löscht jedoch die Leistungsverschiebung infolge der Ramanneigung dergestalt, dass die Leistungspegel von optischen Signalen am Ende der Faserübertragungsstrecke mehr oder weniger flach sind, wie in Fig. 3c für den Idealfall grafisch veranschaulicht ist.

[0024] Der empfangende optische Verstärker, zum Beispiel der Verstärker **100-2**, wiederum verarbeitet das empfangene optische Signal, um die Signale zu verstärken und die Leistungspegel der optischen Signale entgegen dem der Ramanneigung, zu denen es in der abgehenden optischen Übertragungsstre-

cke **130** kommt, noch einmal vorzuneigen (vorzuverzerren).

[0025] Ein detailliertes Blockschaubild eines optischen Verstärkers **100-i** ist in Fig. 4 gezeigt. Der Verstärker **100-i**, der jeden der Verstärker **100-1** bis **100-k** in Fig. 2 repräsentiert, empfängt ein optisches Signal über die optische Übertragungsleitung **130**, einen herkömmlichen Signalkoppler **1** und ein herkömmliches optisches Isolatorelement **5**. Der Isolator **5** ermöglicht es dem empfangenen Signal, sich in Richtung der seltenerdendotierten Faser **10** auszubreiten, und verhindert, dass Reflexionen und spontanes Rauschen, die entlang der dotierten Faser **10** erzeugt werden könnten, zurück in die Eingangsfaser **130** wandern. Die dotierte Faser **10**, die zum Beispiel eine erbiumdotierte Faser sein könnte, erzeugt eine optische Verstärkung, wenn sie durch optische Leistung "gepumpt" wird, die durch den Pumplaser **55-1** über den herkömmlichen Wellenlängenmultiplexer (WDM) **15** zugeführt wird. Die durch den Pumplaser **55** zugeführte Leistung erregt die Ionen in der dotierten Faser **10**. Die ankommenden Signalphotonen kollidieren mit den erregten Ionen, wodurch die Ionen veranlasst werden, Photonen freizusetzen, die mit den ankommenden Photonen identisch sind. Die freigesetzten Photonen kombinieren sich dann mit den ankommenden Photonen und breiten sich als ein verstärktes Signal in Richtung des Isolators **20** aus. Der Isolator **20** verhindert, dass Rauschen und/oder reflektierte Signale, die in Richtung des WDM **15** transportiert werden, die Verstärkerfunktion stören, die an der Eingangsstufe wirkt, welche aus dem Isolator **5**, der dotierten Faser **10** und dem WDM **15** besteht.

[0026] Das optische Signal, das durch die erste Stufe des Verstärkers **100-i** verstärkt wird, wird dann über den herkömmlichen Isolator **20** in die variable Dämpfungseinheit (VDE) **30** eingespeist, die den Pegel des optischen Signals, welches das Dämpfungsglied **30** durchläuft, in Abhängigkeit von Steuersignalen steuert, die von der Steuerung **75** über den Bus **76** empfangen werden.

[0027] In einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung kann das variable Dämpfungsglied **30** zum Beispiel eine rotierende Glasplatte sein, deren optische Durchlässigkeit schrittweise von transparent bis optisch undurchlässig verändert werden kann. Der Pegel des optischen Signals, das die VDE **30** durchläuft, hängt deshalb davon ab, welcher Sektor der Glasplatte sich in der Übertragungsstrecke durch die VDE **30** befindet, wie weiter unten noch eingehend erläutert wird.

[0028] Das gedämpfte (justierte) optische Signal, das durch die VDE **30** ausgegeben wird, wird dann in das "Verstärkungsglättungs"-Filter **35** eingespeist, um einen Leistungspegel zu erzeugen, um den herum der Frequenzgang der Ausgangsstufe des Verstärkers **100-i** dynamisch angepasst werden kann. Das heißt, die Verstärkung wird durch Ändern der Verstärkung der erbiumdotierten Faser **45**, d. h. ihres Inversionspegels, geneigt. Dies geschieht durch Ändern des Pegels des optischen Signals, das die VDE **30** durchläuft. Es ist zu beachten, dass die Gesamtverstärkung durch den Pegel der Eingangsleistung und den Pegel der gesättigten Ausgangsleistung festgelegt wird.

[0029] Genauer gesagt, hat das Filter **35** einen Frequenzgang, der die Umkehrung des Verstärkungsspektrums der Eingangs- und der Ausgangsstufe des Verstärkers **100-i** zu einem Signalpegel ist, der dem Pegel des oben erwähnten justierten Signals entspricht, wobei die Ausgangsstufe den WDM **40**, die seltenerdendotierte Faser **45** (zum Beispiel eine erbiumdotierte Faser) und den Isolator **50** aufweist. Der WDM **40** kombiniert das gefilterte Signal mit der Pumpleistung, die über die Faser **55-2** empfangen wird, und speist das kombinierte Signal in die dotierte Faser **45** ein, wo eine optische Verstärkung des Signals in der oben besprochenen Weise stattfindet. Das verstärkte Signal wird dann über den Isolator **50** und einen herkömmlichen Signalteiler **80**, der einen kleinen Teil des ausgegebenen optischen Signals über den Teiler **81** in die optischen Überwachungsvorrichtung **70** umleitet (einspeist), in die optische Ausgangsfaser **130** eingespeist. In einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung kann die Überwachungsvorrichtung **70** zum Beispiel ein optischer Spektralanalysator sein, vorzugsweise der optische Spektralanalysator, der durch den Comcode 200899540 bezeichnet wird und bei der Firma Lucent Technologies, Inc. bezogen werden kann.

[0030] Genauer gesagt, analysiert die optische Überwachungsvorrichtung (der Spektralanalysator) **70** das Spektrum des optischen Signals, das sie über den Teiler **81** empfängt, und bestimmt die Wellenlängen und Leistungspegel der einzelnen optischen Signale, die das ausgegebene optische Signal bilden. Die optische Überwachungsvorrichtung **70** speist dann die Ergebnisse seiner Bestimmung in die Steuerung **75** ein. Ein Beispiel einer solchen Kanalisierung ist in Fig. 5 veranschaulicht, wobei die Überwachungsvorrichtung **70** den Leistungspegel jeder Wellenlänge, die sie detektiert, misst und die Daten (x_i, y_i) in die Steuerung **75** einspeist. In einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung kann die Steuerung **75** ein herkömmlicher Mikrocomputer sein, der in herkömmlicher Weise dafür programmiert ist, das variable Dämpfungsglied **30** dynamisch zu justieren, um seinen Dämpfungspegel entsprechend den Daten, die er von der Überwachungsvorrichtung **70** empfängt, und der Lichtmenge, die in die erbiumdotierte Faser **45** eingeleitet wird, zu erhöhen oder zu verringern. Die Steuerung **75** justiert das Dämpfungsglied **30** weiter, bis die gewünschte Vorverzerrung des ausgegebenen optischen Signals erreicht

ist. Wie allgemein bekannt ist, kann der Frequenzgang der Faser **45** zwischen verschiedenen Umkehrungspegeln dynamisch verändert werden, indem die Lichtmenge, die in die Faser **45** eingespeist wird, vergrößert oder verringert wird, wie ist in Fig. 6 veranschaulicht.

[0031] Aus Fig. 4 ist zu erkennen, dass der Teiler **81** das Signal, das er empfängt, zwischen der optischen Überwachungsvorrichtung **70** und dem Photodetektor **85** teilt. Genauer gesagt, wandelt der Photodetektor **85** das optische Signal in ein elektrisches Signal um und speist das letztere Signal in einen Analog/Digital (A/D)-Wandler **90** ein. Der A/D-Wandler **90** wandelt den Pegel des elektrischen Signals, das er empfängt, in einen digitalen Wert um und speist den digitalen Wert in die Steuerung **75** ein. Das in die Steuerung **75** eingespeiste digitale Signal steht für den mit Po bezeichneten Leistungspegel des Signals, das an die Strecke **130** ausgegeben wird. Gleichermaßen speisen der Photodetektor **25** und der A/D-Wandler **60** einen digitalen Wert, der für den mit Pi bezeichneten Leistungspegel des empfangenen Signals steht, in die Steuerung **75** ein. Wie weiter unten noch erklärt wird, nutzt die Steuerung **70** die digitalen Werte Pi und Po für ihre Bestimmung der gewünschten Neigung für das abgehende Signal.

[0032] Das Programm, das die Prinzipien der Erfindung in der Steuerung **75** implementiert, ist in Flussdiagrammform in den Fig. 7 und Fig. 8 gezeigt, die wie in Fig. 9 gezeigt anzuordnen sind. Genauer gesagt, erfolgt der Einstieg in das Programm am Block **701** in Reaktion auf eines einer Anzahl verschiedener "Auslöser"-Ereignisse. Zu diesen Ereignissen gehören unter anderem (a) ein System-Upgrade, wie zum Beispiel die Erhöhung der Anzahl von Kanälen (Wellenlängen) zum Beispiel von 40 auf 60; (b) eine Änderung der durch den OV **100** detektierten Eingangsleistung; (c) periodisch, zum Beispiel alle zehn Minuten; oder (d) wenn der OV ein nachgeschalteter OV ist und er eine Meldung empfängt, die anzeigt, dass ein vorgeschalteter OV sein Programm der Steuerung **75** ausführt; usw. Nachdem der Einstieg in das Programm vollzogen wurde, schreitet es zu Block **702** voran, wo es einen Zähler n_{cycle} und einen Timer t_{adj} initialisiert. Das Programm (Block **703**) erhält dann Daten von der optischen Überwachungsvorrichtung **70**. Gemäß einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung enthalten diese Daten die Anzahl von OC48-Kanälen, n_{48}, und die Anzahl von OC192-Kanälen, n_{192}, die in dem Ausgangssignal enthalten sind, und die Bandbreite (Δv) des Ausgangssignals. Die Daten enthalten außerdem die NEIGUNG des Ausgangssignals.

[0033] Wenn das Programm die angeforderten Daten empfängt, vergleicht es dann (Block **704**) den Wert der Bandbreite, Δv, des Ausgangssignals mit einem Minimumwert, ΔV_{min}, zum Beispiel einem Wert, der ein Signal anzeigt, das aus fünfzehn benachbarten Kanälen gebildet ist. Wenn der Wert von Δv kleiner als das Minimum ist, dann setzt (dreht) das Programm (Block **704-1**) die variable Dämpfungseinheit (VDE) **30** auf einen Nennwert, der in Abhängigkeit von den Werten n_{48} und n_{192} und in Abhängigkeit von dem Leistungspegel des ankommenden optischen Signals bestimmt wird. Das Programm steigt dann über den Block **704-2** aus. Wenn festgestellt wird, dass der Wert von Δv größer als Δv_{min} ist, dann inkrementiert das Programm (Block **705**) den Zähler n_{cycle} und bestimmt dann (Block **706**) einen Vorneigungswert in Abhängigkeit von dem Ausgangsleistungspegel, Po, und der Signalbandbreite, Δv, und dem Typ der Faser, die an den Ausgang des zugehörigen optischen Verstärkers **100** angeschlossen ist.

[0034] In einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung verwendet das Programm den Wert der in die Ausgangsfaser eingespeisten Leistung zum indirekten Indexieren einer Tabelle von Vorneigungswerten und Auslesen eines Vorneigungswertes, der für den Wert der eingespeisten Leistung angemessen ist. Das Programm bestimmt dann die Differenz zwischen dem aus der Tabelle ausgelesenen Vorneigungswert und dem von der optischen Überwachungsvorrichtung erhaltenen Vorneigungswert. Das Programm justiert dann die VDE in Abhängigkeit von dieser Differenz so, dass die gewünschte Vorneigung des Ausgangssignals erhalten wird. Genauer gesagt, schreitet bei Block **707** das Programm weiter zu Block **708**, wenn es bestimmt, dass ein vorheriger Durchgang die VDE-Einstellung erfolgreich justiert hat, dergestalt, dass das ausgegebene Signal auf innerhalb eines Fensters, zum Beispiel ±1/2 dB, dieses gewünschten Vorneigungswertes vorgeneigt wurde. (Es ist anzumerken, dass dieses Fenster im vorliegenden Text als das innere Fenster bezeichnet wird.) Nachdem die Vorneigung auf innerhalb des inneren Fensters eingestellt wurde, prüft das Programm anschließend die Einstellung, um zu bestimmen, ob sie sich immer noch innerhalb eines gröberen Fensters befindet, das im vorliegenden Text als das äußere Fenster bezeichnet wird.

[0035] Wenn ein vorheriger Durchgang nicht ausgeführt oder nicht zu Ende gebracht wurde, so prüft das Programm (Block **709**), ob sich der gewünschte Vorneigungswert innerhalb des inneren Fensters befindet. Wenn ja, dann schreitet das Programm zu Block **709-1** voran, um einen Zähler $n_{tilt,ok}$ zu inkrementieren. Dann prüft es (Block **709-2**), ob der Wert des inkrementierten Zählers einen zuvor festgelegten Wert, $n_{tilt,ok,min}$, übersteigt. Wenn das der Fall ist, so steigt das Programm über den Block **709-3** aus. Andernfalls kehrt das Programm zu Block **705** zurück. Wenn die Vorneigung des Ausgangssignals nicht innerhalb des inneren Fensters der gewünschten Vorneigung, die bei Block **706** bestimmt wurde, liegt, dann schreitet das Programm zu Block **710** voran. Wenn festge-

stellt wird, dass die Vorneigung des Ausgangssignals bei Block **708** nicht innerhalb des äußeren Fensters der gewünschten Vorneigung, die bei Block **706** bestimmt wurde, liegt, so schreitet gleichermaßen das Programm ebenfalls zu Block **710** voran. Das Programm (Block **710**) prüft dann, ob es die VDE-Einstellung um einen großen Schritt bewegen kann – zur Veranschaulichung wenigstens fünf nominale Schritte. Das Programm kann dies tun, wenn es der erste OV einer Kette von OVs ist oder wenn es ein nachgeschalteter OV in der Kette ist und der erste OV momentan nicht seine VDE justiert. Wenn die Bestimmung bei Block **710** anzeigt, dass die VDE mittels eines großen Schrittes justiert werden kann, dann schreitet das Programm zu Block **711** voran, wo es prüft, ob die Neigung des Ausgangssignals nahe dem Sollwert liegt (d. h. dem Wert, der aus der oben erwähnten Tabelle ausgelesen wurde). Wenn ja, so setzt das Programm (Block **711-1**) einen Schrittgrößenindikator gleich einer kleinen Schrittgröße und schreitet dann zu Block **713** voran. Wenn nicht, so setzt das Programm (Block **712**) den Indikator gleich einer großen Schrittgröße.

[0036] Wenn das Programm feststellt, dass der Dämpfungspegel eine Systemgrenze erreicht hat (Block **713**) oder eine Hardware (HW)-Grenze erreicht hat (Block **714**), dann gibt das Programm eine entsprechende Warnmeldung aus (Block **713-1** bzw. **714-1**) und steigt über den Block **719-2** aus, um eine nächste Eingabe über den Block **701** zu erwarten. Andernfalls justiert das Programm (Block **715**) den Pegel der VDE-Dämpfung durch Senden einer Anzahl von Signalimpulsen an die VDE entsprechend einem großen bzw. einem kleinen Schritt. Ein jeder derartiger Signalimpuls veranlasst die VDE, den Dämpfungspegel entsprechend einer zuvor festgelegten Schrittgröße, zum Beispiel 0,1 dB, zu erhöhen (oder zu verringern). Das Programm (Block **716**) erhält dann einen Spannungspegel von der VDE, wobei der Spannungspegel den aktuellen Dämpfungspegel anzeigt, der durch die VDE angelegt wird. Das Programm (Block **717**) vergleicht dann den aktuellen Dämpfungspegel mit dem vorherigen Dämpfungspegel, um zu bestimmen, ob die VDE auf die Signalimpulse reagiert hat. Wenn nicht, dann sendet das Programm (Block **717-1**) erneut die Signalimpulse an die VDE und bestimmt noch einmal (Block **717-2**), ob sich der Dämpfungspegel verändert hat. Wenn nicht, dann gibt das Programm (**717-3**) eine Warnmeldung aus und schreitet zu Block **719-2** voran. Wenn ja, dann inkrementiert das Programm (Block **718**) den Zähler $n_{tilt,ok}$, und prüft dann (Block **719**), um zu bestimmen, ob entweder die Zeitdauer oder die Anzahl der Versuche, die zugeteilt wurden, um die VDE zu justieren, um die gewünschte Vorneigung zu erreichen, verstrichen ist. Das Programm tut dies durch Vergleichen des Timers t_{adj} und des Inhalts des Zählers n_{cycle} mit jeweiligen Maximalwerten. Wenn entweder die zugeteilte Zeit oder Anzahl von Zyklen verstrichen ist, so gibt das Programm (**719-1**) eine Warnmeldung aus und schreitet zu Block **719-2** voran. Andernfalls kehrt das Programm zu Block **703** zurück.

[0037] Ein veranschaulichendes Programm, das die Prinzipien der Erfindung in der optischen Überwachungsvorrichtung **70** implementiert, ist in Fig. 10 gezeigt. Genauer gesagt, wenn das Programm bei Block **901** beginnt, so tastet es (Block **902**) das optische Signal, das es empfängt, über den Abgriff **80** ab (Fig. 4). Die optische Überwachungsvorrichtung bestimmt dann in einer herkömmlichen Weise die Anzahl von OC48-Kanälen, n_{48}, und die Anzahl von OC192-Kanälen, n_{192}, die in dem abgetasteten Signal enthalten sind. Die optische Überwachungsvorrichtung bestimmt auch die Bandbreite, v, des abgetasteten Signals sowie die Leistungen der Kanäle, Pj. Das Programm mittelt dann die Werte dieser Ergebnisse über eine aufeinanderfolgende Anzahl von Abtastungen, zum Beispiel fünf Abtastungen. Das Programm (Block **903**) bestimmt dann die Steigung, dP/dv, der abgetasteten Signals und bestimmt (Block **904**) den Neigungsgrad, den das Ausgangssignal aufweist, wie gezeigt. Das Programm speist dann das abgetastete Ergebnis und den ermittelten Neigungswert in die Steuerung **75** ein. Das Programm steigt dann aus (**906**), um bei Block **901** wieder einzusteigen.

[0038] Fig. 11 zeigt ein veranschaulichendes Beispiel der Art und Weise, in der der Speicher der Steuerung konfiguriert sein kann, um eine Tabelle von Vorneigungswerten aufzunehmen, auf die das Steuerungsprogramm bei Block **706**, Fig. 7, zugreift.

[0039] Es versteht sich daher, dass, obgleich die im vorliegenden Text veranschaulichte Erfindung im Kontext einer konkreten veranschaulichenden Ausführungsform beschrieben ist, der Fachmann in der Lage ist, zahlreiche alternative Anordnungen zu ersinnen, die, wenn sie auch im vorliegenden Text nicht ausdrücklich gezeigt oder beschrieben sind, trotzdem die Prinzipien der Erfindung verkörpern und innerhalb ihres Geltungsbereichs liegen. Zum Beispiel kann einem optischen Verstärker ein geeignetes Filter hinzugefügt werden, um die Ramanverstärkung aus den empfangenen optischen Signalen herauszufiltern, bevor die Signale über eine nächste optische Faserstrecke am Ausgang des optischen Verstärkers neu übertragen werden. Als ein weiteres Beispiel kann die VDE **30** manuell justiert werden.

Patentansprüche

1. Optischer Verstärker, umfassend:

eine Vorrichtung (**1**), die dafür ausgelegt ist, ein optisches Eingangssignal mit mehreren optischen Komponenten jeweiliger Wellenlängen zu empfangen, und

eine Vorrichtung (**100**), die dafür ausgelegt ist, das empfangene optische Signal so aufzubereiten, daß

das aufbereitete Signal vorverzerrt ist, um eine Ramanverstärkung auszugleichen, und das aufbereitete Signal dann zur Verbindung mit einer optischen Übertragungsstrecke (**130**) in der die Ramanverstärkung auftritt, einem Ausgang zuführt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung die für das Aufbereiten ausgelegt ist, folgendes umfaßt:
Mittel zum Überwachen (**70**, **85**) des aufbereiteten Signals, um einen aktuellen Grad der Vorverzerrung in dem aufbereitetem Signal zu bestimmen;
ein variables Dämpfungsglied (**30**, **75**), das so ausgelegt ist, daß es auf der Basis des aktuellen Werts der Vorverzerrung ein aus dem optischen Eingangssignal abgeleitetes optisches Signal dynamisch dämpft; und
eine Ausgangsverstärkerstufe (**45**, **55-2**), die dafür ausgelegt ist, das gedämpfte Signal zu verstärken, um das aufbereitete Signal zu erzeugen, wobei der Grad der dynamischen Dämpfung die Ausgangsverstärkerstufe so konfiguriert, daß die Vorverzerrung des aufbereiteten Signals dynamisch gesteuert wird.

2. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei die Ausgangsverstärkerstufe (**45**, **55-2**) dafür ausgelegt ist, in verschiedenen Graden der Inversion zu operieren, um die Vorverzerrung bereitzustellen.

3. Optischer Verstärker nach Anspruch 2, wobei das variable Dämpfungsglied (**30**) dafür ausgelegt ist, die Ausgangsverstärkerstufe in einen bestimmten der verschiedenen Grade der Inversion zu versetzen.

4. Optischer Verstärker nach Anspruch 3, wobei die Mittel zum Überwachen folgendes umfassen:
eine optische Überwachungsvorrichtung (**70**), die dafür ausgelegt ist, einen Teil der Signalleistung, die der optischen Übertragungsstrecke zugeführt wird, abzutasten und den aktuellen Grad der Vorverzerrung zu bestimmen; und
einen Photodetektor (**85**) der dafür ausgelegt ist, einen Leistungspegel des aufbereiteten Signals zu bestimmen, wobei das variable Dämpfungsglied eine Steuerung (**75**) umfaßt, die dafür ausgelegt ist, solche Bestimmungen von der optischen Überwachungsvorrichtung und dem Photodetektor zu empfangen und die Dämpfung dynamisch als Funktion des Leistungspegels und der Differenz zwischen einem gewünschten Grad der Vorverzerrung und dem aktuellen Grad der Vorverzerrung zu justieren.

5. Optischer Verstärker nach Anspruch 4, wobei die optische Überwachungsvorrichtung (**70**) einen optischen Spektrum-Analysator umfaßt.

6. Optischer Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das variable Dämpfungsglied (**30**) ein optisches Dämpfungsglied ist, das elektrisch gesteuert wird.

7. Optischer Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das variable Dämpfungsglied (**30**) ein optisches Dämpfungsglied ist, das manuell gesteuert wird.

8. Optischer Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Ausgangsverstärkerstufe (**45**, **55-2**) einen erbiumdotierten Verstärker umfaßt.

9. Optischer Verstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorverzerrung gemäß einem vorbestimmten Steigungswert dergestalt erfolgt, daß die Leistungspegel von Signalkomponenten mit kleineren Wellenlängen größer als die Leistungspegel von Signalkomponenten mit größeren Wellenlängen sind.

10. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei die Vorrichtung, die dafür ausgelegt ist, das optische Eingangssignal zu empfangen, dafür ausgelegt ist, ein optisches Signal aus einer optischen Übertragungsleitung zu empfangen, die die Leistungspegel der Komponenten gemäß einem bestimmten Ramanverstärkungswert ändert, und
die Vorrichtung, die für das Aufbereiten ausgelegt ist, ferner dafür ausgelegt ist, einen Verstärkungswert abzuleiten, der entgegengesetzt zu und in einem ersten Fenster von Leistungspegeln der Ramanverstärkung geneigt ist, und die geneigte Verstärkung auf die Komponenten anzuwenden.

11. Optischer Verstärker nach Anspruch 10, wobei die für das Aufbereiten ausgelegte Vorrichtung ferner dafür ausgelegt ist, danach den Verstärkungswert zu überprüfen, um sicherzustellen, daß er in gegengesetzt zu und innerhalb eines zweiten Fensters von Leistungspegeln der Ramanverstärkung liegt.

12. Optischer Verstärker nach Anspruch 1, wobei die Vorverzerrung eine Funktion der Spektraleigenschaften des empfangenen optischen Signals ist.

13. Optischer Verstärker nach Anspruch 3, ferner umfassend:
eine zwischen die Vorrichtung, die dafür ausgelegt ist, zu empfangen, und das variable Dämpfungsglied (**30**) geschaltete Eingangsverstärkerstufe (**10**, **55-1**); und
ein zwischen die Eingangs- und Ausgangsverstärkerstufe geschaltetes optisches Filter (**35**), wobei das optische Filter ein spektrales Ansprechverhalten aufweist, das im wesentlichen eine Umkehrung eines kombinierten spektralen Ansprechverhaltens der Eingangs- und Ausgangsverstärkerstufe ist.

14. Verfahren zum Senden eines optischen Signals mit mehreren Komponenten mit verschiedenen Wellenlängen, mit den folgenden Schritten:
(A) Empfangen eines optischen Eingangssignals;
(B) Aufbereiten des optischen Eingangssignals dergestalt, daß das aufbereitete Signal vorverzerrt ist,

um eine Ramanverstärkung in einer Übertragungsstrecke auszugleichen; und
(C) Anlegen des aufbereiteten Signals an die Übertragungsstrecke, worin die Ramanverstärkung auftritt, gekennzeichnet durch die folgenden weiteren Schritte:
Überwachen des aufbereiteten Signals, um einen aktuellen Grad der Vorverzerrung in dem aufbereiteten Signal zu bestimmen;
Dynamisches Dämpfen eines aus dem optischen Eingangssignal abgeleiteten optischen Signals auf der Basis des aktuellen Grads der Vorverzerrung; und
Verstärken des gedämpften Signals, um das aufbereitete Signal zu erzeugen, wobei der Grad der dynamischen Dämpfung die Vorverzerrung des aufbereiteten Signals dynamisch steuert.

15. Erfindung nach Anspruch 14, wobei für Schritt (B) die Vorverzerrung eine Funktion der Spektraleigenschaften des optischen Eingangssignals ist.

16. Erfindung nach Anspruch 14, wobei Schritt (B) folgendes umfaßt:
(B1) Auswählen eines Steigungswerts entsprechend der Ramanverstärkung;
(B2) Aufbereiten des optischen Eingangssignals dergestalt, daß gemäß dem gewählten Steigungswert relative Leistung der Komponenten mit zunehmender Wellenlänge abnimmt; und
die Ramanverstärkung die Leistungsdifferenz zwischen den Komponenten reduziert.

17. Erfindung nach Anspruch 16, wobei für Schritt (B1) der gewählte Steigungswert und die Ramanverstärkung dergestalt sind, daß die relative Leistung an einem fernen Ende der Übertragungsstrecke im wesentlichen entzerrt ist.

18. Erfindung nach Anspruch 16, wobei Schritt (B) ferner folgendes umfaßt:
Vorverstärken des optischen Eingangssignals, um das aus dem optischen Eingangssignal abgeleitete optische Signal zu erzeugen; und
Dämpfen des vorverstärkten Signals, wobei die Dämpfung so ausgewählt wird, daß die Verstärkung des gedämpften Signals den gewählten Steigungswert produziert.

19. Erfindung nach Anspruch 18, wobei Schritt (B) ferner umfaßt, das gedämpfte Signal auf der Basis eines spektralen Ansprechverhaltens zu filtern, das im wesentlichen eine Umkehrung eines kombinierten spektralen Ansprechverhaltens der Vorverstärkung und der Verstärkung ist.

20. Erfindung nach Anspruch 18, wobei
die Verstärkung durch einen an eine Pumpquelle (**55-2**) angekoppelten Faserverstärker (**45**) implementiert wird; und
die Leistung der Pumpquelle so ausgewählt wird, daß die Verstärkung den gewählten Steigungswert produziert.

21. Erfindung nach Anspruch 18, ferner umfassend:
Überwachen des aufbereiteten Signals, um einen tatsächlichen Steigungswert zu bestimmen; und
Auswählen der Dämpfung auf der Basis einer Abweichung des tatsächlichen Steigungswerts von dem ausgewählten Steigungswert.

22. Kommunikationssystem zum Senden eines optischen Signals mit mehreren Komponenten mit verschiedenen Wellenlängen, wobei das System einen Sender (**110**) und einen Empfänger (**150**), die durch eine Übertragungsstrecke (**130**) gekoppelt werden, umfaßt, wobei der Sender für folgendes ausgelegt ist:
Empfangen eines optischen Eingangssignals an einem Eingang (**1**) des Senders;
Aufbereiten des optischen Eingangssignals dergestalt, daß das aufbereitete Signal vorverzerrt wird, um eine Ramanverstärkung in der Übertragungsstrecke auszugleichen; und
Senden des aufbereiteten Signals zu dem Empfänger über die Übertragungsstrecke, worin die Ramanverstärkung stattfindet, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender folgendes umfaßt:
Mittel zum Überwachen (**70**, **85**) des aufbereiteten Signals, um einen aktuellen Grad der Vorverzerrung in dem aufbereitetem Signal zu bestimmen;
ein variables Dämpfungsglied (**30**, **75**), das so ausgelegt ist, daß es auf der Basis des aktuellen Werts der Vorverzerrung ein aus dem optischen Eingangssignal abgeleitetes optisches Signal dynamisch dämpft; und
eine Ausgangsverstärkerstufe (**45**, **55-2**), die dafür ausgelegt ist, das gedämpfte Signal zu verstärken, um das aufbereitete Signal zu erzeugen, wobei der Grad der dynamischen Dämpfung die Ausgangsverstärkerstufe so konfiguriert, daß die Vorverzerrung des aufbereiteten Signals dynamisch gesteuert wird.

23. Erfindung nach Anspruch 22, wobei die Vorverzerrung eine Funktion der Spektraleigenschaften des optischen Eingangssignals ist.

24. Erfindung nach Anspruch 22, wobei der Sender ferner für folgendes ausgelegt ist:
Auswählen eines Steigungswerts entsprechend der Ramanverstärkung;
Aufbereiten des optischen Eingangssignals dergestalt, daß gemäß dem gewählten Steigungswert relative Leistung der Komponenten mit zunehmender Wellenlänge abnehmen; und
die Ramanverstärkung die Leistungsdifferenz zwischen den Komponenten reduziert.

25. Erfindung nach Anspruch 24, wobei der ge-

wählte Steigungswert dergestalt ist, daß die relative Leistung im wesentlichen entzerrt ist, wenn das gesendete Signal den Empfänger erreicht.

26. Erfindung nach Anspruch 24, wobei der Sender folgendes umfaßt:
eine Eingangsverstärkerstufe (**10**, **55-1**), die dafür ausgelegt ist, das optische Eingangssignal vorzuverstärken, um das aus dem optischen Eingangssignal abgeleitete optische Signal zu erzeugen, wobei
das variable Dämpfungsglied (**30**) dafür ausgelegt ist, das vorverstärkte Signal zu dämpfen; und
die durch das variable Dämpfungsglied eingeführte Dämpfung wählbar ist, um die Ausgangsverstärkerstufe in einen Betriebszustand zu versetzen, der den gewählten Steigungswert produziert.

27. Erfindung nach Anspruch 26, wobei der Sender ferner ein optisches Filter (**35**) mit einem spektralen Ansprechverhalten umfaßt, das im wesentlichen eine Umkehrung eines kombinierten spektralen Ansprechverhaltens der Eingangs- und Ausgangsverstärkerstufe ist, wobei das optische Filter zwischen das variable Dämpfungsglied (**30**) und die Ausgangsverstärkerstufe (**45**, **55-2**) geschaltet ist.

28. Erfindung nach Anspruch 26, wobei
die Ausgangsverstärkerstufe einen an eine Pumpquelle (**55-2**) angekoppelten Faserverstärker (**45**) umfaßt; und
Leistung der Pumpquelle abstimmbar ist, um die Ausgangsverstärkerstufe in den Betriebszustand zu versetzen, der den gewählten Steigungswert produziert.

29. Erfindung nach Anspruch 26, wobei
die Mittel zum Überwachen eine optische Überwachungsvorrichtung (**70**, **85**) umfassen, die dafür ausgelegt ist, das aufbereitete Signal zu überwachen, um einen tatsächlichen Steigungswert zu bestimmen; und
das variable Dämpfungsglied eine Steuerung (**75**) umfaßt, die dafür ausgelegt ist, die Dämpfung des variablen Dämpfungsglieds auf der Basis einer Abweichung des tatsächlichen Steigungswerts von dem gewählten Steigungswert zu steuern.

30. Erfindung nach Anspruch 26, wobei
ein Knoten, der den Empfänger enthält, ferner eine zweite Instanz des Senders umfaßt, die an eine nächste Übertragungsstrecke angekoppelt ist; und
das System ferner eine zweite Instanz des Empfängers umfaßt, die mit einem Signalabwärtsende der nächsten Übertragungsstrecke verbunden ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

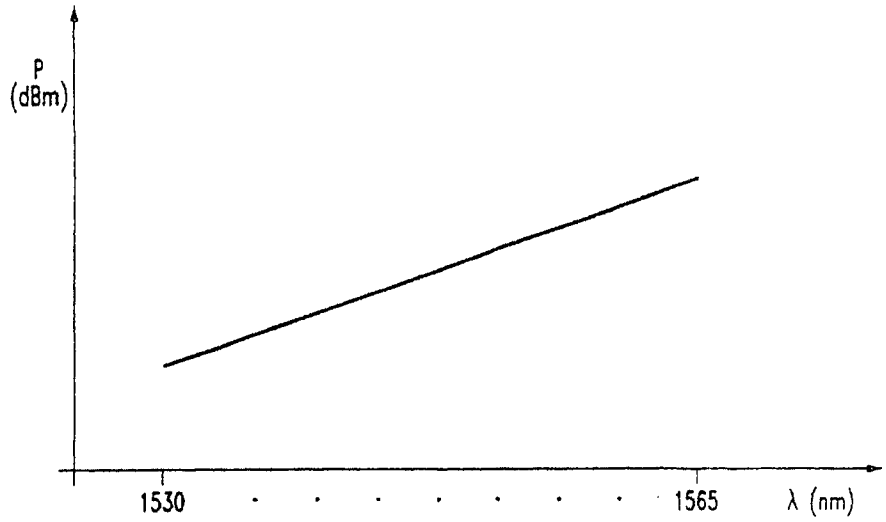


FIG. 2

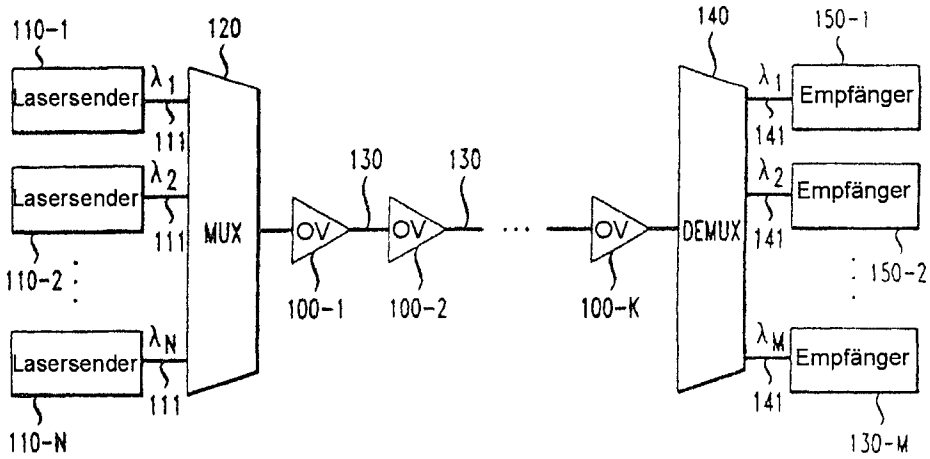


FIG. 3A

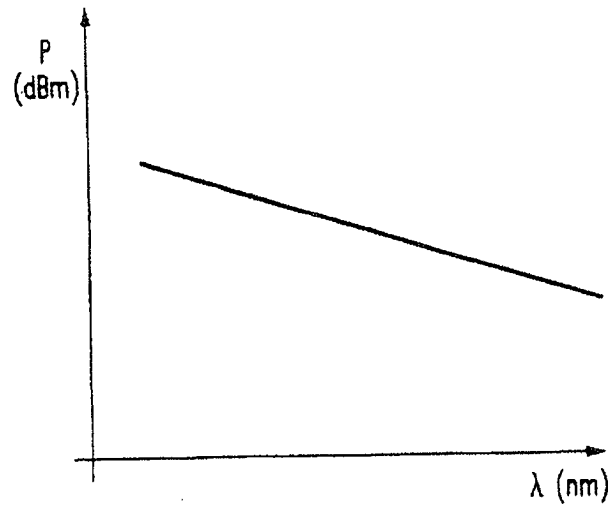


FIG. 3B

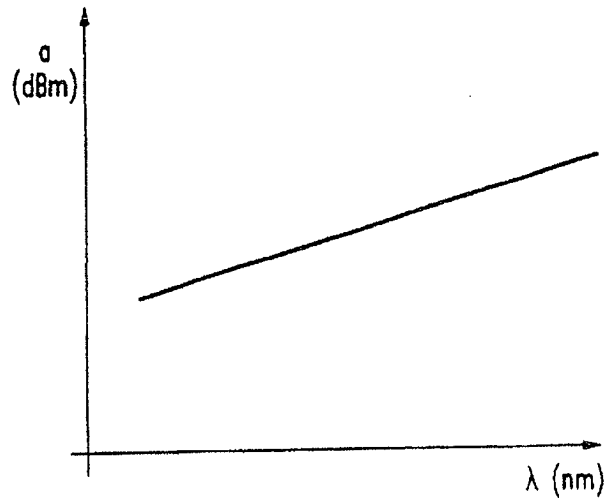


FIG. 3C

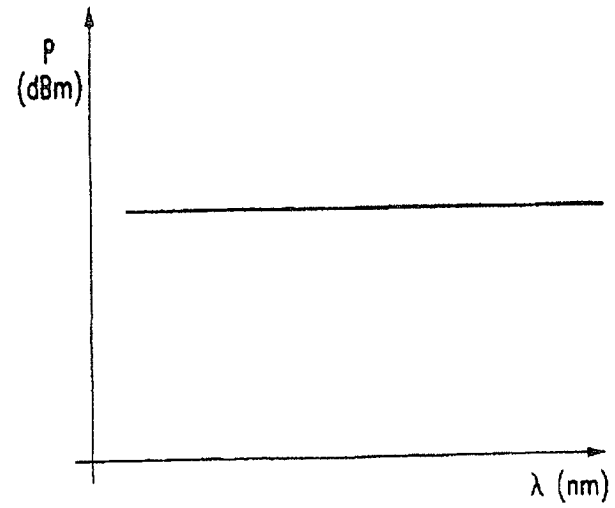


FIG. 4

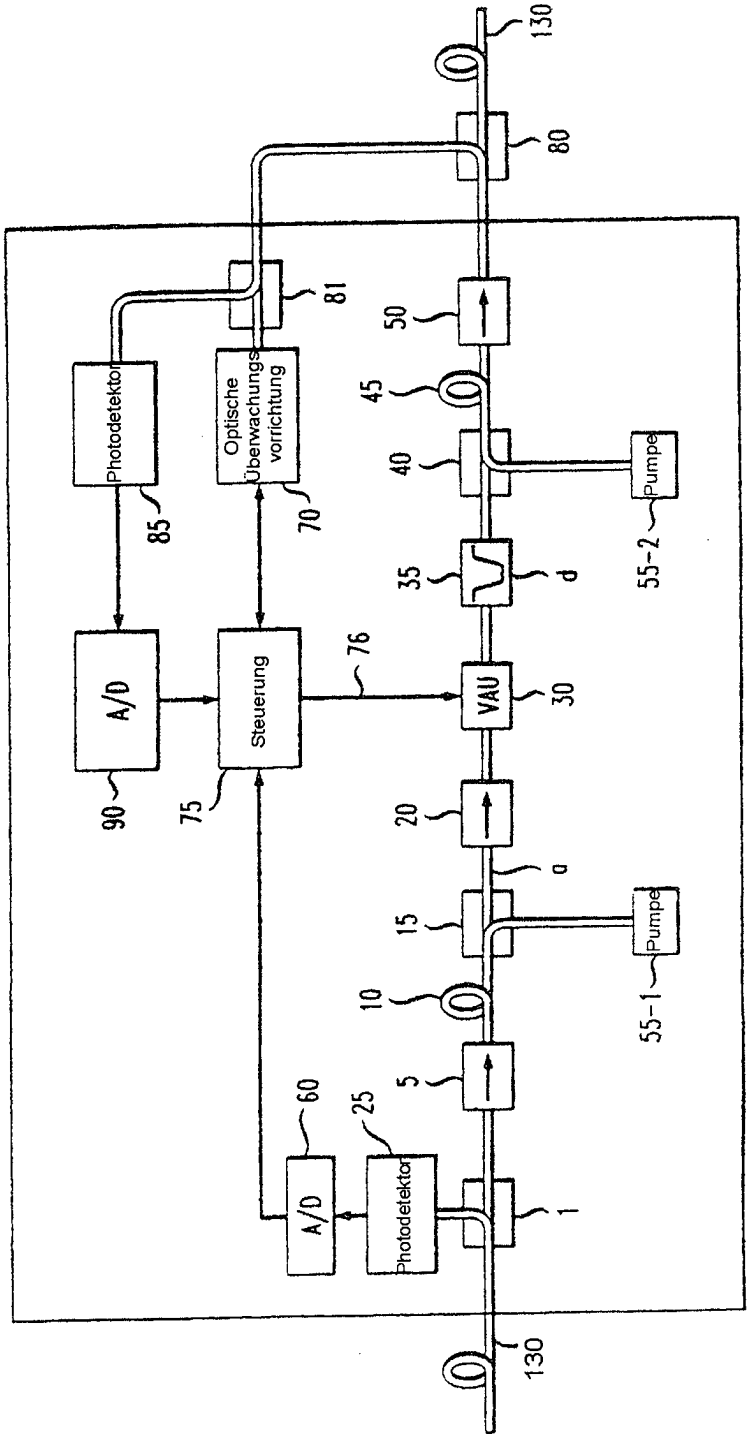

130
80
81
50
45
40
35
30
20
15
10
5
1
60
25
90
75
76
85
70
Photodetektor
Optische Überwachungsvorrichtung
A/D
Steuerung
VAU
Pumpe
55-2
55-1
d
a
130

FIG. 5

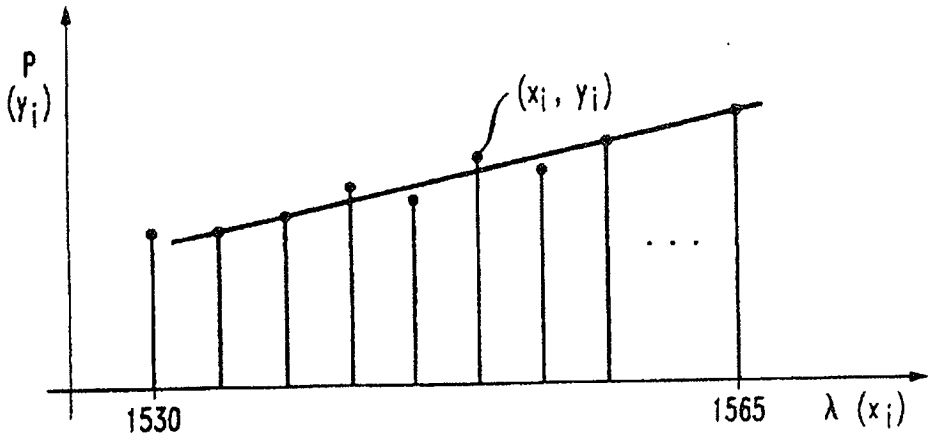
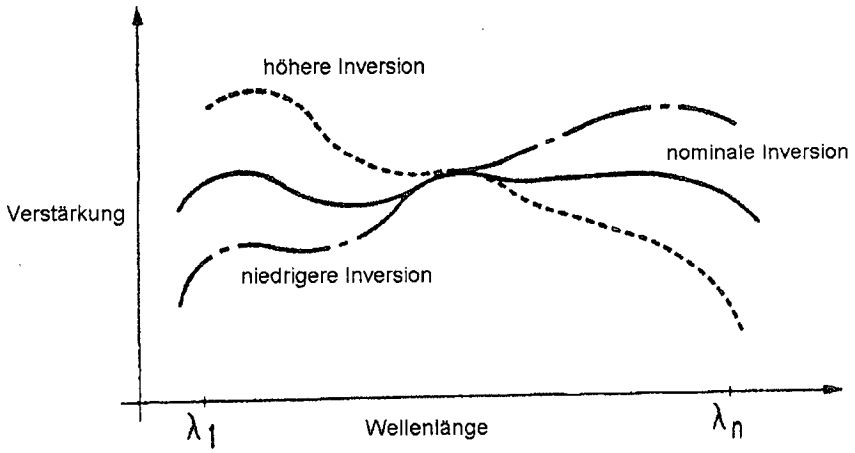

P
(yi)
(xi, yi)
1530
1565
λ (xi)

FIG. 6


höhere Inversion
nominale Inversion
Verstärkung
niedrigere Inversion
λ1
Wellenlänge
λn

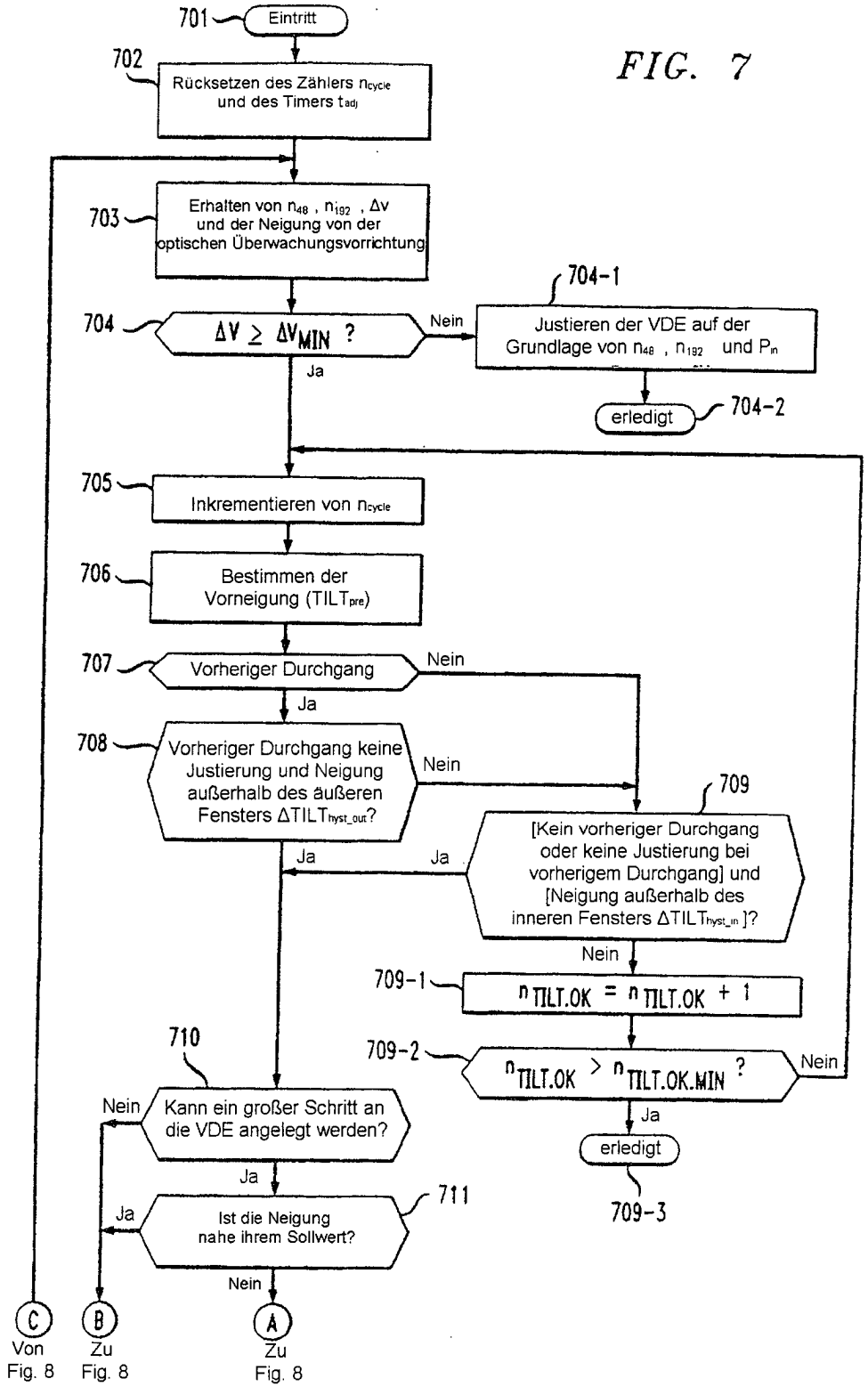

701
Eintritt
702
Rücksetzen des Zählers n_{cycle} und des Timers t_{adj}
703
Erhalten von n_{48} , n_{192} , Δv und der Neigung von der optischen Überwachungsvorrichtung
704
$\Delta V \geq \Delta V_{MIN}$?
Nein
704-1
Justieren der VDE auf der Grundlage von n_{48} , n_{192} und P_{in}
erledigt
704-2
Ja
705
Inkrementieren von n_{cycle}
706
Bestimmen der Vorneigung ($TILT_{pre}$)
707
Vorheriger Durchgang
Nein
Ja
708
Vorheriger Durchgang keine Justierung und Neigung außerhalb des äußeren Fensters $\Delta TILT_{hyst_out}$?
Nein
Ja
709
[Kein vorheriger Durchgang oder keine Justierung bei vorherigem Durchgang] und [Neigung außerhalb des inneren Fensters $\Delta TILT_{hyst_in}$]?
Ja
Nein
709-1
$n_{TILT.OK} = n_{TILT.OK} + 1$
709-2
$n_{TILT.OK} > n_{TILT.OK.MIN}$?
Nein
Ja
erledigt
709-3
710
Kann ein großer Schritt an die VDE angelegt werden?
Nein
Ja
711
Ist die Neigung nahe ihrem Sollwert?
Ja
Nein
C
Von Fig. 8
B
Zu Fig. 8
A
Zu Fig. 8

FIG. 7

FIG. 8

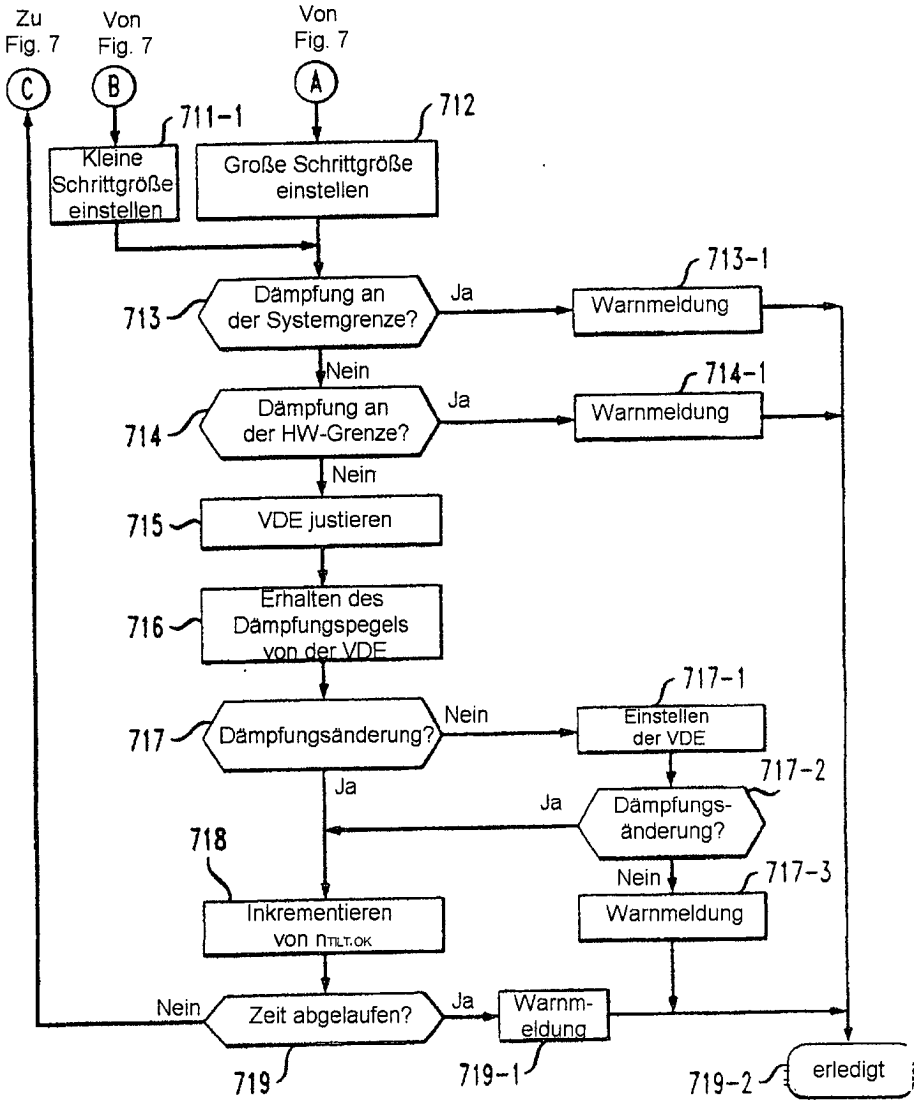


FIG. 9

FIG. 7
FIG. 8

FIG. 10

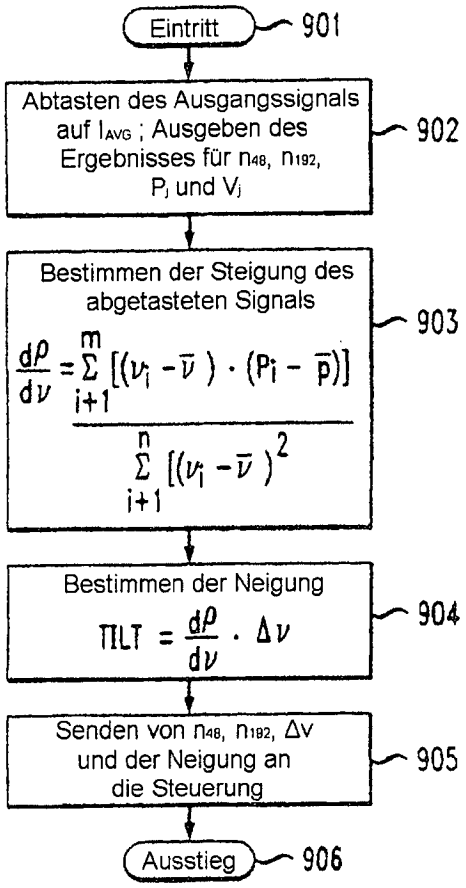


FIG. 11

Speicher der Steuerung	
Vorneigung-0	Vorneigung-1
Vorneigung-2	Vorneigung-3
Vorneigung-4	Vorneigung-4
⋮	⋮
Vorneigung-N-1	Vorneigung-N