



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 33 897 T2** 2006.11.23

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 902 560 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 33 897.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 108 436.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **08.05.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.03.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **22.03.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.11.2006**

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

(30) Unionspriorität:

24690197 **11.09.1997** **JP**

(73) Patentinhaber:

Fujitsu Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP

(74) Vertreter:

HOFFMANN & EITLÉ, 81925 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Ishikawa, George, Nakahara-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 211, JP; Ooi, Hiroki, Nakahara-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 211, JP; Kuwata, Naoki, Nakahara-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 211, JP

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Dispersionsoptimierung in einer faseroptischen Strecke in Übereinstimmung mit dem optischen Signalleistungspegel**

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

QUERVERWEIS AUF ZUGEHÖRIGE ANMELDUNGEN

[0001] Diese Anmeldung basiert auf und beansprucht Priorität der japanischen Anmeldung Nr. 9-246901, eingereicht am 11. September 1997 in Japan.

[0002] Diese Anmeldung beansprucht auch Priorität der japanischen Anmeldung 9-224056, eingereicht am 20. August 1997 in Japan.

[0003] Diese Anmeldung bezieht sich auf die US-Anmeldung mit dem Titel "METHOD AND APPARATUS FOR MINIMIZING THE INTENSITY OF A SPECIFIC FREQUENCY COMPONENT OF AN OPTICAL SIGNAL TRAVELLING THROUGH AN OPTICAL FIBER TRANSMISSION LINE TO THEREBY MINIMIZE THE TOTAL DISPERSION", eingereicht am 19. März 1998 in den Vereinigten Staaten.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG 1. Gebiet der Erfindung

[0004] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Optimieren von Dispersion in einer Optikfaser-Übertragungsleitung in Übereinstimmung mit dem Leistungspegel eines optischen Signals, das sich durch die Optikfaser-Übertragungsleitung bewegt. Genauer bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein Verfahren und eine Vorrichtung, die die Dispersion in einem spezifischen Punkt entlang der Optikfaser-Übertragungsleitung auf Null setzt, und dann Dispersion stromabwärts des spezifischen Punktes hinzufügt, um die Gesamtdispersion in Übereinstimmung mit dem Leistungspegel des optischen Signals zu optimieren.

2. Beschreibung des Standes der Technik

[0005] Optische Übertragungssysteme, die Faseroptik-Übertragungsleitungen verwenden, werden verwendet, um relativ große Mengen von Information zu übertragen. Z.B. sind optische Übertragungssysteme bei 10 Gb/s in optischen Kommunikationen einer Stammlinie nun in praktischer Implementierung. Da Benutzer fordern, dass größere Mengen von Information rasch übertragen werden, ist jedoch eine weitere Erhöhung in der Kapazität von optischen Übertragungssystemen erforderlich.

[0006] Zeitmultiplexen (TDM, Time-division multiplexing) (einschließlich optischen Zeitmultiplexens (OTDM) und Wellenlängenmultiplexen (WDM, wavelength-division multiplexing) werden als Kandidaten für derartige optische Übertragungssysteme hoher Kapazität betrachtet. Mit Bezug auf TDM-Techniken wird z.B. ein beträchtlicher Umfang von weltweiter

Forschung in 40 Gb/s-Systemen durchgeführt.

[0007] Chromatische Dispersion (Gruppengeschwindigkeitsdispersion (GVD, group-velocity dispersion)) ist einer der Faktoren, der den Übertragungsabstand in einem 40 Gb/s-System begrenzt. Da Dispersionstoleranz dem Quadrat der Bitrate umgekehrt proportional ist, wird die Dispersionstoleranz, die bei 10 Gb/s ungefähr 800 ps/nm ist, um einen Faktor von 16 auf ungefähr 50 ps/nm bei 40 Gb/s reduziert.

[0008] In gemessenen Experimenten wurde z.B. ein optisches zeitmultiplextes (OTDM) Signal mit einer Signallichtwellenlänge von 1,55 μm (wobei der Übertragungsverlust in einer Quarzfaser der geringste ist) über einen Abstand von 50 km durch eine Einzelmodusfaser (SMF, single-mode fiber) übertragen. Die SMF hatte eine Nulldispersionswellenlänge von 1,3 μm . Dieser Typ von SMF ist der Typ einer Faser, der überall in der Welt am meisten installiert ist. Die Eingangssignal-Lichtleistung war +3 dBm, und die Bitrate war 40 Gb/s. Dispersionskompensation wurde unter Verwendung einer Dispersionskompensationsfaser (DCF, dispersion-compensating fiber) durchgeführt. Die Breite des zulässigen Dispersionskompensationswertebereiches, um die Leistungsstrafe (Verschlechterung der Optiksignal-Empfangsempfindlichkeit durch Übertragung) auf innerhalb 1 dB (Dispersionskompensationstoleranz) zu halten, war 30 ps/nm. Dieser Wert übersetzt sich zu einer Länge von 2 km oder weniger einer SMF mit einem chromatischen Dispersionswert von 18,6 ps/nm/km.

[0009] Des weiteren ist in einem landgestützten System Repeaterbeabstandung nicht einheitlich. Somit muss sehr genaue Dispersionskompensation für jede Repeatersektion durchgeführt werden.

[0010] Andererseits ändert sich Dispersion in einer Übertragungsleitung mit der Zeit wegen Änderungen von z.B. der Temperatur. In dem Fall einer Übertragung über 50 km einer SMF wird, wenn sich die Temperatur zwischen -50 bis 100°C ändert, der Betrag einer Änderung der Übertragungsleitungsdispersion geschätzt, wie folgt zu sein:

(Temperaturabhängigkeit von Nulldispersionswellenlänge der Übertragungsleitung) \times (Temperaturänderung) \times (Dispersionsneigung) \times (Übertragungsabstand) = $0.03 \text{ nm}/^\circ\text{C} \times 150^\circ\text{C} \times 0.07 \text{ ps}/\text{nm}^2/\text{km} \times 50 \text{ km} = 16 \text{ ps}/\text{nm}$.

[0011] Dieser Wert ist größer als eine Hälfte der Dispersionstoleranz von 30 ps/nm und kann nicht übersehen werden, wenn das System gestaltet wird.

[0012] In den oben beschriebenen gemessenen Experimenten könnte, wenn der Betrag von Dispersionskompensation bei -50°C beim Start der Systemo-

peration optimiert wurde, falls die Temperatur anschließend auf 100°C während der Systemoperation angestiegen wäre, das Kriterium einer Strafe von 1 dB nicht erfüllt werden (Bedingung des schlechtesten Falls).

[0013] Abhängig von der Charakteristik und dem Aufbau einer Dispersionskompensationseinrichtung kann ferner der Betrag von Dispersionskompensation nur diskret gesetzt werden, wobei manchmal keine Alternative bleibt, um den Dispersionskompensationsbetrag auf einen Wert leicht von einem optimalen Wert beim Start der Systemoperation versetzt einzustellen. In diesem Fall entsteht eine Möglichkeit, dass das Kriterium der Strafe von 1 dB nicht erfüllt werden kann, selbst wenn die Temperaturänderung kleiner als 150°C ist.

[0014] Automatischer Dispersionsausgleich durch Überwachen eines extrahierten Taktleistungspegels in einer Übertragungsleitung von 40-Gbit/s und 200 km von PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION, 1996, von Sano A et al offenbart eine Überwachung einer Taktkomponente eines übertragenen Signals, um die optimale Gesamtdispersion der Übertragungsleitung zu bestimmen. Der optimale Wert wird aus den Ergebnissen der Taktamplitude als eine Funktion von Gesamtdispersion bestimmt.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0015] Entsprechend ist es ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein automatisches Dispersionskompensationssystem zur Verwendung in optischen Übertragungssystemen äußerst hoher Geschwindigkeit bei Raten von 40 Gb/s oder höher vorzusehen.

[0016] Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, ein derartiges automatisches Dispersionskompensationssystem so vorzusehen, um den Betrag von Dispersionskompensation für jede Repeatersektion des optischen Übertragungssystems beim Start der Systemoperation zu optimieren, und auch Optimierung des Dispersionskompensationsbetrags gemäß dem sich ändernden Dispersionswert der Übertragungsleitung während der Systemoperation durchzuführen.

[0017] Es ist ein zusätzliches Ziel der vorliegenden Erfindung, ein derartiges automatisches Dispersionskompensationssystem für SMF-Übertragungssysteme vorzusehen, welches aber auch in anderen Systemen verwendet werden kann, die eine Faser mit verschobenem Dispersions-Nulldurchgang (DSF, dispersion-shifted fiber) im 1,55 µm Band mit einem niedrigen chromatischen Dispersionswert in dieser Wellenlänge verwenden.

[0018] Außerdem ist es ein Ziel der vorliegenden Er-

findung, ein Dispersionssteuerverfahren und eine Vorrichtung vorzusehen, die chromatische Dispersion in einer optischen Übertragungsleitung richtig steuern können, selbst wenn Signallichtleistung so groß ist, dass ein nichtlinearer Effekt ausgeprägt wird.

[0019] Ziele der vorliegenden Erfindung werden durch Bereitstellung eines Verfahrens gemäß dem angefügten Anspruch 1 und einer Vorrichtung gemäß dem angefügten Anspruch 31 erreicht. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] Diese und andere Ziele und Vorteile der Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen offensichtlich und leichter erkannt, die in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen aufgenommen werden, von denen:

[0021] [Fig. 1](#) eine Grafik ist, die Computersimulationsergebnisse der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für ein OTDM-Signal von 40 Gb/s gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0022] [Fig. 2](#) eine Grafik ist, die Computersimulationsergebnisse der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für ein NRZ-Signal von 40 Gb/s gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0023] [Fig. 3](#) eine Grafik ist, die Computersimulationsergebnisse der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für ein RZ-Signal (50% Betriebszeit) von 40 Gb/s gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0024] [Fig. 4](#) eine Grafik ist, die Computersimulationsergebnisse der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für ein RZ-Signal (25% Betriebszeit) von 40 Gb/s gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0025] [Fig. 5](#) ein Diagramm ist, das einen optischen Modulator gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht, der ein OTDM-Signal von 40 Gb/s generiert;

[0026] [Fig. 6\(A\)](#), [Fig. 6\(B\)](#), [Fig. 6\(C\)](#), [Fig. 6\(D\)](#) und [Fig. 6\(E\)](#) Wellenformdiagramme sind, die die Operation des optischen Modulators von [Fig. 5](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung anzeigen;

[0027] [Fig. 7](#) ein Basisbandspektrum eines OTDM-Signals gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0028] [Fig. 8](#) ein Basisbandspektrum eines NRZ-Signals gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0029] [Fig. 9\(A\)](#), [Fig. 9\(B\)](#) und [Fig. 9\(C\)](#) Wellenformdiagramme eines OTDM-Signals, nachdem es chromatischer Dispersion unterzogen ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind;

[0030] [Fig. 10\(A\)](#), [Fig. 10\(B\)](#) und [Fig. 10\(C\)](#) Wellenformdiagramme eines NRZ-Signals, nachdem es chromatischer Dispersion unterzogen ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind;

[0031] [Fig. 11](#) eine Grafik ist, die eine Computersimulation der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für das 40-GHz-OTDM-Signal, wenn Signallichtleistung 0 dBm ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0032] [Fig. 12](#) eine Grafik ist, die eine Computersimulation der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für das 40-GHz-OTDM-Signal, wenn Signallichtleistung +5 dBm ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0033] [Fig. 13](#) eine Grafik ist, die eine Computersimulation der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für das 40-GHz-OTDM-Signal, wenn Signallichtleistung +10 dBm ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0034] [Fig. 14](#) eine Grafik ist, die eine Computersimulation der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für das 40-GHz-OTDM-Signal, wenn Signallichtleistung +13 dBm ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0035] [Fig. 15](#) eine Grafik ist, die die Abhängigkeit von Signallichtleistung von (a) dem optimalen Betrag von Gesamtdispersion und (b) dem Betrag von Gesamtdispersion, bei der eine 40-GHz-Komponente in einem Minimum ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0036] [Fig. 16](#) ein Diagramm ist, das ein automatisches Dispersionsausgleichssystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0037] [Fig. 17](#) eine Grafik ist, die eine Computersimulation der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für ein 40-GHz-NRZ-Signal, wenn Signallichtleistung 0 dBm ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0038] [Fig. 18](#) eine Grafik ist, die eine Computersimulation der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für ein 40-GHz-NRZ-Signal, wenn Signallichtleistung +5 dBm ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0039] [Fig. 19](#) eine Grafik ist, die eine Computersimulation der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für ein 40-GHz-NRZ-Signal, wenn Signallichtleistung +10 dBm ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0040] [Fig. 20](#) eine Grafik ist, die eine Computersimulation der Abhängigkeit einer 40-GHz-Taktkomponentenintensität von dem Betrag von Gesamtdispersion für ein 40-GHz-NRZ-Signal, wenn Signallichtleistung +13 dBm ist, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0041] [Fig. 21](#) ein Diagramm ist, das einen optischen Sender des automatischen Dispersionsausgleichssystems von [Fig. 16](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0042] [Fig. 22](#) ein Diagramm ist, das einen optischen Empfänger des automatischen Dispersionsausgleichssystems von [Fig. 16](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0043] [Fig. 23](#) ein Diagramm ist, das einen optischen Sender gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0044] [Fig. 24](#) ein Diagramm ist, das einen von Polarisation unabhängigen Demultiplexer (DEMUX) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0045] [Fig. 25](#) ein detailliertes Schaltungsdiagramm eines Abschnitts eines optischen Empfängers gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0046] [Fig. 26](#) ein Diagramm ist, das eine variable Dispersionskompensationseinrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0047] [Fig. 27](#) eine Grafik ist, die Muster A bis D von

Spannungen V_1 bis V_{21} , die an Segmente der variablen Dispersionskompensationseinrichtung von [Fig. 26](#) angelegt werden, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0048] [Fig. 28](#) eine Grafik ist, die Dispersionswerte für die Spannungsmuster A bis D in [Fig. 27](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0049] [Fig. 29](#) ein Diagramm ist, das eine Dispersionsbetragsteuervorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0050] [Fig. 30](#) ein Diagramm ist, das eine Modifikation des automatischen Dispersionsausgleichssystems von [Fig. 16](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0051] [Fig. 31](#) ein Diagramm ist, das eine zusätzliche Modifikation des automatischen Dispersionsausgleichssystems von [Fig. 16](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0052] [Fig. 32](#) ein Diagramm ist, das ein automatisches Dispersionsausgleichssystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0053] [Fig. 33](#) eine Grafik zum Erläutern der Modifikation des automatischen Dispersionsausgleichssystems in [Fig. 32](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0054] [Fig. 34](#) ein Diagramm ist, das eine Modifikation des automatischen Dispersionsausgleichssystems von [Fig. 32](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0055] [Fig. 35](#) ein Diagramm ist, das eine zusätzliche Modifikation des automatischen Dispersionsausgleichssystems von [Fig. 32](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0056] Gemäß einer Ausführungsform kann ein Verfahren oder eine Vorrichtung vorgesehen werden, die (a) einen optimalen Betrag von Gesamtdispersion einer optischen Übertragungsleitung entsprechend einem Leistungspegel eines optischen Signals, das durch die optische Übertragungsleitung übertragen wird, bestimmt; (b) Dispersion der optischen Übertragungsleitung so steuert, dass die Gesamtdispersion bis zu einem spezifischen Punkt entlang der optischen Übertragungsleitung ungefähr Null wird; und

(c) Dispersion der optischen Übertragungsleitung hinzufügt, um den bestimmten optimalen Betrag von Gesamtdispersion zu erhalten. Wenn Dispersion hinzugefügt wird, kann die Dispersion der optischen Übertragungsleitung in einem Punkt hinzugefügt werden, der stromabwärts von dem spezifischen Punkt ist.

[0057] Der Prozess zum Steuern von Dispersion im (b) oben kann auf eine von mehreren unterschiedlichen Arten durchgeführt werden. Als Beispiel kann der Prozess zum Steuern von Dispersion enthalten (i) Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des optischen Signals, wobei das optische Signal eine Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve mit mindestens zwei Spitzen hat; und (ii) Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve des optischen Signals im wesentlichen zu minimieren. Angenommen, dass das optische Signal durch ein Datensignal mit einer Bitrate von B Bits/Sekunde moduliert ist, dann ist die spezifische Frequenzkomponente vorzugsweise eine Komponente von B Hertz des optischen Signals.

[0058] Alternativ kann der Prozess zum Steuern von Dispersion in (b) oben enthalten (i) Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des optischen Signals, wobei das optische Signal eine Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve mit mindestens zwei Spitzen hat; und (ii) Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung so, dass die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in einem Mittelpunkt zwischen den zwei höchsten Spitzen der Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve des optischen Signals ist.

[0059] Ferner kann der Prozess zum Steuern von Dispersion in (b) oben enthalten (i) Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des optischen Signals, wobei das optische Signal eine Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve mit einer entsprechenden Augenöffnung hat; und (ii) Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der optischen Übertragungsleitung, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in der Augenöffnung im wesentlichen zu minimieren.

[0060] Außerdem kann der Prozess zum Steuern von Dispersion in (b) oben enthalten (i) Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des optischen Signals, wobei das optische Signal eine Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve mit einem entsprechenden zulässigen Augenöffnungsbereich hat; und (ii) Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungslei-

tung, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente entlang eines Punktes auf der Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve aufrechtzuerhalten, der innerhalb der Augenöffnung ist.

[0061] Gemäß einer Ausführungsform können ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern von Dispersion in einer optischen Übertragungsleitung mit einem dort durch übertragenen optischen Signal vorgesehen werden. Das Verfahren und die Vorrichtung (a) setzen die Leistung des optischen Signals auf einen ersten Wert, der im wesentlichen keinen nichtlinearen Effekt in der optischen Übertragungsleitung erzeugt; (b) steuern den Betrag der Gesamtdispersion der optischen Übertragungsleitung, um annähernd Null zu sein; (c) ändern die Leistung des optischen Signals zu einem zweiten Wert, der sich von dem ersten Wert unterscheidet; (d) bestimmen einen optimalen Betrag von Gesamtdispersion der optischen Übertragungsleitung entsprechend der Leistung des optischen Signals, was in dem zweiten Wert ist; und (e) fügen Dispersion der optischen Übertragungsleitung hinzu, um den bestimmten optimalen Betrag von Dispersion zu erhalten.

[0062] Gemäß einer Ausführungsform können ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern von Dispersion in einer optischen Übertragungsleitung mit einem optischen Signal, das dort durch übertragen wird, vorgesehen werden. Das Verfahren und die Vorrichtung (a) setzen die Leistung des optischen Signals auf einen Wert, der im wesentlichen keinen nichtlinearen Effekt in der optischen Übertragungsleitung erzeugt; (b) steuern den Betrag von Gesamtdispersion der optischen Übertragungsleitung, annähernd Null zu sein, während die Leistung auf den Wert gesetzt ist; (c) erhöhen die Leistung des optischen Signals; und (d) fügen Dispersion der optischen Übertragungsleitung hinzu, um einen optimalen Betrag von Dispersion entsprechend der erhöhten Leistung des optischen Signals zu erhalten. Der Prozess zum Steuern des Betrags von Gesamtdispersion kann die Form eines beliebigen der oben beschriebenen Prozesse zum Steuern von Dispersion annehmen.

[0063] Es wird nun detailliert Bezug auf die vorliegenden bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung genommen, Beispiele von denen in den begleitenden Zeichnungen veranschaulicht sind, wobei gleiche Bezugszeichen überall auf gleiche Elemente verweisen.

[0064] Aus der obigen Beschreibung des Standes der Technik kann gesehen werden, dass die Implementierung eines optischen Übertragungssystems äußerst hoher Geschwindigkeit bei 40 Gb/s oder höheren Raten den Aufbau eines "automatischen Dispersionskompensationssystems" erfordert, das nicht nur den Betrag von Dispersionskompensation für

jede Repeatersektion beim Start einer Systemoperation optimiert, sondern auch Optimierung des Dispersionskompensationsbetrages gemäß dem sich ändernden Dispersionswert der Übertragungsleitung während einer Systemoperation durchführt. Ein derartiges automatisches Dispersionskompensationssystem wird nicht nur für SMF-Übertragungssysteme, sondern auch für andere Systeme benötigt, die eine Faser mit verschobenem Dispersions-Nulldurchgang (DSF) in 1,55 µm Band mit einem geringen chromatischen Dispersionswert in dieser Wellenlänge verwendet.

[0065] Techniken, die für die Implementierung eines automatischen Dispersionskompensationssystems wesentlich sind, können in den folgenden drei Punkten zusammengefasst werden:

- (i) Realisierung einer variablen Dispersionskompensationseinrichtung;
- (ii) Verfahren zum Überwachen chromatischer Dispersion (oder des Betrags von Gesamtdispersion nach Dispersionskompensation) in einer Übertragungsleitung; und
- (iii) Rückkopplungsoptimierungssterverfahren für die variablen Dispersionskompensationseinrichtung.

[0066] Bezüglich Punkt (ii) wurde traditionell ein Verfahren zum Messen chromatischer Dispersion in einer optischen Faser, ein Impulsverfahren oder ein Phasenverfahren verwendet, das Bereitstellung einer Vielzahl von Lichtstrahlen unterschiedlicher Wellenlängen zu der optischen Faser und Messen von Gruppenverzögerungsdifferenzen oder Phasendifferenzen zwischen den Ausgangsstrahlen einbezieht. Um jedoch die Dispersion unter Verwendung dieser Verfahren während einer Systemoperation beständig zu messen, muss eine Menge von Messeinrichtungen für chromatische Dispersion für jede Repeatersektion bereitgestellt werden. Um den Dispersionsbetrag ohne Unterbrechung der Übertragung von Datensignallicht zu messen, muss ferner Messungslicht einer Wellenlänge, die sich von der des Datensignallichtes unterscheidet, wellenlängenmultiplext werden.

[0067] Eine Einbeziehung des Impulsverfahrens oder des Phasenverfahrens in eine optische Übertragungsvorrichtung ist im Sinne von Größe und Kosten nicht praktisch. Wenn eine Wellenlänge verwendet wird, die sich von der Hauptsignallichtwellenlänge unterscheidet, kann ferner, da der Prozess eine Schätzung des Dispersionswertes in der Signallichtwellenlänge von dem gemessenen Wert in der Messungslichtwellenlänge einbezieht, dem Ergebnis Genauigkeit fehlen. Deshalb ist ein Verfahren wünschenswert, das den chromatischen Dispersionswert direkt aus dem Hauptsignallicht messen kann.

[0068] Ein Verfahren, das diese Messung erreichen

kann, hat der Erfinder der vorliegenden Erfindung in der japanischen ungeprüften Patentveröffentlichung Nr. 9-224056 vorgeschlagen, die hierin durch Verweis einbezogen wird, ein Verfahren, das die Gesamtdispersionsabhängigkeit der Intensität einer 40-GHz-Komponente in dem Basisbandspektrum eines NRZ- (ohne Rückkehr zu Null, non-return-to-zero) Signals und eines OTDM-Signals (später beschrieben) nutzt. Genauer nutzt das Verfahren die Charakteristik, dass wenn der Betrag von Gesamtdispersion Null ist, die Intensität der 40-GHz-Komponente in einem Minimum ist und die Augenöffnung in dieser Zeit die größte ist, und setzt, durch Rückkopplung, den Operationspunkt der variablen Dispersionskompensationseinrichtung zu einem Punkt, wo die Intensität der 40-GHz-Komponente in einem Minimum ist.

[0069] Wie später detaillierter beschrieben wird, stimmt jedoch der Betrag von Gesamtdispersion, worin die Intensität der 40-GHz-Komponente in einem Minimum ist, mit dem Betrag von Gesamtdispersion, worin die Augenöffnung die größte ist, nur in dem Fall einer linearen Übertragung mit einer kleinen Signalleistung überein. Während sich die Signalleistung erhöht, wird ein nichtlinearer Effekt (= Selbstphasenmodulationseffekt: SPM) größer und die Verschiebung zwischen den beiden erhöht sich. Es ist deshalb schwierig, den Dispersionskompensationsbetrag unter Verwendung des obigen Steuerverfahrens zu optimieren. Während sich die Übertragungsgeschwindigkeit erhöht, muss die Übertragungsoptikleistung erhöht werden, um das erforderliche optische SNR und Übertragungs-/Empfangspegeldifferenz aufrechtzuerhalten, was die Übertragung gegenüber dem nichtlinearen Effekt fehleranfälliger macht, und deshalb kann dieses Problem nicht übersehen werden.

[0070] Bezüglich Signalen mit Rückkehr zu Null (RZ, return-to-zero) wird in A. Sano et al., ECOC '96 Technical Digests Tud. 3.5 berichtet, dass die 40-GHz-Komponente in einem Maximum nahe Nullgesamtdispersion ist und sich der Dispersionswert wegen dem nichtlinearen Effekt in dem Maximalpunkt verschiebt.

[0071] [Fig. 1](#) ist ein Diagramm, das Computersimulationsergebnisse der Gesamtdispersionsabhängigkeit von der Intensität einer 40-GHz-Komponente in dem Basisbandspektrum eines OTDM-Signals mit einer Datensignal-Bitrate von 40 GHz veranschaulicht. [Fig. 2](#) ist ein Diagramm, das Computersimulationsergebnisse der Gesamtdispersionsabhängigkeit der Intensität einer 40-GHz-Komponente in dem Basisbandspektrum eines NRZ-Optiksignals mit einer Datensignal-Bitrate von 40 GHz veranschaulicht. [Fig. 3](#) ist ein Diagramm, das Computersimulationsergebnisse der Gesamtdispersionsabhängigkeit der Intensität einer 40-GHz-Komponente in dem Basisbandspekt-

rum eines RZ-Optiksignals (50% Betriebszeit) mit einer Datensignal-Bitrate von 40 GHz veranschaulicht. [Fig. 4](#) ist ein Diagramm, das Computersimulationsergebnisse der Gesamtdispersionsabhängigkeit der Intensität einer 40-GHz-Komponente in dem Basisbandspektrum eines RZ-Optiksignals (25% Betriebszeit) mit einer Datensignal-Bitrate von 40 GHz veranschaulicht.

[0072] [Fig. 1-Fig. 4](#) zeigen auch eine Augenöffnung in der Richtung einer Amplitude. In [Fig. 1-Fig. 4](#) war die Eingangslichtleistung im mittleren -5 dBm und die SMF-Länge war 50 km. Der Betrag von Gesamtdispersion wurde durch Variieren des Betrags von Dispersion in einer DCF variiert, die mit der SMF in Reihe verbunden ist. Um eine Spitze der Augenöffnung gegenüber Gesamtdispersionskurve herum werden Werte der Augenöffnung nahe dem optimalen Wert im wesentlichen konstant gehalten. Diese Bereiche werden zulässige Augenöffnungsbereiche genannt.

[0073] [Fig. 5](#) ist ein Diagramm, das einen optischen Modulator **10** veranschaulicht, der das 40-Gb/s-OTDM-Signal generiert, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bezugnehmend nun auf [Fig. 5](#) sind optische Wellenleiter **14** durch z.B. thermisches Diffundieren von Ti in ein LiNbO_3 -Substrat **12** ausgebildet, worauf ein Elektrodennmuster **16** (in [Fig. 5](#) durch Schraffieren gezeigt) unter Verwendung von z.B. Au ausgebildet ist. Somit enthält der optische Modulator **10** einen Ein-Eingang-, Zwei-Ausgang-Optikschalter **18**, einen Datenmodulator **20** mit zwei unabhängigen optischen Modulatoren, eine Phasensteuervorrichtung **22** und einen optischen Multiplexer **24**.

[0074] [Fig. 6\(A\)](#), [Fig. 6\(B\)](#), [Fig. 6\(C\)](#), [Fig. 6\(D\)](#) und [Fig. 6\(E\)](#) sind Wellenformdiagramme, die die Operation des optischen Modulators **10** gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung anzeigen.

[0075] Bezugnehmend nun auf [Fig. 5](#), [Fig. 6\(A\)](#), [Fig. 6\(B\)](#), [Fig. 6\(C\)](#), [Fig. 6\(D\)](#) und [Fig. 6\(E\)](#) werden, wenn kontinuierliches Licht in die optischen Wellenleiter in dem Ein-Eingang-, Zwei-Ausgang-Optikschalter **18** eingegeben wird, und 20-GHz-Takte, die um 180° in der Phase verschoben sind, an die zwei Elektroden angelegt werden, die um 180° phasenverschobenen optischen Taktsignale, die in [Fig. 6\(A\)](#) und [Fig. 6\(B\)](#) gezeigt werden, von dem optischen Schalter **18** ausgegeben. Diese Signale werden dann in die zwei optischen Modulatoren im Datenmodulator **20** eingegeben. Es wird ein 20-Gb/s-Datensignal an jeden der zwei Lichtmodulatoren angelegt, und die in [Fig. 6\(C\)](#) und [Fig. 6\(D\)](#) gezeigten RZ-Signale werden vom Datenmodulator **20** ausgegeben. Die Phasensteuervorrichtung **22** stimmt die Phasen der Lichtwellen so ab, dass die Phasendifferenz zwischen den zwei Lichtwellen 180° ist, und diese Lichtwellen werden im optischen Multiplexer **24** kombi-

nirt. Da die Phasendifferenz zwischen den zwei Lichtwellen 180° ist, heben in Abschnitten, wo "1"-en aufeinanderfolgend erscheinen, die Enden einander auf, sodass die Wellenform nahe zu der eines RZ-Signals wird, wie in [Fig. 6\(E\)](#) gezeigt wird. In anderen Abschnitten, wo mindestens eines von benachbarten Bits eine "0" ist, wird die Wellenform nahe der eines NRZ-Signals.

[0076] In [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) wird für die RZ-Signale, die durch diese Figuren dargestellt werden, gezeigt, dass die Intensität der 40-GHz-Komponente am größten ist, wenn der Betrag von Gesamtdispersion Null ist.

[0077] Im Gegensatz dazu wird in [Fig. 1](#) für das OTDM-Signal, das durch diese Figur dargestellt wird, gezeigt, dass die Intensität der 40-GHz-Komponente in einem Minimum in der Augenöffnung ist, wenn der Gesamtdispersionsbetrag Null ist. Ähnlich wird in [Fig. 2](#) für das NRZ-Signal, das durch die Figur dargestellt wird, gezeigt, dass die Intensität der 40-GHz-Komponente in einem Minimum in der Augenöffnung ist, wenn der Gesamtdispersionsbetrag Null ist.

[0078] Für Verweiszwecke werden die Basisbandspektra von optischen modulierten Signalen in [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) für OTDM bzw. NRZ gezeigt. In dem Fall von NRZ gibt es keine 40-GHz-Komponente, aus einer qualitativen Sicht wird jedoch unterstellt, dass die 40-GHz-Komponente wegen der Spektrumsspreizung nach chromatischer Dispersion auftritt.

[0079] Wellenformen (ausgeglichene Wellenformen), nachdem sie Dispersionen von -40 , 0 und $+40$ ps/nm unterzogen sind, werden in [Fig. 9\(A\)](#), [Fig. 9\(B\)](#) bzw. [Fig. 9\(C\)](#) für OTDM gezeigt. Ähnlich werden Wellenformen (ausgeglichene Wellenformen), nachdem sie Dispersionen von -40 , 0 und $+40$ ps/nm unterzogen sind, in [Fig. 10\(A\)](#), [Fig. 10\(B\)](#) bzw. [Fig. 10\(C\)](#) für NRZ gezeigt. Wie für sowohl OTDM als auch NRZ gezeigt wird, steigt nach Dispersion (positiv und negativ) der Pegel von "1" in der Mitte der Wellenform an, aber die Kreuzungspunkte senken sich ab, woraus gesehen werden kann, dass die Variation von Intensität mit einem Zyklus gleich der Länge von einem Zeitschlitz auftritt, wobei somit die 40-GHz-Komponente geschaffen wird.

[0080] Bezüglich Punkt (i) (Realisierung einer variablen Dispersionskompensationseinrichtung) oben folgt, dass wenn ein optisches Signal übertragen wird, dessen Bitrate allgemein durch B b/s dargestellt wird und dessen B-Hertz-Komponente bei Nulldispersion in einem Minimum ist, der Betrag von Gesamtdispersion auf Null gesetzt werden kann, falls der Steuerpunkt, wo die B-Hertz-Komponente des empfangenen optischen Signals in der Augenöffnung in einem Minimum ist, um durch Variieren der Steuer-

punkte einer variablen Dispersioneinrichtung erfasst werden kann, wie etwa der Betrag von Dispersionskompensation und die Signallichtwellenlänge. Neben der B-Hertz-Komponente können andere Frequenzkomponenten, wie etwa eine Oberwelle der B-Hertz-Komponente, verwendet werden, um eine ähnliche Steuerung durchzuführen.

[0081] Wie aus [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) offensichtlich ist, gibt es ferner zwei Maximalpunkte, oder höchste Spitzen, in symmetrischen Positionen auf beiden Seiten eines Minimalpunktes in jeder der OTDM- und NRZ-Wellenformen. In Fällen, wo es schwierig ist, einen Minimalpunkt zu erfassen, kann deshalb der Betrag von Gesamtdispersion durch Erfassen der Steuerpunkte der variablen Dispersionskompensationseinrichtung, die die zwei Maximalpunkte vorsehen, und durch Nehmen des Mittelpunktes zwischen ihnen auf Null gesetzt werden.

[0082] In dem Fall eines OTDM-Signals, das durch ein Datensignal von $n \cdot m$ bit/s moduliert wird, das durch Zeitmultiplexen von n RZ-Signalen erhalten wird, jedes durch ein Signal von m bit/s nach der Amplitude moduliert, kann eine m Hertz-Komponente extrahiert werden und die Gesamtdispersion der Übertragungsleitung kann so gesteuert werden, dass die m Hertz-Komponente zu einem Maximum kommt. Eine derartige Steuerung kann an Stelle einer Extraktion einer $n \cdot m$ Hertz-Komponente und einer Steuerung der Gesamtdispersion der Übertragungsleitung, sodass die $n \cdot m$ Hertz-Komponente zu einem Minimum kommt, durchgeführt werden, wie oben beschrieben wird. Der Grund dafür besteht darin, dass die m Bit/s-RZ-Signale, die das OTDM-Signal bilden, jedes eine m Hertz-Komponente enthalten, und wie aus [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gesehen werden kann, diese Komponente in einem Maximum ist, wenn der Betrag von Gesamtdispersion Null ist. Genauer wird in diesem Fall die $n \cdot m$ Hertz-Komponente oder die m Hertz-Komponente extrahiert, und der Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung wird so gesteuert, dass die $n \cdot m$ Hertz-Komponente oder die m Hertz-Komponente zu einem Minimum bzw. einem Maximum kommt.

[0083] Gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung und wie nachstehend detaillierter gesehen wird, sieht die vorliegende Erfindung deshalb ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern von Dispersion in einer Übertragungsleitung vor. Genauer wird die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente eines optischen Signals, das durch die Übertragungsleitung übertragen wird, erfasst. Das optische Signal hat eine Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve mit einer entsprechenden Augenöffnung. Siehe z.B. [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#). Der Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung wird gesteuert, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in der Augenöffnung im

wesentlichen zu minimieren. Als ein Ergebnis wird, wie z.B. in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) veranschaulicht wird, die Dispersion durch Minimieren der Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in der Augenöffnung minimiert.

[0084] In der tatsächlichen Praxis ist es sehr schwierig, die Augenöffnung zu messen, sodass es schwierig wäre zu bestimmen, ob die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente in der Augenöffnung tatsächlich minimiert war. Als ein Ergebnis kann es schwierig sein, die erforderliche Steuerung zu erreichen.

[0085] Bezug nehmend z.B. auf [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) kann deshalb ein optisches Signal, wie etwa ein OTDM- oder ein NRZ-Signal beschrieben werden, als eine Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve mit mindestens zwei Spitzen aufzuweisen. Der Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung kann dann gesteuert werden, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve im wesentlichen zu minimieren, wie z.B. in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) veranschaulicht wird.

[0086] [Fig. 11](#) bis [Fig. 14](#) sind Grafiken, die als Simulationsergebnisse die Beziehung zwischen der 40-GHz-Komponente und der Augenöffnung gezeichnet gegenüber dem Betrag von Gesamtdispersion (nach Dispersionskompensation) veranschaulichen, wenn die Übertragungsoptikleistung 0, +5, +10 bzw. +13 dBm in einer SMF-Übertragung von 50 km eines 40-Gb/s-OTDM-Signals ist.

[0087] Wie aus [Fig. 1](#) und [Fig. 11](#) bis [Fig. 14](#) gesehen werden kann, stimmt der Betrag von Gesamtdispersion, worin die Intensität der 40-GHz-Komponente in einem Minimum ist, mit dem Betrag von Gesamtdispersion, worin die Augenöffnung die größte ist, nur in dem Fall einer linearen Übertragung mit einer kleinen Signallichtleistung (-5 dBm) überein. Während sich die Signallichtleistung erhöht, wird der nichtlineare Effekt größer und die Verschiebung zwischen den beiden erhöht sich, sodass es schwierig ist, den Dispersionskompensationsbetrag unter Verwendung des obigen Steuerverfahrens zu optimieren.

[0088] [Fig. 15](#) ist eine Grafik, die den Betrag von Gesamtdispersion, worin die Augenöffnung die größte ist, und den Betrag von Gesamtdispersion, worin die 40-GHz-Komponente in einem Minimum ist, als eine Funktion der Übertragungsoptikleistung in der SMF-Übertragung von 50 km des 40-Gb/s-OTDM-Signals veranschaulicht. Wie in [Fig. 15](#) gezeigt wird, hängt der Betrag von Gesamtdispersion, worin die 40-GHz-Komponente in einem Minimum ist, nicht von der Übertragungsoptikleistung ab, sondern wird in 0 ps/nm konstant gehalten, wohingegen sich der

Betrag von Gesamtdispersion, worin die Augenöffnung die größte ist, in der positiven Dispersionsseite erhöht, während sich die Übertragungsoptikleistung erhöht.

[0089] [Fig. 16](#) ist ein Diagramm, das ein automatisches Dispersionsausgleichssystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Bezug nehmend nun auf [Fig. 16](#) wird ein 40-Gb/s-OTDM-Signal von einem optischen Sender **30** durch eine optische Übertragungsleitung (SMF) **32** übertragen und wird in einen optischen Empfänger **36** über variable Dispersionskompensationseinrichtungen **34** und **35** eingegeben. Ein Anteil des optischen Signals, das in den optischen Empfänger **36** eingegeben wird, wird durch einen optischen Koppler **38** getrennt, der zwischen den variablen Dispersionskompensationseinrichtungen **34** und **35** platziert ist, und durch einen Fotodetektor **40** in ein elektrisches Signal konvertiert. Von dem Ausgang vom Fotodetektor **40** wird eine 40-GHz-Komponente durch ein Bandpassfilter **42** extrahiert, dessen Mittelfrequenz 40 GHz ist, und die Intensität dieser Komponente wird durch einen Intensitätsdetektor **44** erfasst. Eine Kompensationsbetragssteuervorrichtung **46** steuert den Kompensationsbetrag in der variablen Dispersionskompensationseinrichtung **34** in einer Richtung, die die 40-GHz-Komponente für ein RZ-Signal zu einem Maximum bringt, oder in einer Richtung, die die 40-GHz-Komponente für eine OTDM- oder eine NRZ-Wellenform zu einem Minimum bringt. In dem Fall eines OTDM-Signals, das zwei 20-Gb/s-RZ-Signale multiplext, kann die 20-GHz-Komponente zu einem Maximum gebracht werden, anstatt die 40-GHz-Komponente zu einem Minimum zu bringen.

[0090] Eine Kompensationsbetragssteuervorrichtung **47** erfasst optische Signalleistung durch Verwenden eines optischen Ausgangsleistungsüberwachungssignals oder eines Steuersignals für automatische Pegelsteuerung (ALC, automatic level control), die sich gewöhnlich in einem optischen Nachverstärker **31** in dem Übertragungsende befindet, und bestimmt in dem Fall eines OTDM-Signals den Betrag einer Verschiebung, die durch den nichtlinearen Effekt verursacht wird, durch Verweisen auf die Beziehung, die in [Fig. 15](#) gezeigt wird, und stellt ihn in der variablen Dispersionskompensationseinrichtung **35** ein. Dadurch wird ein optimaler Dispersionsbetrag, der für die optische Leistung in dieser Zeit geeignet ist, dem optischen Signal hinzugefügt, das durch die variable Dispersionskompensationseinrichtung **34** zu Nulldispersion gesteuert wird, bevor das optische Signal in den optischen Empfänger **36** eingegeben wird. Für eine Erfassung der optischen Signalleistung kann ein Anteil der Ausgabe vom optischen Nachverstärker **31** für eine Erfassung durch eine Fotodiode getrennt werden.

[0091] Deshalb bezieht sich gemäß Ausführungs-

formen der vorliegenden Erfindung, wie z.B. in [Fig. 16](#) veranschaulicht, die vorliegende Erfindung auf ein Verfahren und eine Vorrichtung, die (a) einen optimalen Betrag von Gesamtdispersion einer optischen Übertragungsleitung entsprechend einem Leistungspegel eines optischen Signals bestimmen, das durch die optische Übertragungsleitung übertragen wird; (b) steuern Dispersion der optischen Übertragungsleitung so, dass die Gesamtdispersion bis zu einem spezifischen Punkt entlang der optischen Übertragungsleitung ungefähr Null wird; und (c) fügen Dispersion der optischen Übertragungsleitung hinzu, um den bestimmten optimalen Betrag von Gesamtdispersion zu erhalten. Wenn Dispersion hinzugefügt wird, kann die Dispersion der optischen Übertragungsleitung in einem Punkt hinzugefügt werden, der stromabwärts von dem spezifischen Punkt ist.

[0092] [Fig. 17](#) bis [Fig. 20](#) sind Grafiken, die für ein NRZ-Signal, als Simulationsergebnisse, die Beziehung zwischen der 40-GHz-Komponente und der Augenöffnung, gezeichnet gegenüber dem Betrag von Gesamtdispersion (nach Dispersionskompensation), wenn die Übertragungsoptikleistung 0, +5, +10 bzw. +13 ist, in einer SMF-Übertragung von 50 km eines 40-Gb/s-NRZ-Signals veranschaulichen. Wie aus [Fig. 2](#) und [Fig. 17](#) bis [Fig. 20](#) gesehen werden kann, erhöht sich der Betrag von Gesamtdispersion, worin die Augenöffnung die größte ist, in der positiven Dispersionsseite, während sich die Übertragungsoptikleistung erhöht. Diese Charakteristik ist die gleiche wie die für das OTDM-Signal.

[0093] Der Weg, auf dem sich die Intensität der 40-GHz-Komponente in Bezug auf den Betrag von Gesamtdispersion ändert, unterscheidet sich jedoch von dem Fall des OTDM-Signals. Genauer ist in dem OTDM-Signal die 40-GHz-Komponente stets in einem Minimum, wenn der Betrag von Gesamtdispersion Null ist, ungeachtet der Übertragungsoptikleistung. Andererseits ist in dem NRZ-Signal die 40-GHz-Komponente in einem Minimum (= 0), wenn der Betrag von Gesamtdispersion in dem Fall einer linearen Übertragung Null ist, aber die 40-GHz-Komponente bei Nullgesamtdispersion erhöht sich, während sich die Übertragungsoptikleistung erhöht. Als ein Ergebnis kann anders als in dem Fall des OTDM-Signals die variable Dispersionskompensationseinrichtung **34** nicht auf eine derartige Art und Weise gesteuert werden, um die 40-GHz-Komponente bei Nullgesamtdispersion zu einem Minimum zu bringen. In dem Fall des 40-Gb/s-NRZ-Signals kann jedoch, da Maxima bei +60 ps/nm und -60 ps/nm ungeachtet der Übertragungsleistung erreicht werden, die variable Dispersionskompensationseinrichtung **34** gesteuert werden, den Betrag von Gesamtdispersion zu Null zu bringen, indem der Mittelpunkt zwischen den zwei Maxima bestimmt wird. Die variable Dispersionskompensationseinrichtung **35** wird andererseits in Übereinstimmung mit der Übertragungsop-

tleistung auf die gleiche Art und Weise wie für das OTDM-Signal gesteuert.

[0094] Spezifische Beispiele eines optischen Senders **30** und eines optischen Empfängers **36** von [Fig. 16](#) werden in [Fig. 21](#) bzw. [Fig. 22](#) gezeigt. Im optischen Sender **30** von [Fig. 21](#) wird der OTDM-Modulator **10**, der in [Fig. 5](#) gezeigt wird, als der optische Modulator zum Generieren eines optischen Signals verwendet. In [Fig. 21](#) wird der OTDM-Modulator **10** von [Fig. 5](#) funktional unter Verwendung der gleichen Bezugszeichen veranschaulicht, die die gleichen Elemente wie jene bezeichnen, die in [Fig. 5](#) gezeigt werden.

[0095] In [Fig. 21](#) werden zwei 10-Gb/s-Datensignale, die parallel eingegeben werden, durch einen Parallel-/Seriiell-Wandler **70** konvertiert, um ein 20-Gb/s-NRZ-Signal zu erhalten. Dieses 20-Gb/s-NRZ-Signal wird zu einem Treiber **72** eingegeben, um ein 20-Gb/s-Ansteuersignal zum Ansteuern eines optischen Modulators **20** zu erhalten. Die Ausgabe (20-Gb/s-RZ-Optiksignal) von jedem optischen Modulator **20** wird durch eine Phasenabstimmungseinrichtung **22** in der Phase abgestimmt (die Phase wird so verschoben, dass die Phasendifferenz des Lichtes 180° wird), wonach die so abgestimmten Signale durch einen optischen Multiplexer **24** (optischer Koppler) zusammen kombiniert werden, um ein 40-Gb/s-Optiksignal vom NRZ-Format zu erhalten, welches dann auf einer Übertragungsleitung über einen optischen Nachverstärker **74** ausgesendet wird. Ein detailliertes Schaltungsdiagramm eines derartigen optischen Senders wird in [Fig. 23](#) gezeigt.

[0096] In dem optischen Empfänger von [Fig. 22](#) wird das 40-Gb/s-Optiksignal in einen optischen DEMUX **78** über einen optischen Vorverstärker **33**, eine variable Dispersionskompensationseinrichtung **34**, einen Strahlensplitter **38** und eine variable Dispersionskompensationseinrichtung **35** eingegeben.

[0097] [Fig. 24](#) ist ein Diagramm, das den polarisationsunabhängigen optischen DEMUX **78** veranschaulicht. Polarisationsunabhängigkeit wird vorzugsweise für den optischen DEMUX verwendet, der in dem empfangenden Ende platziert ist. Für diesen Zweck wird das 40-Gb/s-OTDM-Signal, das nach Übertragung durch die Faser eingegeben wird, gemäß Polarisation, zuerst in TE- und TM-Komponenten durch einen Kreuzwellenleiter-Polarisationssplitter **80** in der ersten Stufe gesplittet. Hier ist die Kreuzungslänge so optimiert, dass ein Polarisationslöschungsverhältnis von 20 dB oder mehr erhalten werden kann. Als Nächstes wird unter Verwendung eines 1 × 2-Schalters **84**, der durch ein 20-GHz-Sinussignal angesteuert wird, jeder Modus in 20-Gb/s-Optik-RZ-Signalen optisch zeitdemultiplext. Zu dieser Zeit sind die zwei Ausgänge von jedem 1 × 2-Schalter in einer komplementären Beziehung zueinander. All-

gemein ist jedoch in einem LN-Schalter (Modulator) Modulationseffizienz für den TM-Modus größer als für den TE-Modus. Deshalb wird in der veranschaulichten Einrichtung das TM-Moduslicht nach Polarisationsplatten durch eine Halbwellenplatte **82** in TM-Moduslicht konvertiert, das dann optischen Demultiplexen unterzogen wird. In der letzten Stufe werden die gleichen Bitsequenzen unter Verwendung von zwei Polarisationsstrahlenkombinationseinrichtungen zusammen kombiniert. Falls die Strahlen des gleichen TM-Modus zusammen kombiniert würden, würde hier Strahleninterferenz auftreten, wie in dem Fall des zuvor beschriebenen OTDM-Modulators. Deshalb folgt dem 1×2 -Schalter **84**, wo die TE-/TM-Moduskonvertierung nicht durchgeführt wird, eine Halbwellenplatte **88**, die TM-/TE-Moduskonvertierung durchführt, und danach werden die Leistungen der Kreuzpolarisationskomponenten kombiniert.

[0098] Bezug nehmend erneut auf [Fig. 22](#) werden die zwei optischen RZ-Signale von 20-Gb/s, die vom optischen DEMUX **78** erhalten werden, jedes zu einer Fotodiode **90** für eine Konvertierung in ein elektrisches Signal eingegeben, welches dann durch einen Vorverstärker **92** verstärkt und durch einen Ausgangsverstärker **94** wellengeformt wird. Das wellengeformte Signal wird dann durch einen Seriell-/Parallel-Wandler **96** in das ursprüngliche 10-Gb/s-NRZ-Signal rekonstruiert. Danach werden die Daten durch einen 10-Gb/s-Diskriminator (nicht veranschaulicht) reproduziert. Ein detailliertes Schaltungsdiagramm vom optischen Empfänger **36**, bis zu der optischen Demultiplexsektion, wird in [Fig. 25](#) veranschaulicht.

[0099] Als Nächstes wird ein Beispiel von variablen Dispersionskompensationseinrichtungen **34** und **35** beschrieben. Siehe M. M. Ohn et al., "Tunable fiber grating dispersion using a piezoelectric stack, OFC '97 Technical Digest, WJ3, S. 155–156, was hierin durch Verweis einbezogen wird.

[0100] Genauer ist [Fig. 26](#) ein Diagramm, das eine variable Dispersionskompensationseinrichtung, wie etwa entweder die variable Dispersionskompensationseinrichtung **34** oder **35**, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. [Fig. 27](#) ist eine Grafik, die Muster A bis D von Spannungen V_1 bis V_{21} , die an Segmente der variablen Dispersionskompensationseinrichtung von [Fig. 26](#) angelegt werden, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. [Fig. 28](#) ist eine Grafik, die Dispersionswerte für die Spannungsmuster A bis D in [Fig. 27](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

[0101] Wie in [Fig. 26](#) gezeigt, ist ein piezoelektrisches Element **92** an jedem von einundzwanzig Segmenten eines gezirpten Fasergitters **90** angebracht.

Wenn Spannungen V_1 bis V_{21} mit einem Gradienten, wie in [Fig. 27](#) gezeigt, an die piezoelektrischen Elemente angelegt werden, ändert sich der Druck, der in der Längsrichtung vom Gitter **90** angelegt wird, und für die Spannungsmuster A bis D, die in [Fig. 27](#) gezeigt werden, ändern sich die Dispersionswerte (Neigungen der Linien), wie in [Fig. 28](#) gezeigt. Hier können durch Anlegen von Zwischenspannungsmustern zwischen den Spannungsmustern A bis D die Dispersionswerte kontinuierlich geändert werden.

[0102] [Fig. 29](#) ist ein Diagramm, das ein Beispiel von Kompensationsbetragssteuervorrichtung **46** gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Bezug nehmend nun auf [Fig. 29](#) wird der Intensitätswert der 40-Gb/s-Frequenzkomponente durch einen A/D-Wandler **94** A/D-konvertiert und als ein digitales Signal in eine MPU **96** eingegeben. Die MPU **96** vergleicht den vorliegenden Intensitätswert I_c mit dem zuvor empfangenen Intensitätswert I_p , der in einem Speicher **98** gespeichert ist, und prüft um zu bestimmen, ob die Beziehung zwischen dem vorliegenden Dispersionsbetrag und der Intensität der 40 Gb/s auf der X-Neigung oder der Y-Neigung in [Fig. 2](#) ist. D.h. wenn sie auf der X-Neigung ist, wird der Betrag von Dispersion zu Null tendieren (Z-Punkt), falls der Dispersionsbetrag der variablen Dispersionskompensationseinrichtung **34** reduziert wird. Wenn sie auf der Y-Neigung ist, wird der Betrag von Dispersion zu Null tendieren, falls der Dispersionsbetrag der variablen Dispersionskompensationseinrichtung **34** erhöht wird. Wenn $I_c > I_p$ ist, wird deshalb angenommen, dass die Beziehung auf der X-Neigung ist, und um die Spannungen zu steuern, die an die variable Dispersionskompensationseinrichtung **34** angelegt werden, werden derartige Werte von V_1 bis V_{21} , die veranlassen, dass sich der Dispersionsbetrag verringert, erhalten, und die Spannungen, die an die jeweiligen piezoelektrischen Elemente anzulegen sind, werden jede über einen D/A-Wandler **100** mit einer Verriegelung ausgegeben.

[0103] Wenn umgekehrt $I_c < I_p$ ist, wird angenommen, dass die Beziehung auf der Y-Neigung ist, und es werden derartige Werte von V_1 bis V_{21} , die veranlassen, dass sich der Dispersionsbetrag erhöht, erhalten, um die Spannungen zu steuern, die an die variable Dispersionskompensationseinrichtung **34** angelegt werden.

[0104] Um die Werte von V_1 bis V_{21} zu erhalten, werden hier die Daten, die in [Fig. 27](#) und [Fig. 28](#) gezeigt werden (die Daten, die die Beziehung zwischen dem Dispersionsbetrag und den V_1 bis V_{21} darstellen), und die Daten, die in [Fig. 2](#) gezeigt werden (die Daten, die die Beziehung zwischen der Intensität der 40-GHz-Komponente und dem Betrag von Gesamtdispersion darstellen), im voraus in einem Speicher gespeichert. Es wird dann bestimmt, ob die Bezie-

hung auf der X-Neigung oder der Y-Neigung in [Fig. 2](#) ist, und der vorliegende Dispersionsbetrag I_c wird aus den Daten erhalten, die in [Fig. 2](#) gezeigt werden. Als Nächstes wird ein Dispersionsbetrag I_c' , der für Kompensation in der variablen Dispersionskompensationseinrichtung [34](#) notwendig ist, um den Betrag von Dispersion zu Null im Z-Punkt zu reduzieren, aus dem vorliegenden Dispersionsbetrag I_c bestimmt. D.h. I_c' wird so bestimmt, dass $I_c + I_c' = 0$ ist.

[0105] Sobald I_c' auf diese Weise bestimmt ist, werden die V_1 bis V_{21} , die an die variable Dispersionskompensationseinrichtung [34](#) anzulegen sind, um I_c' zu erhalten, basierend auf den Daten bestimmt, die in [Fig. 27](#) und [Fig. 28](#) gezeigt werden.

[0106] Bezug nehmend nun auf [Fig. 16](#) hält die Kompensationsbetragssteuervorrichtung [47](#) darin die Daten betreffend die Beziehung zwischen dem optischen Signal und dem optimalen Gesamtdispersionsbetrag, der in [Fig. 15](#) gezeigt wird, ebenso wie die Beziehung zwischen den Spannungsmustern, die an die variable Dispersionskompensationseinrichtung anzulegen sind, und den Dispersionswerten. Aus dem Wert der optischen Signalleistung in dem Ausgang des optischen Nachverstärkers [31](#) bestimmt die Kompensationsbetragssteuervorrichtung [47](#) zuerst den Wert des optimalen Gesamtdispersionsbetrags in dieser Zeit und bestimmt dann die entsprechenden Spannungen V_1 bis V_{21} , die an die variable Dispersionskompensationseinrichtung [35](#) angelegt werden.

[0107] [Fig. 30](#) ist ein Diagramm, das eine Modifikation des automatischen Dispersionsausgleichssystems von [Fig. 16](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Bezug nehmend nun auf [Fig. 30](#) wird die variable Dispersionskompensationseinrichtung [34](#) in dem System von [Fig. 16](#) durch eine Lichtquelle variabler Wellenlänge [48](#) ersetzt, die in dem optischen Sender [30](#) vorgesehen ist, und der Betrag chromatischer Dispersion der optischen Übertragungsleitung [32](#) wird durch Steuern der Signallichtwellenlänge durch eine Signallichtwellenlängen-Steuervorrichtung [50](#) gesteuert.

[0108] [Fig. 31](#) ist ein Diagramm, das eine andere Modifikation des automatischen Dispersionsausgleichssystems von [Fig. 16](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Bezug nehmend nun auf [Fig. 31](#) wird ein Steuersignal oder ein Überwachungssignal vom optischen Vorverstärker [33](#) in dem empfangenden Ende, nicht vom optischen Nachverstärker [31](#) in dem übertragenden Ende, als das Signal für Optiksignalleistungserfassung verwendet. In anderer Hinsicht ist die Konfiguration die gleiche wie die des in [Fig. 16](#) gezeigten Systems. In dem System von [Fig. 31](#) kann an Stelle einer Steuerung der variablen Dispersionskompensationseinrichtung [34](#) Signallichtwellenlänge unter Verwendung einer Lichtquelle variabler Wellen-

länge [48](#) wie in dem System von [Fig. 30](#) gesteuert werden.

[0109] [Fig. 32](#) ist ein Diagramm, das ein automatisches Dispersionsausgleichssystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Bezug nehmend nun auf [Fig. 32](#) wird die Signallichtleistung zuerst auf einen ausreichend geringen Wert bei Systeminbetriebnahme gesetzt, so dass der nichtlineare Effekt nicht auftritt, und unter dieser Bedingung wird der Betrag von Gesamtdispersion durch die Schleife, die durch Fotodetektor [40](#), Bandpassfilter [42](#), Intensitätsdetektor [44](#), Kompensationsbetragssteuervorrichtung [46](#) und die variable Dispersionskompensationseinrichtung [34](#) gebildet wird, auf Null gesteuert.

[0110] Während einer Systemoperation bestimmt die Kompensationsbetragssteuervorrichtung [47](#) aus der Größe der optischen Leistung den Betrag einer Verschiebung in dem optimalen Dispersionswert, die durch den nichtlinearen Effekt verursacht wird, und variiert den Dispersionswert in der variablen Dispersionskompensationseinrichtung [34](#) um den gleichen Betrag.

[0111] [Fig. 33](#) ist eine Grafik zum Erläutern der Modifikation des automatischen Dispersionsausgleichssystems in [Fig. 32](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Genauer wird die in [Fig. 14](#) gezeigte Beziehung in [Fig. 33](#) neu gezeichnet.

[0112] Wie aus [Fig. 33](#) gesehen werden kann, wird, wenn der Betrag von Gesamtdispersion auf innerhalb eines gewissen Bereiches begrenzt ist, der Betrag von Gesamtdispersion aus der 40-GHz-Intensität eindeutig bestimmt. Deshalb kann in [Fig. 32](#), nachdem der Betrag von Gesamtdispersion bei Systeminbetriebnahme auf Null gesetzt ist, eine Steuerung durchgeführt werden, um die 40-GHz-Intensität zu einem Wert entsprechend dem optimalen Wert zu bringen, um den Betrag von Gesamtdispersion auf den optimalen Wert zu setzen, der aus der Signallichtleistung während einer Systemoperation bestimmt wird. Wenn z.B. die Signallichtleistung +13 dBm ist, ist der optimale Gesamtdispersionsbetrag 40 ps/nm aus der in [Fig. 15](#) gezeigten Beziehung. Deshalb wird eine Steuerung durchgeführt, um die 40-GHz-Intensität zu dem Wert in Punkt A in [Fig. 33](#) zu bringen.

[0113] [Fig. 34](#) ist ein Diagramm, das eine Modifikation des automatischen Dispersionsausgleichssystems von [Fig. 32](#) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Bezug nehmend nun auf [Fig. 34](#) wird eine Steuerung des Dispersionsbetrags bei Systeminbetriebnahme unter Verwendung der variablen Dispersionskompensationseinrichtung [34](#) durchgeführt, und eine Steuerung während einer Systemoperation wird unter Verwen-

derung der variablen Dispersionskompensationseinrichtung **35** durchgeführt.

[0114] In diesem Fall kann die variable Dispersionskompensationseinrichtung **35** in dem übertragenden Ende platziert sein, wie in [Fig. 35](#) gezeigt wird. Da die variable Dispersionskompensationseinrichtung **35** nahe dem optischen Nachverstärker **31** platziert sein kann, gibt es in dieser Ausführungsform keine Notwendigkeit, Fernsteuerung über die Übertragungsleitung durchzuführen, und die Systemoperation kann somit vereinfacht werden.

[0115] In den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind die variablen Dispersionskompensationseinrichtungen in den empfangenden und übertragenden Enden in einem regenerativen Repeatersystem platziert, es wird aber erkannt, dass in einem nicht-regenerativen optischen Verstärkerrepeatersystem eine ähnliche Steuerung auch in einer Konfiguration durchgeführt werden kann, worin eine variable Dispersionskompensationseinrichtung auch innerhalb eines optischen Verstärker-Repeaters platziert ist.

[0116] Gemäß den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist es möglich, den Betrag von Dispersionskompensation gemäß der Übertragungsoptikleistung in einem optischen Übertragungssystem äußerst hoher Geschwindigkeit unter Verwendung variabler Dispersionskompensationseinrichtungen zu optimieren.

[0117] Deshalb werden gemäß den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern von Dispersion in einer Optikkfaserübertragungsleitung vorgesehen. Genauer wird die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente eines optischen Signals erfasst, das durch die Übertragungsleitung übertragen wird. Das optische Signal hat eine Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve mit einer entsprechenden Augenöffnung. Der Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung wird gesteuert, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in der Augenöffnung im wesentlichen zu minimieren. Als ein Ergebnis wird die Gesamtdispersion minimiert, wie z.B. durch [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) angezeigt.

[0118] Gemäß den obigen Ausführungsform an der vorliegenden Erfindung können verschiedene Typen von optischen Signalen, wie sie durch eine Übertragungsleitung übertragen werden, beschrieben werden, eine Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve mit mindestens zwei Spitzen aufzuweisen. Der Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung kann dann gesteuert werden, die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Intensität

gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve im wesentlichen zu minimieren, wie z.B. in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) veranschaulicht wird.

[0119] Während es wünschenswert ist, die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in der Augenöffnung zu minimieren, kann es unter einigen Umständen angemessen sein, die Intensität einfach zu veranlassen, innerhalb der Augenöffnung zu sein. In einigen Systemen würde die Gesamtdispersion entsprechend der Intensität, die innerhalb der Augenöffnung ist, betrachtet werden, relativ gering zu sein. Bezug nehmend auf [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) kann die Gesamtdispersion deshalb gesteuert werden, einfach die Intensität entlang eines Punktes auf der Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve, die innerhalb der Augenöffnung ist, zu erhalten.

[0120] Gemäß den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird deshalb die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente eines optischen Signals, das durch die Übertragungsleitung übertragen wird, erfasst. Das optische Signal hat eine Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve mit einem entsprechenden zulässigen Augenöffnungsbereich. Der Betrag von Dispersion der Übertragungsleitung wird gesteuert, die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente entlang eines Punktes auf der Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve aufrechtzuerhalten, der innerhalb der Augenöffnung ist.

[0121] An Stelle einer Steuerung der Dispersion, um die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente zu steuern, kann ferner die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente einfach direkt gesteuert werden. Z.B. kann die Intensität gesteuert werden, die erfasste Intensität in der Augenöffnung im wesentlichen zu minimieren.

[0122] Wie zuvor beschrieben, ist es außerdem häufig schwierig, die Augenöffnung zu messen. Deshalb kann die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente gesteuert werden, die erfasste Intensität zwischen den zwei höchsten Spitzen der Intensität gegenüber Gesamtdispersions-Kennlinienkurve im wesentlichen zu minimieren.

[0123] Gemäß den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird es möglich, Übertragungsleitungsdispersion für optische Signale, wie etwa NRZ- und OTDM-Wellenformen, zu überwachen und zu steuern, deren Taktkomponente bei Nulldispersion in einem Minimum ist, und die Übertragungsleitungsdispersion kann ohne Unterbrechung einer Systemoperation gesteuert werden.

[0124] Deshalb wird gemäß den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung Übertragungsleitungsdispersion für ein optisches Signal ge-

steuert, dessen Taktkomponentenintensität bei Null-dispersion nicht am größten wird, wie in einem NRZ-Signal oder in einem OTDM-Signal, wo eine Vielzahl von RZ-Signalen zeitmultiplext werden, wobei ihre Enden einander überlappen.

[0125] Gemäß den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird deshalb chromatische Dispersion in einer Übertragungsleitung gesteuert, die ein optisches Signal überträgt, das durch ein Datensignal moduliert ist. Genauer wird die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente aus dem optischen Signal erfasst, das durch die Übertragungsleitung übertragen wird. Der Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung wird so gesteuert, dass die Intensität der erfassten spezifischen Frequenzkomponente in der Augenöffnung ein Minimum wird.

[0126] Gemäß den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden außerdem eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Erfassen eines Betrags von Dispersion in einer Übertragungsleitung vorgesehen, die ein optisches Signal überträgt, das durch ein Datensignal moduliert ist. Genauer wird die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente aus dem optischen Signal erfasst, das durch die Übertragungsleitung übertragen wird. Der Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung wird aus der Intensität der erfassten spezifischen Frequenzkomponente bestimmt.

[0127] Gemäß den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird ein zeitmultiplextes optisches Signal, das durch ein $n \cdot m$ Bit/Sekunde-Datensignal moduliert ist, das durch Zeitmultiplexen von n optischen Signalen, jedes durch ein m Bit/Sekunde-Datensignal in der Amplitude moduliert, erhalten wird, durch die Optikkfaserübertragungsleitung übertragen. Es wird eine $n \cdot m$ Hertz- oder eine m Hertz-Frequenzkomponente aus dem zeitmultiplexten optischen Signal extrahiert, das von der Optikkfaserübertragungsleitung empfangen wird. Dispersion in der Optikkfaserübertragungsleitung wird variabel gemacht, sodass die extrahierte $n \cdot m$ Hertz- oder m Hertz-Frequenzkomponente jeweils einen Minimalwert oder einen Maximalwert aufweist.

[0128] Gemäß den obigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente im wesentlichen minimiert. Es ist wünschenswert, die Intensität in dem tatsächlichen Minimalwert zu setzen. In der Praxis ist es jedoch häufig schwierig, die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente vollständig zu minimieren. Deshalb könnte in den meisten Situationen die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente betrachtet werden, im wesentlichen minimiert zu sein, falls sie größer oder gleich der minimalen Intensität und kleiner oder gleich 120% der minimalen In-

tensität ist. Vorzugsweise sollte die Intensität gesteuert werden, größer oder gleich der minimalen Intensität und kleiner oder gleich 110% der minimalen Intensität zu sein.

[0129] Obwohl einige bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gezeigt und beschrieben wurden, sollte durch einen Fachmann erkannt werden, dass Änderungen in diesen Ausführungsformen durchgeführt werden können, ohne von der Erfindung abzuweichen, deren Bereich in den Ansprüchen definiert wird.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren, die Schritte umfassend:
Bestimmen eines optimalen Betrags von Gesamtdispersion einer optischen Übertragungsleitung, gekennzeichnet dadurch, dass der optimale Betrag als entsprechend einem Leistungspegel eines Optiksignals bestimmt wird, das durch die optische Übertragungsleitung übertragen wird;
und umfassend die weiteren Schritte zum Steuern von Dispersion der optischen Übertragungsleitung, sodass die Gesamtdispersion bis zu einem spezifischen Punkt entlang der optischen Übertragungsleitung annähernd Null wird; und
Hinzufügen von Dispersion zu der optischen Übertragungsleitung, um den bestimmten optimalen Betrag von Gesamtdispersion zu erhalten.

2. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Schritt zum Hinzufügen von Dispersion der optischen Übertragungsleitung Dispersion in einem Punkt hinzugefügt, der stromabwärts des spezifischen Punktes ist.

3. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Schritt zum Steuern von Dispersion die Schritte umfasst:
Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit mindestens zwei Spitzen hat; und
Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals im wesentlichen zu minimieren.

4. Ein Verfahren wie in Anspruch 3, wobei das Optiksignal durch ein Datensignal mit einer Bitrate von B Bit/Sekunde moduliert ist, und die spezifische Frequenzkomponente eine B -Hertz-Komponente des Optiksignals ist.

5. Ein Verfahren wie in Anspruch 4, wobei das Optiksignal ein Signal ohne Rückkehr zu Null (non-return-to-zero, NRZ) ist.

6. Ein Verfahren wie in Anspruch 3, wobei die spezifische Frequenzkomponente einer Bitrate des Optiksignals entspricht.

7. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Schritt zum Steuern von Dispersion einen aus der Gruppe umfasst, bestehend aus einem ersten Prozess zum Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit mindestens zwei Spitzen hat, und Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals im wesentlichen zu minimieren, und einem zweiten Prozess zum Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, und Maximieren der Intensität der erfassten spezifischen Frequenzkomponente.

8. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Schritt zum Steuern von Dispersion die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente in dem Optiksignal maximiert.

9. Ein Verfahren wie in Anspruch 8, wobei das Optiksignal ein Signal mit Rückkehr zu Null (RZ, return-to-zero) ist.

10. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei das Optiksignal eines aus der Gruppe ist bestehend aus einem Signal ohne Rückkehr zu Null (NRZ), einem Signal mit Rückkehr zu Null (RZ) und einem optischen zeitmultiplexten (OTDM, optical time division multiplexed) Signal, wenn das Optiksignal ein NRZ-Signal oder ein OTDM-Signal ist, der Schritt zum Steuern von Dispersion umfasst Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit mindestens zwei Spitzen hat, und Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals im wesentlichen zu minimieren, und wenn das Optiksignal ein RZ-Signal ist, der Schritt zum Steuern von Dispersion umfasst Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, und Maximieren der Intensität der erfassten spezifischen Frequenzkomponente.

11. Ein Verfahren wie in Anspruch 3, wobei die In-

tensität der spezifischen Frequenzkomponente in einem Mittelpunkt zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals minimiert wird.

12. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Schritt zum Steuern von Dispersion die Schritte umfasst:

Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit mindestens zwei Spitzen hat; und Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung, sodass die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in einem Mittelpunkt zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals ist.

13. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Schritt zum Steuern von Dispersion die Schritte umfasst:

Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit einer entsprechenden Augenöffnung hat; und Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der optischen Übertragungsleitung, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in der Augenöffnung im wesentlichen zu minimieren.

14. Ein Verfahren wie in Anspruch 13, wobei das Optiksignal durch ein Datensignal mit einer Bitrate von B Bit/Sekunde moduliert ist, und die spezifische Frequenzkomponente eine B-Hertz-Komponente des Optiksignals ist.

15. Ein Verfahren wie in Anspruch 13, wobei das Optiksignal eines aus der Gruppe ist bestehend aus einem Signal ohne Rückkehr zu Null und einem optischen zeitmultiplexten (OTDM) Signal.

16. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Schritt zum Steuern von Dispersion die Schritte umfasst:

Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit einem entsprechenden Augenöffnungsbereich hat; und Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente entlang eines Punktes auf der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion, der innerhalb des Augenöffnungsbereichs ist, aufrechtzuerhalten.

17. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Schritt zum Steuern von Dispersion Dispersion in der

optischen Übertragungsleitung durch Steuern eines Dispersionswertes einer variablen Dispersionskompensationseinrichtung steuert, die stromaufwärts des spezifischen Punktes positioniert ist.

18. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Schritt zum Steuern von Dispersion Dispersion in der optischen Übertragungsleitung durch Steuern einer Wellenlänge des Optiksignals steuert.

19. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Bestimmungsschritt den optimalen Betrag in Übereinstimmung mit der Ausgabe eines Verstärkers bestimmt, der das Optiksignal für eine Übertragung durch die optische Übertragungsleitung verstärkt.

20. Ein Verfahren wie in Anspruch 1, wobei der Bestimmungsschritt den optimalen Betrag in Übereinstimmung mit der Ausgabe eines Verstärkers bestimmt, der das Optiksignal für einen Empfang von der optischen Übertragungsleitung verstärkt.

21. Das Verfahren nach beliebigen von einem beliebigen vorangehenden Anspruch, die weiteren Schritte umfassend:

vor dem Schritt zum Steuern Einstellen der Leistung des Optiksignals zu einem ersten Wert, der im wesentlichen keinen nichtlinearen Effekt in der optischen Übertragungsleitung erzeugt;
vor dem Schritt zum Bestimmen Ändern der Leistung des Optiksignals zu einem zweiten Wert, der sich von dem ersten Wert unterscheidet.

22. Ein Verfahren wie in Anspruch 21, wobei die optische Übertragungsleitung ein Teil eines optischen Kommunikationssystems ist, die Leistung des Optiksignals, die zu dem ersten Wert gesetzt ist, einer Zeit vor einem Start des optischen Kommunikationssystems entspricht, und die Leistung des Optiksignals, die zu dem zweiten Wert gesetzt ist, einer Zeit während eines Betriebs des optischen Kommunikationssystems entspricht.

23. Ein Verfahren wie in Anspruch 21 oder 22, wobei der zweite Wert eine höhere optische Signalleistung als der erste Pegel anzeigt.

24. Das Verfahren von Anspruch 21 bis 23, wobei der Schritt zum Ändern der Leistung des Optiksignals zu einem zweiten Wert Erhöhen der Leistung des Optiksignals umfasst.

25. Ein Verfahren wie in Anspruch 24, wobei der Schritt zum Steuern die Schritte umfasst:
Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit mindestens zwei Spitzen hat; und
Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung, um die Intensität der spezifi-

schen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals im wesentlichen zu minimieren.

26. Ein Verfahren wie in Anspruch 25, wobei das Optiksignal durch ein Datensignal mit einer Bitrate von B Bit/Sekunde moduliert ist, und die spezifische Frequenzkomponente eine B-Hertz-Komponente des Optiksignals ist.

27. Ein Verfahren wie in Anspruch 25, wobei der Schritt zum Hinzufügen von Dispersion zu der optischen Übertragungsleitung Dispersion durch Steuern des Betrags von Dispersion hinzufügt, sodass die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zu einem Wert entsprechend dem optimalen Betrag von Dispersion gebracht wird.

28. Ein Verfahren wie in Anspruch 24, wobei eine einzelne variable Dispersionskompensationseinrichtung durch sowohl den Steuerschritt, um den Betrag von Gesamtdispersion zu steuern, als auch den Hinzufügungsschritt, um Dispersion hinzuzufügen, verwendet wird.

29. Ein Verfahren wie in Anspruch 24, wobei eine erste Dispersionskompensationseinrichtung durch den Steuerschritt verwendet wird, um den Betrag von Gesamtdispersion zu steuern, und eine zweite Dispersionskompensationseinrichtung durch den Hinzufügungsschritt verwendet wird, um Dispersion hinzuzufügen.

30. Ein Verfahren wie in Anspruch 29, wobei die erste Dispersionskompensationseinrichtung in einem aus der Gruppe ist bestehend aus einem Übertragungsende und einem Empfangsende der optischen Übertragungsleitung, und die zweite Dispersionskompensationseinrichtung in dem anderen aus der Gruppe ist bestehend aus dem Übertragungsende und dem Empfangsende der optischen Übertragungsleitung.

31. Eine Vorrichtung zum Steuern von Dispersion in einer optischen Übertragungsleitung mit einem Optiksignal, das dort durch übertragen wird, umfassend:

Mittel zum Bestimmen einer Dispersion entsprechend einer Leistung des Optiksignals,
eine erste Dispersionssteuervorrichtung, die den Betrag von Gesamtdispersion der optischen Übertragungsleitung steuert, um ungefähr Null zu sein, und
eine zweite Dispersionssteuervorrichtung, die die bestimmte Dispersion der optischen Übertragungsleitung hinzufügt, um einen optimalen Betrag von Dispersion entsprechend der Leistung des Optiksignals zu erhalten.

32. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 31, ferner umfassend

eine Leistungseinstelleinrichtung, die die Leistung des Optiksignals auf einen Wert einstellt, der im wesentlichen keinen nichtlinearen Effekt in der optischen Übertragungsleitung erzeugt; und eine Leistungserhöhungseinrichtung, die die Leistung des Optiksignals erhöht; und wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung den Betrag von Gesamtdispersion steuert, während die Leistung auf den Wert eingestellt ist.

33. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung: die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals erfasst, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit mindestens zwei Spitzen hat, und den Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung steuert, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals im wesentlichen zu minimieren.

34. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 31, wobei das Optiksignal durch ein Datensignal mit einer Bitrate von B Bit/Sekunde moduliert ist, und die spezifische Frequenzkomponente eine B-Hertz-Komponente des Optiksignals ist.

35. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 34, wobei das Optiksignal ein Signal ohne Rückkehr zu Null (NRZ) ist.

36. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 33, wobei die spezifische Frequenzkomponente einer Bitrate des Optiksignals entspricht.

37. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung einen aus der Gruppe durchführt bestehend aus einem ersten Prozess zum Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit mindestens zwei Spitzen hat, und Steuern des Betrags von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals im wesentlichen zu minimieren, und einem zweiten Prozess zum Erfassen der Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals, und Maximieren der Intensität der erfassten spezifischen Frequenzkomponente.

38. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente in dem Op-

tiksignal maximiert.

39. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 38, wobei das Optiksignal ein Signal mit Rückkehr zu Null (RZ) ist.

40. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32, wobei das Optiksignal eines aus der Gruppe ist bestehend aus einem Signal ohne Rückkehr zu Null (NRZ), einem Signal mit Rückkehr zu Null (RZ) und einem optischen zeitmultiplexten (OTDM) Signal, wenn das Optiksignal ein NRZ-Signal oder ein OTDM-Signal ist, die erste Dispersionssteuervorrichtung die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals erfasst, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit mindestens zwei Spitzen hat, und den Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung steuert, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals im wesentlichen zu minimieren, und wenn das Optiksignal ein RZ-Signal ist, die erste Dispersionssteuervorrichtung die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals erfasst, und die Intensität der erfassten spezifischen Frequenzkomponente maximiert.

41. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 33, wobei die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in einem Mittelpunkt zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals minimiert wird.

42. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals erfasst, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit mindestens zwei Spitzen hat, und den Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung steuert, sodass die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in einem Mittelpunkt zwischen den zwei höchsten Spitzen der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion des Optiksignals ist.

43. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Optiksignals erfasst, wobei das Optiksignal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit einer entsprechenden Augenöffnung hat, und den Betrag von Gesamtdispersion der optischen Übertragungsleitung steuert, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente in der Augenöff-

nung im wesentlichen zu minimieren.

44. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 33, wobei das Optiksinal durch ein Datensignal mit einer Bitrate von B Bit/Sekunde moduliert ist, und die spezifische Frequenzkomponente eine B-Hertz-Komponente des Optiksinals ist.

45. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 43, wobei das Optiksinal eines aus der Gruppe ist bestehend aus einem Signal ohne Rückkehr zu Null und einem optischen zeitmultiplexten (OTDM) Signal.

46. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung die Intensität einer spezifischen Frequenzkomponente des Datensignals erfasst, wobei das Optiksinal eine Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion mit einem entsprechenden Augenöffnungsbereich hat, und den Betrag von Gesamtdispersion der Übertragungsleitung steuert, um die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente entlang eines Punktes in der Kennlinie von Intensität gegenüber Gesamtdispersion aufrechtzuerhalten, der innerhalb des Augenöffnungsbereichs ist.

47. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32 bis 46, ferner umfassend:
eine Optimalbetragsbestimmungseinrichtung, die den optimalen Betrag von Dispersion in Übereinstimmung mit der Ausgabe eines Verstärkers bestimmt, der das Optiksinal für eine Übertragung durch die optische Übertragungsleitung verstärkt.

48. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32 bis 46, ferner umfassend:
eine Optimalbetragsbestimmungseinrichtung, die den optimalen Betrag von Dispersion in Übereinstimmung mit der Ausgabe eines Verstärkers bestimmt, der das Optiksinal für einen Empfang von der optischen Übertragungsleitung verstärkt.

49. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 47 oder 48, wobei die zweite Dispersionssteuervorrichtung der optischen Übertragungsleitung Dispersion in einem Punkt hinzufügt, der stromabwärts von dem spezifischen Punkt ist.

50. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 47 oder 48, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung umfasst:
eine Dispersionskompensationseinrichtung mit einem variablen Dispersionswert und positioniert stromaufwärts von dem spezifischen Punkt, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung Dispersion in der optischen Übertragungsleitung durch Steuern des variablen Dispersionswertes der variablen Dispersionskompensationseinrichtung steuert.

51. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 47 oder 48, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung Dispersion in der optischen Übertragungsleitung durch Steuern einer Wellenlänge des Optiksinals steuert.

52. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 47 oder 48, wobei die Dispersionsbestimmungseinrichtung den optimalen Betrag in Übereinstimmung mit der Ausgabe eines Verstärkers bestimmt, der das Optiksinal für eine Übertragung durch die optische Übertragungsleitung verstärkt.

53. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 47 oder 48, wobei die Dispersionsbestimmungseinrichtung den optimalen Betrag in Übereinstimmung mit der Ausgabe eines Verstärkers bestimmt, der das Optiksinal für einen Empfang von der optischen Übertragungsleitung verstärkt.

54. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 33, wobei die zweite Dispersionssteuervorrichtung der optischen Übertragungsleitung Dispersion hinzufügt durch Steuern des Betrags von Dispersion, sodass die Intensität der spezifischen Frequenzkomponente zu einem Wert gebracht wird, der dem optimalen Betrag von Dispersion entspricht.

55. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32, ferner umfassend:
eine einzelne variable Dispersionskompensationseinrichtung, die verwendet wird durch die erste Dispersionssteuervorrichtung, um den Betrag von Gesamtdispersion zu steuern, und die zweite Dispersionssteuervorrichtung, um Dispersion hinzuzufügen.

56. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 32, wobei die erste Dispersionssteuervorrichtung eine Dispersionskompensationseinrichtung enthält, um den Betrag von Gesamtdispersion zu steuern, und die zweite Dispersionssteuervorrichtung eine Dispersionskompensationseinrichtung enthält, um Dispersion hinzuzufügen.

57. Eine Vorrichtung wie in Anspruch 56, wobei die Dispersionskompensationseinrichtung der ersten Dispersionssteuervorrichtung in einem aus der Gruppe ist bestehend aus einem Übertragungsende und einem Empfangsende der optischen Übertragungsleitung, und die Dispersionskompensationseinrichtung der zweiten Dispersionssteuervorrichtung in dem anderen aus der Gruppe ist bestehend aus dem Übertragungsende und dem Empfangsende der optischen Übertragungsleitung.

Es folgen 33 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

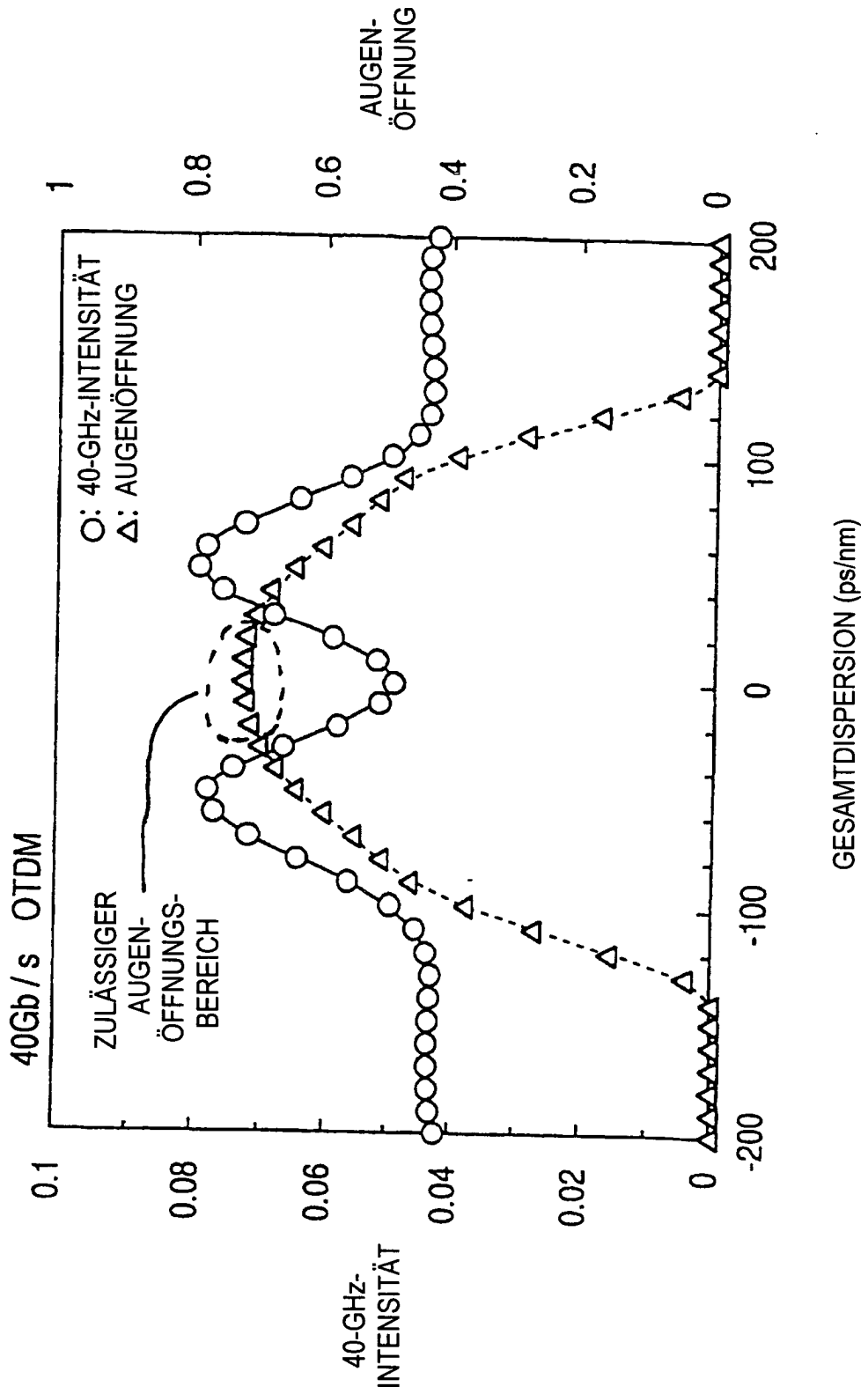


FIG. 2

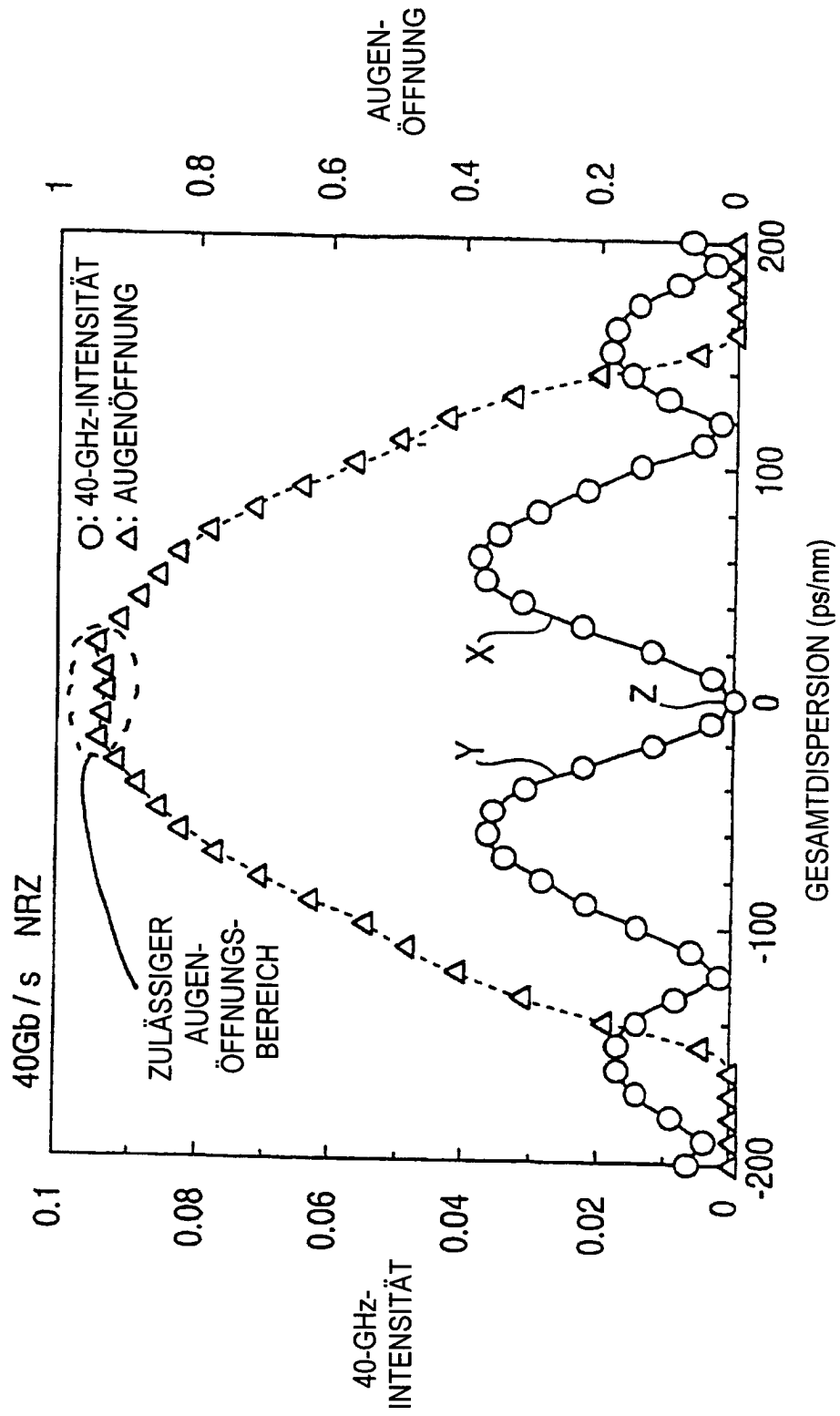


FIG. 3

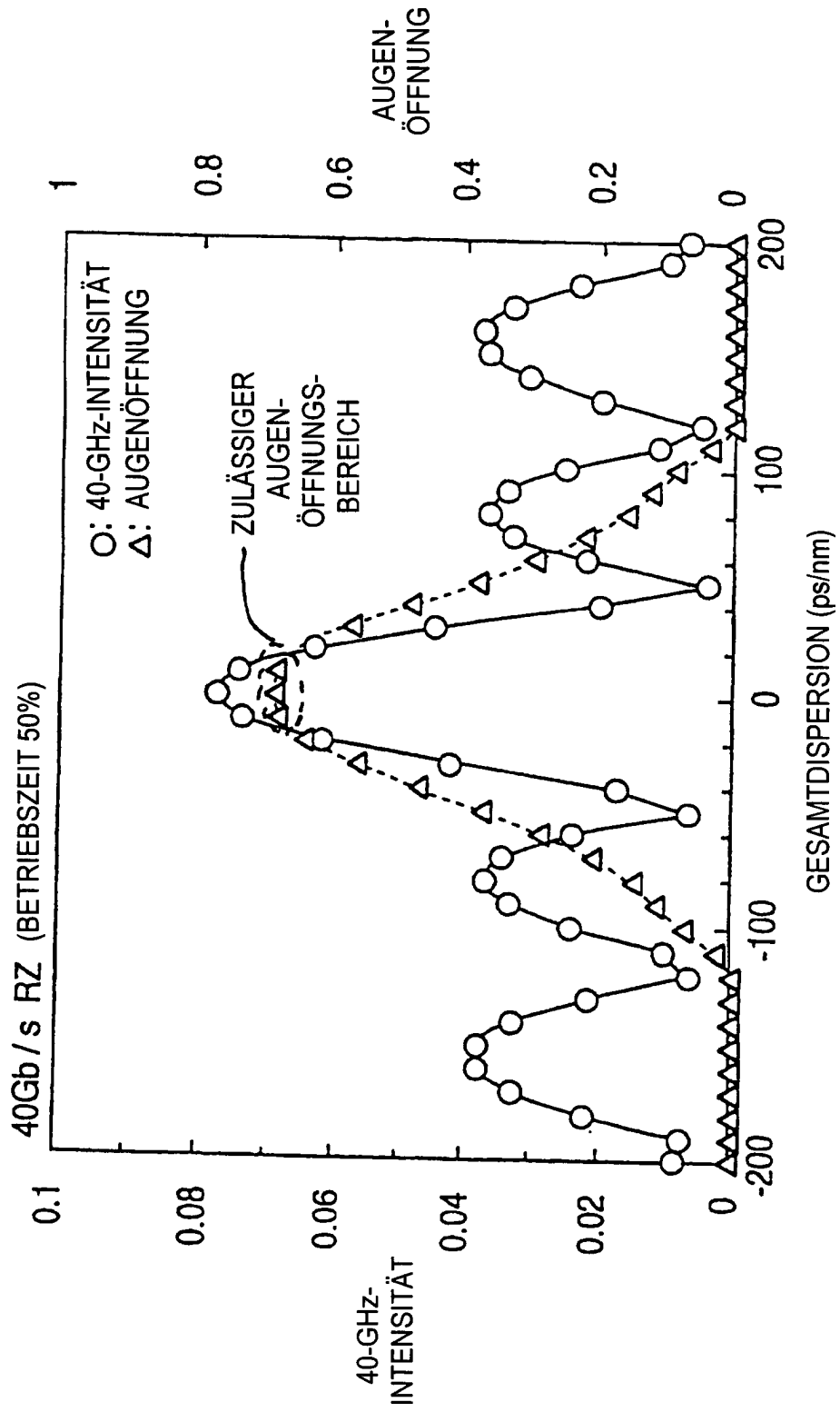


FIG. 4

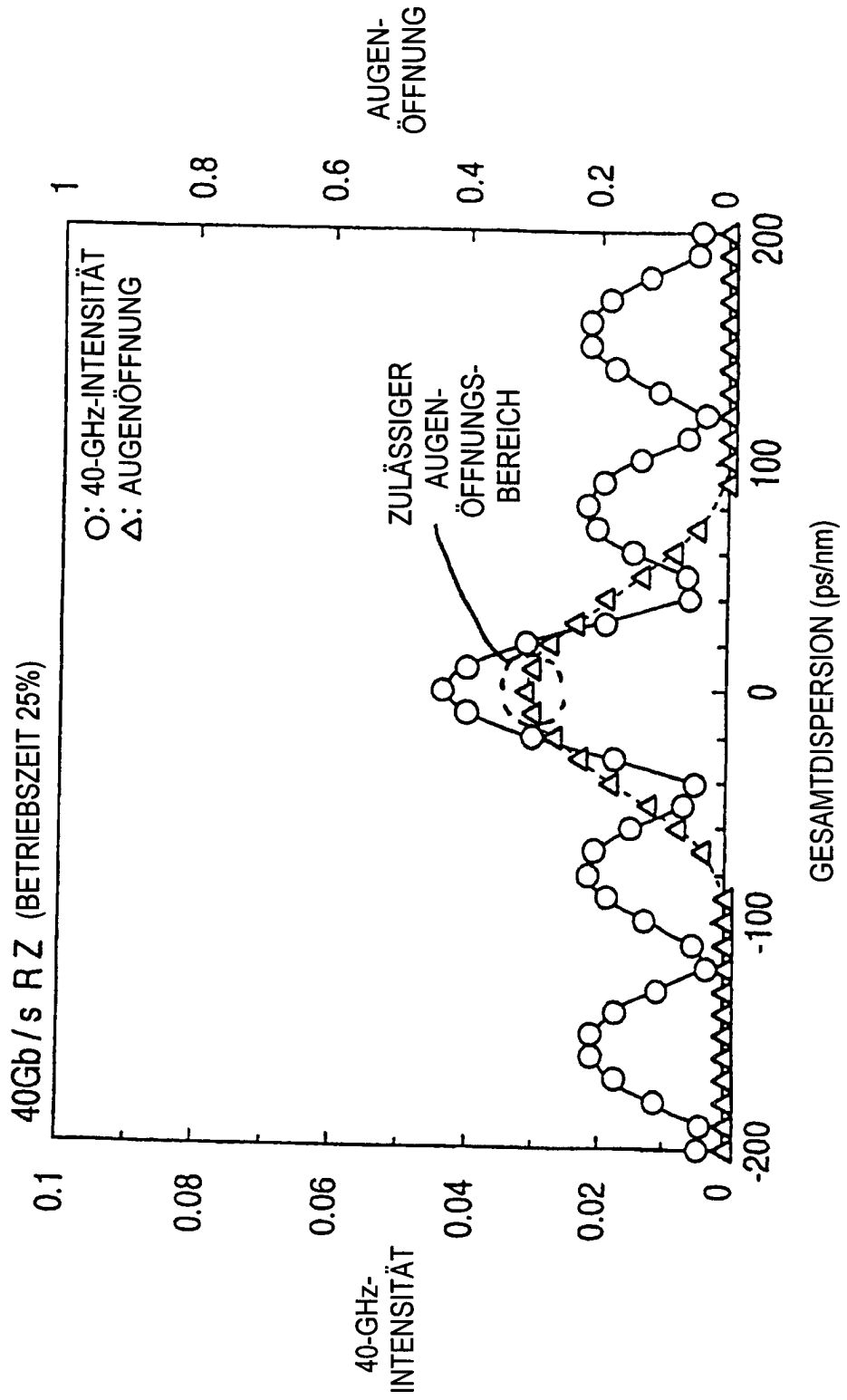
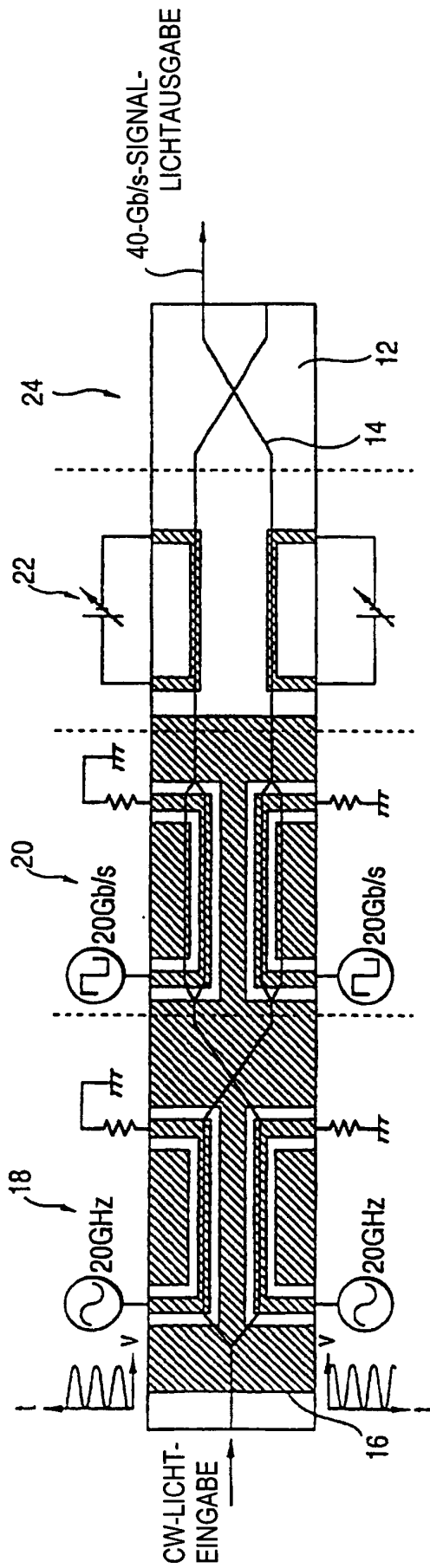
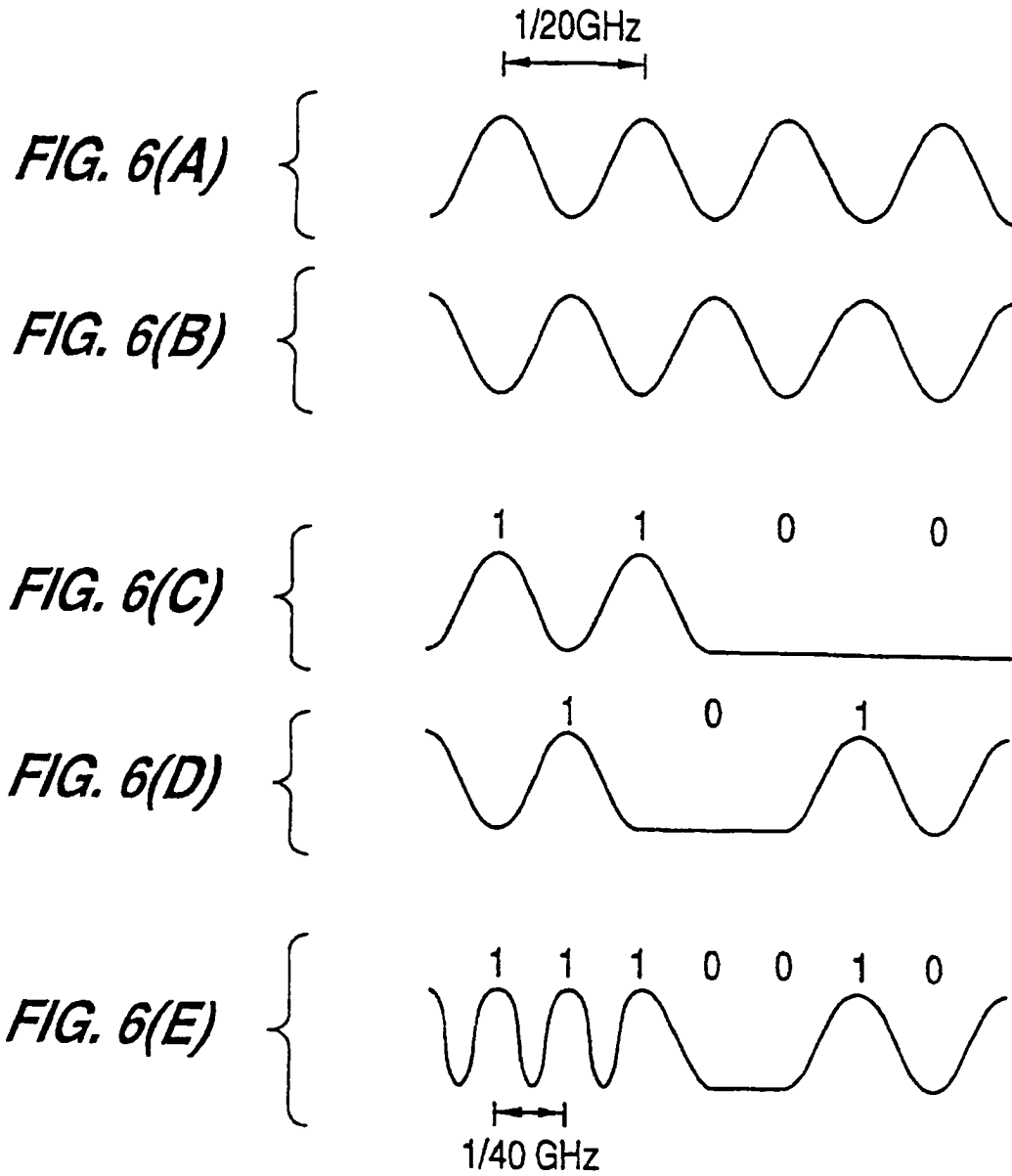


FIG. 5



10



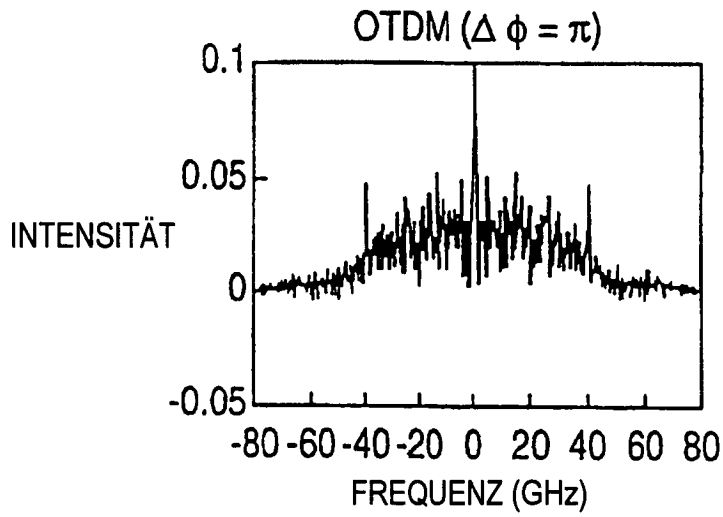


FIG. 7

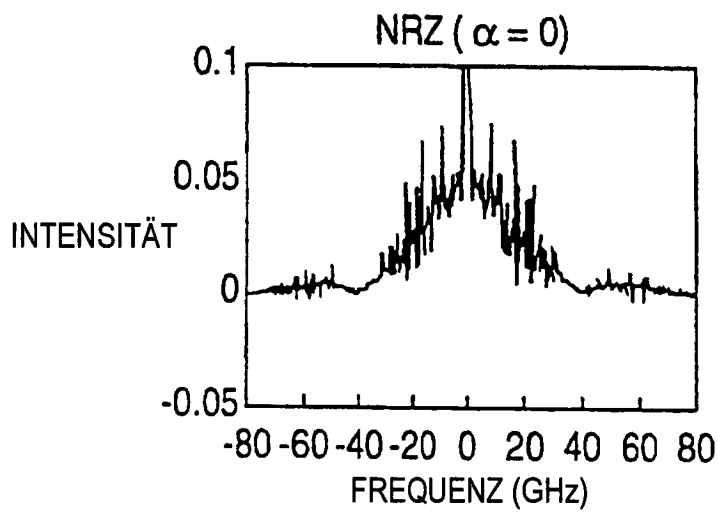


FIG. 8

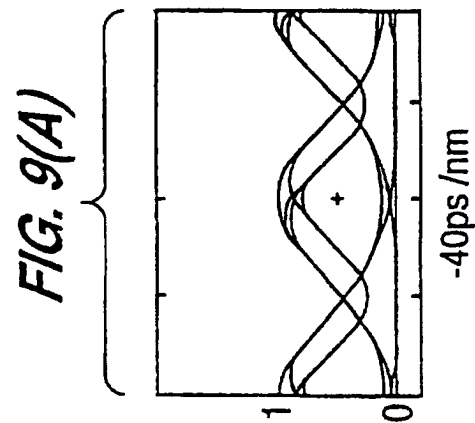
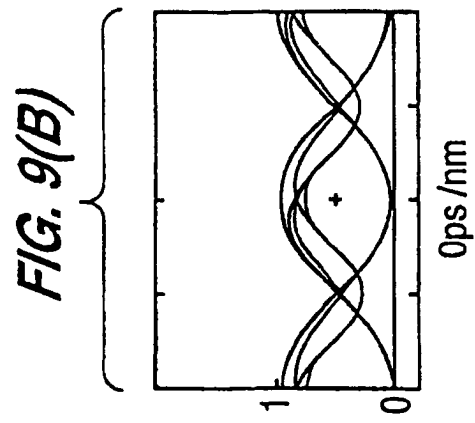
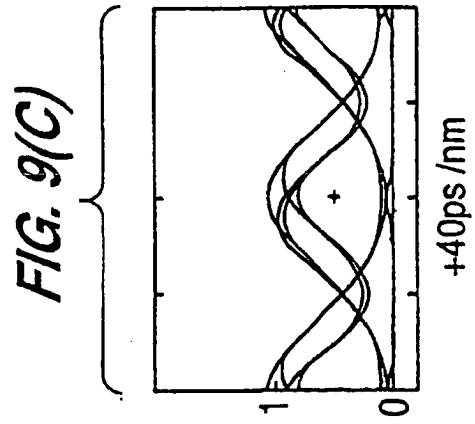


FIG. 10(C)

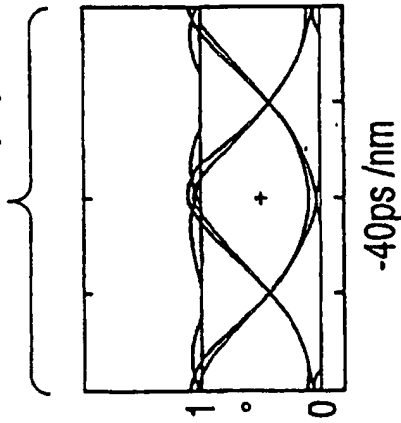


FIG. 10(B)

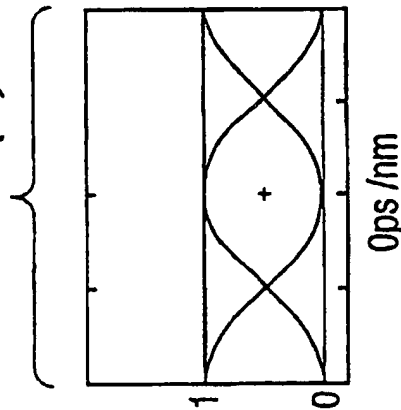


FIG. 10(A)

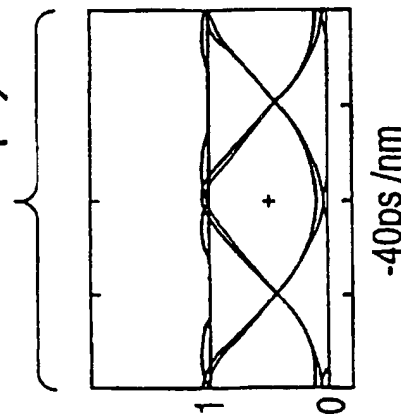


FIG. 11

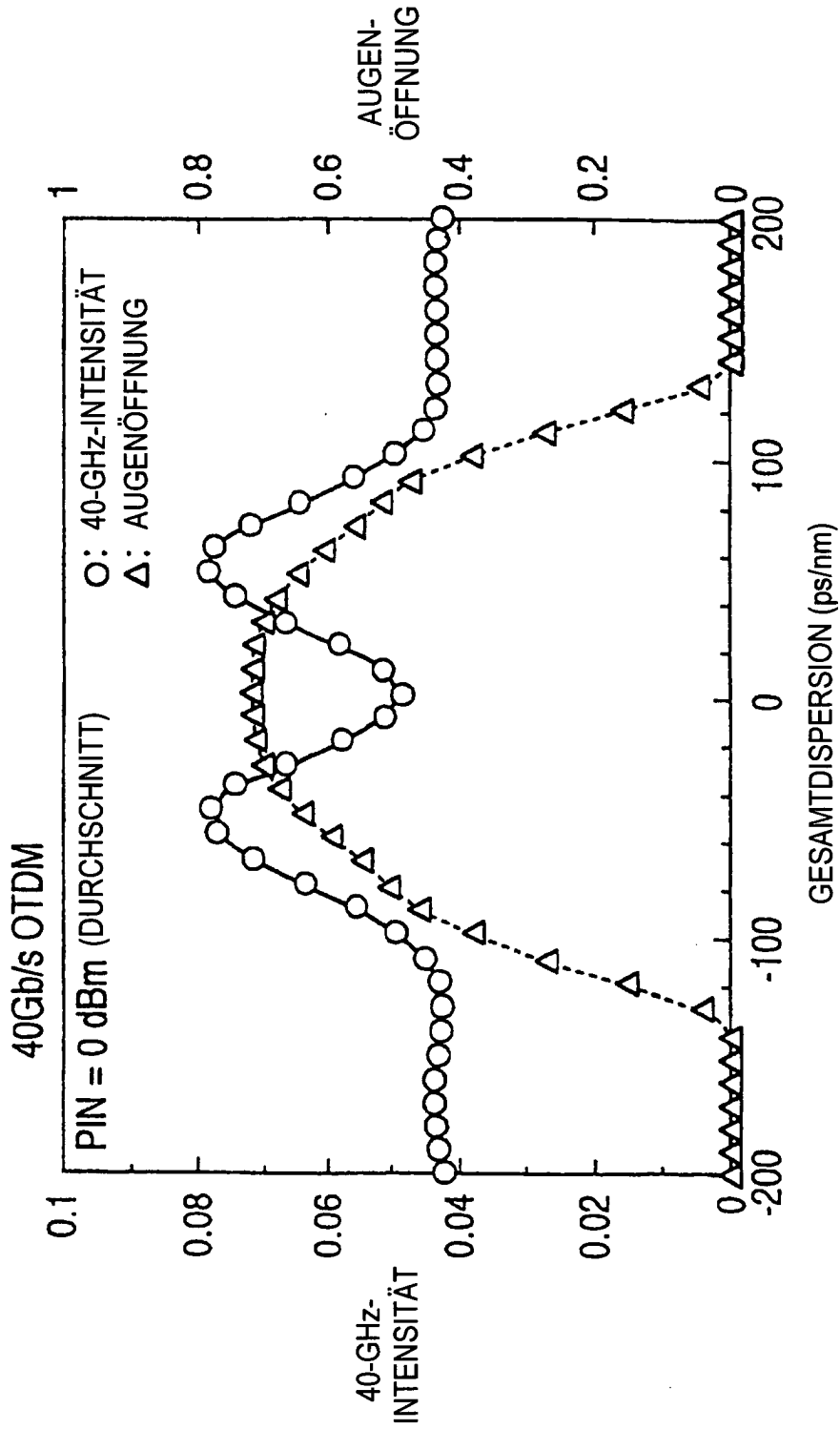
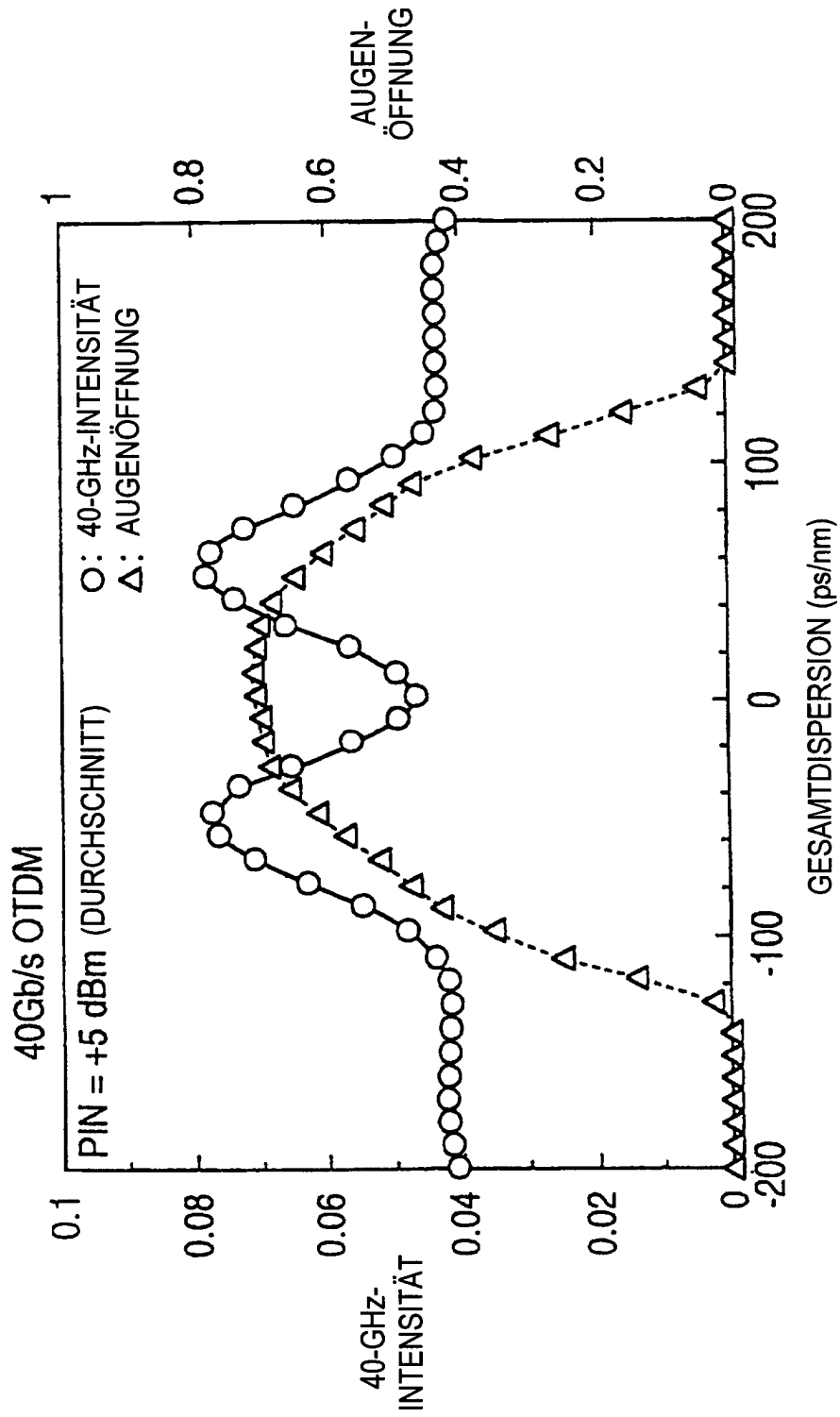


FIG. 12



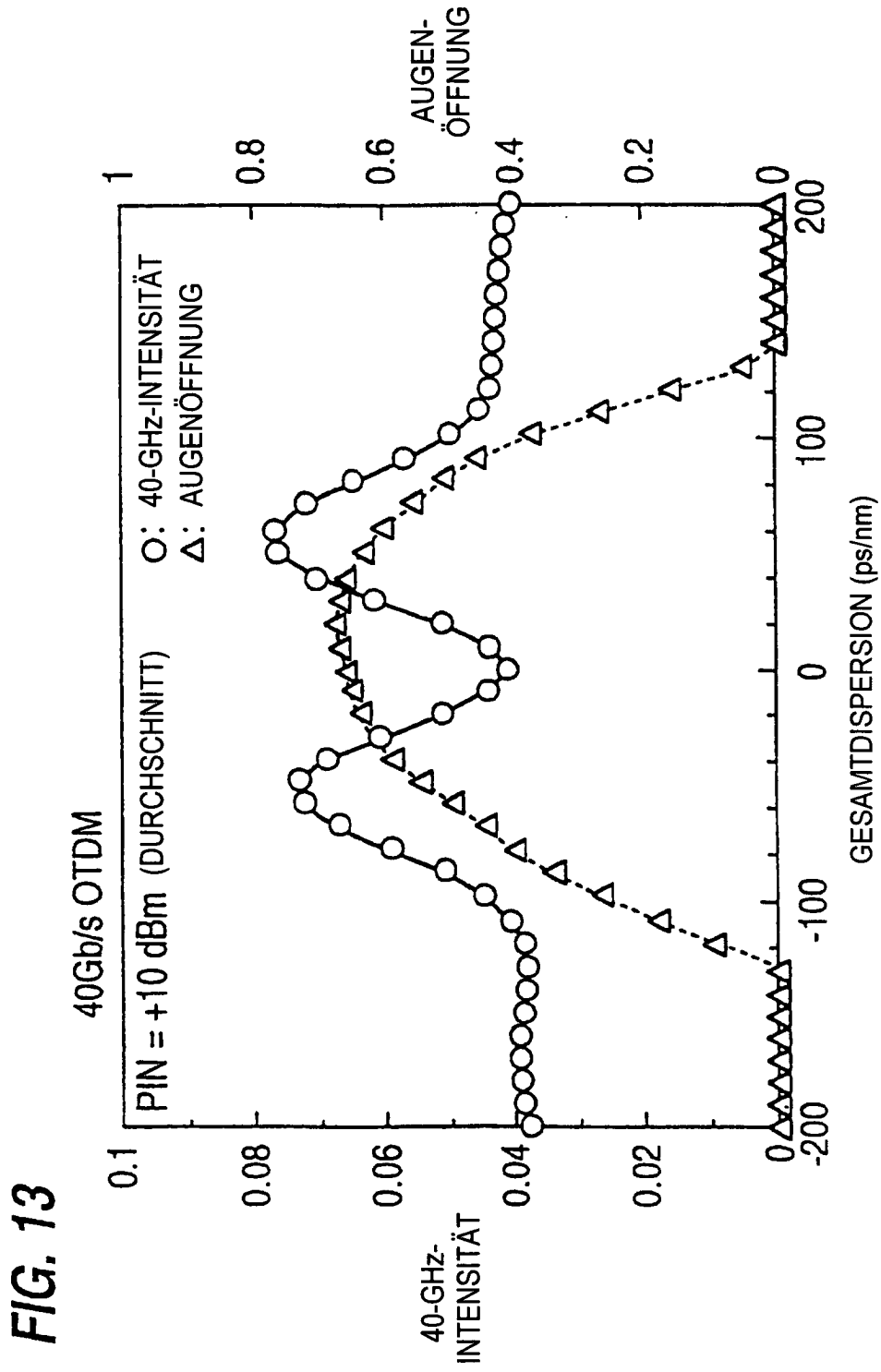


FIG. 14

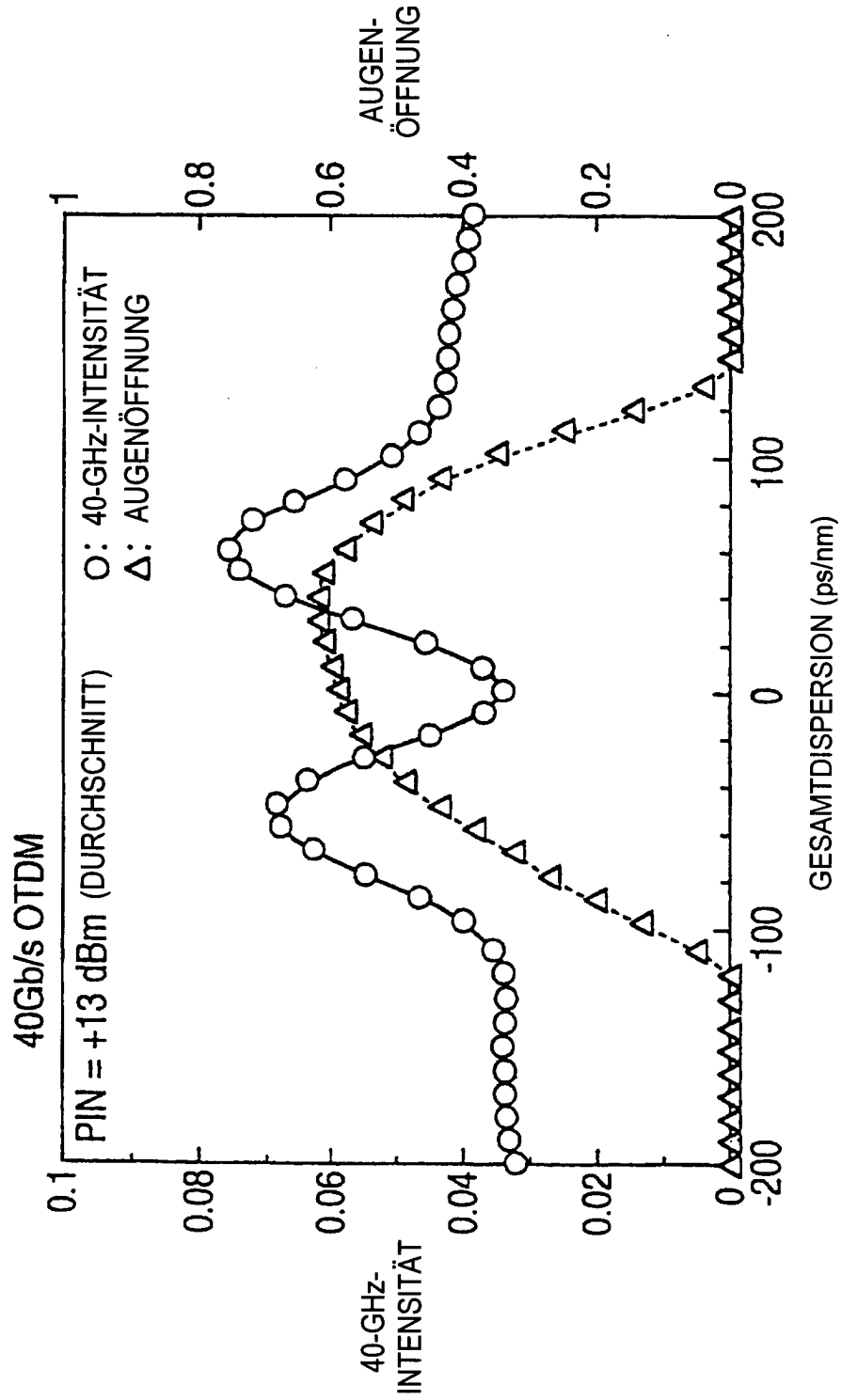
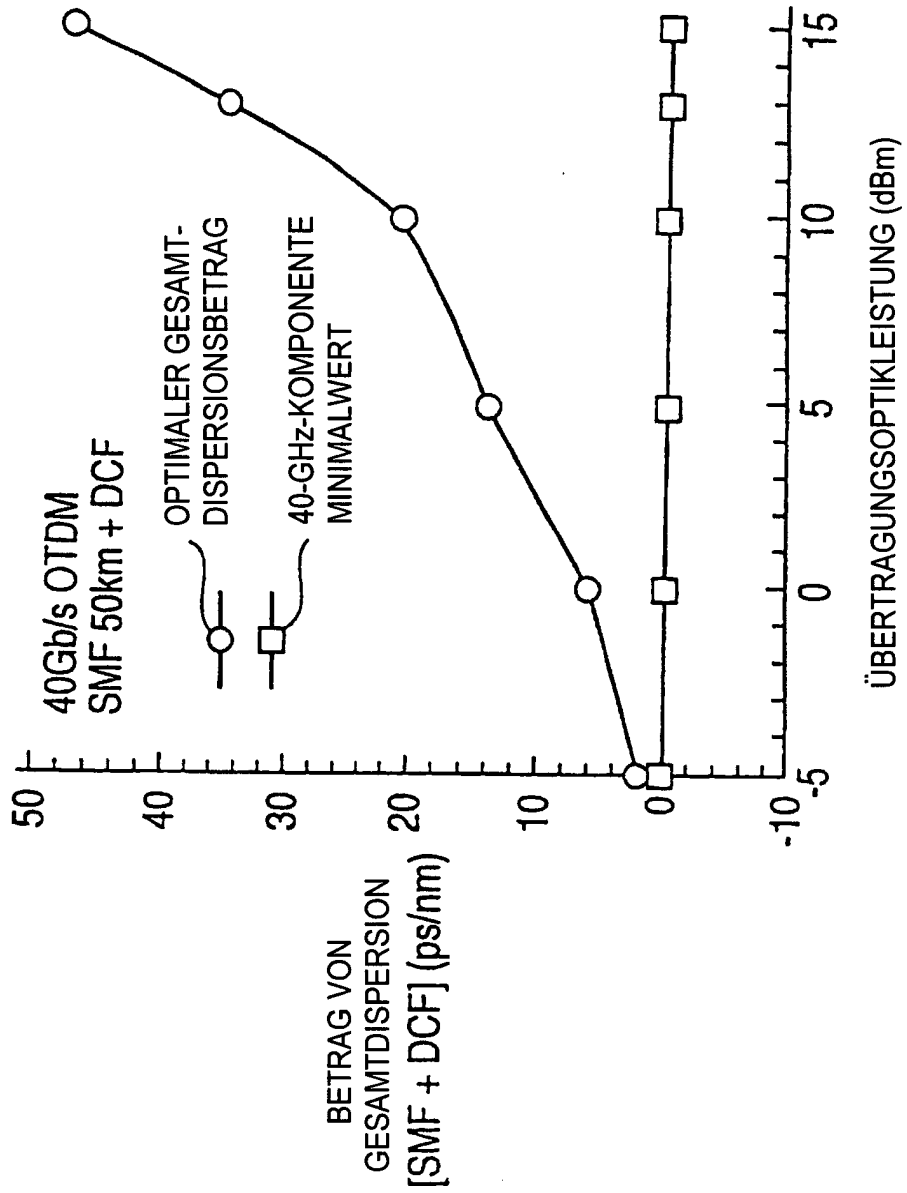


FIG. 15



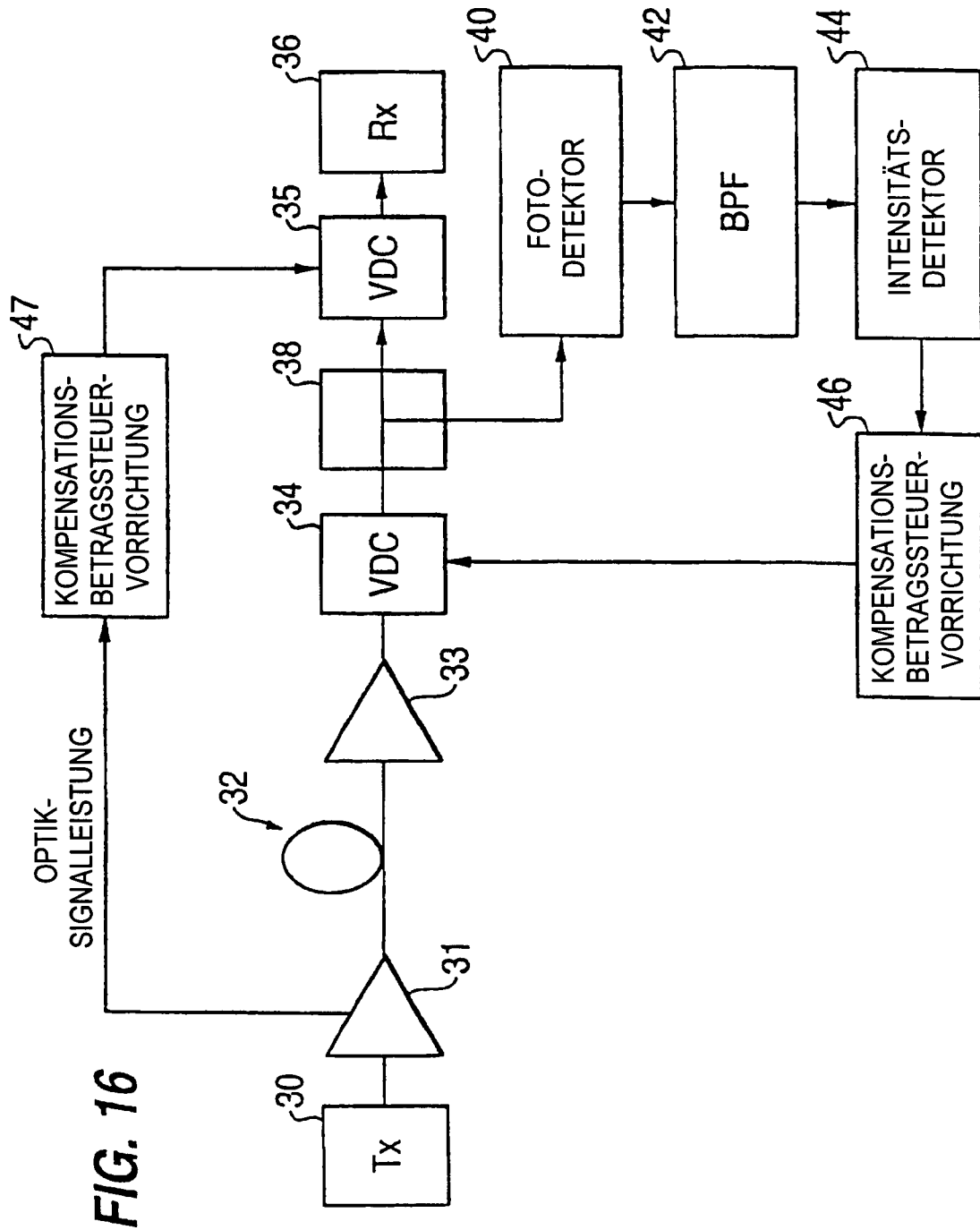


FIG. 16

FIG. 17

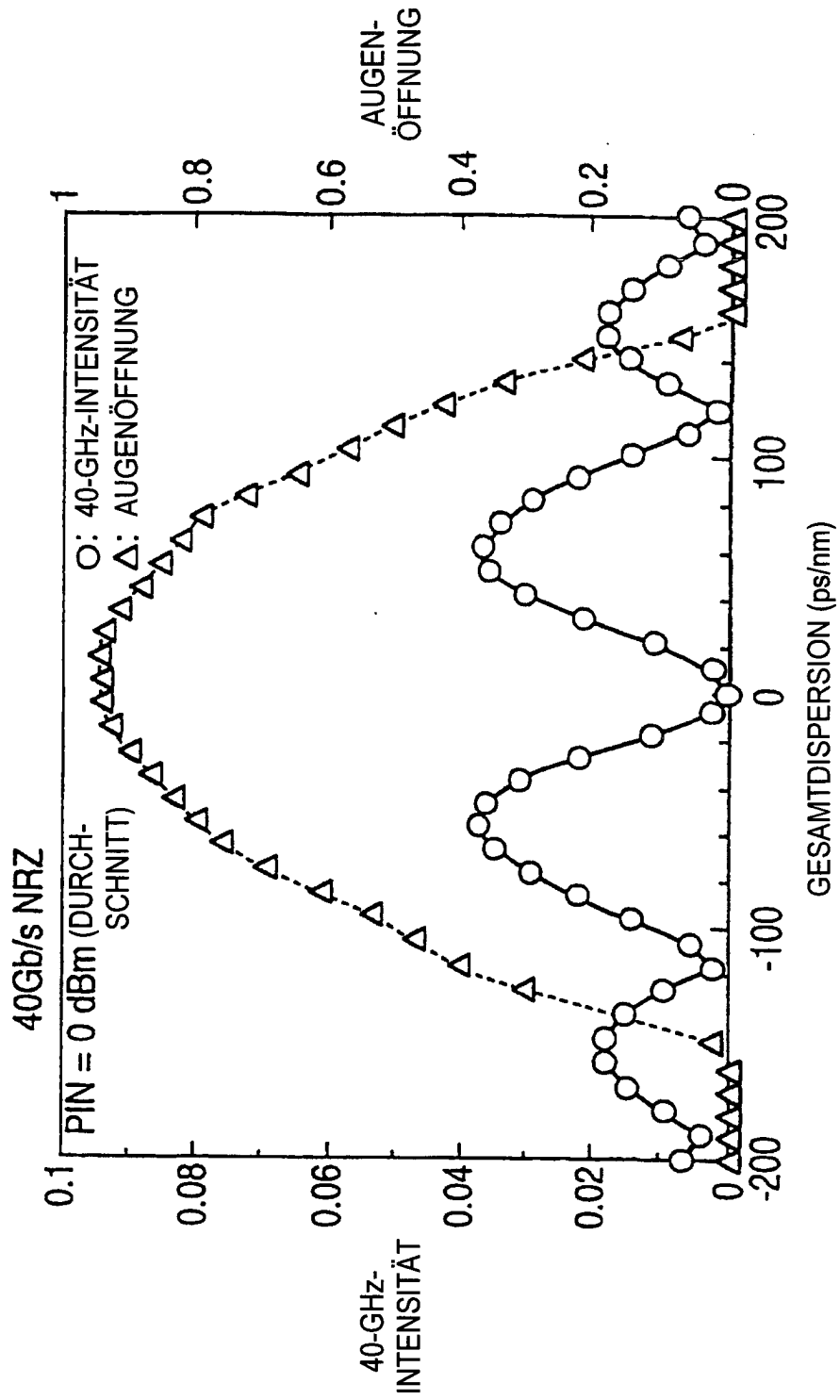


FIG. 18

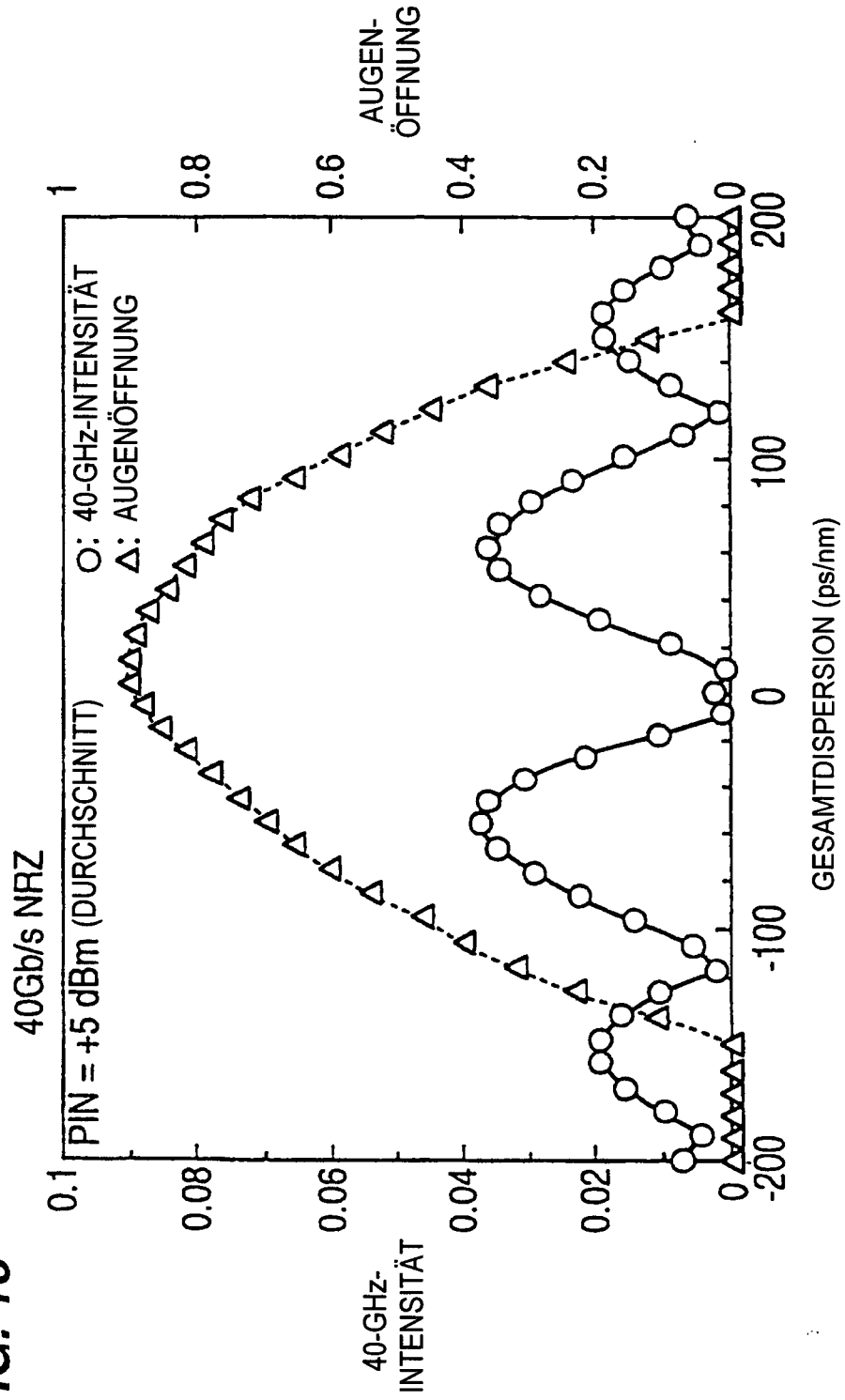


FIG. 19

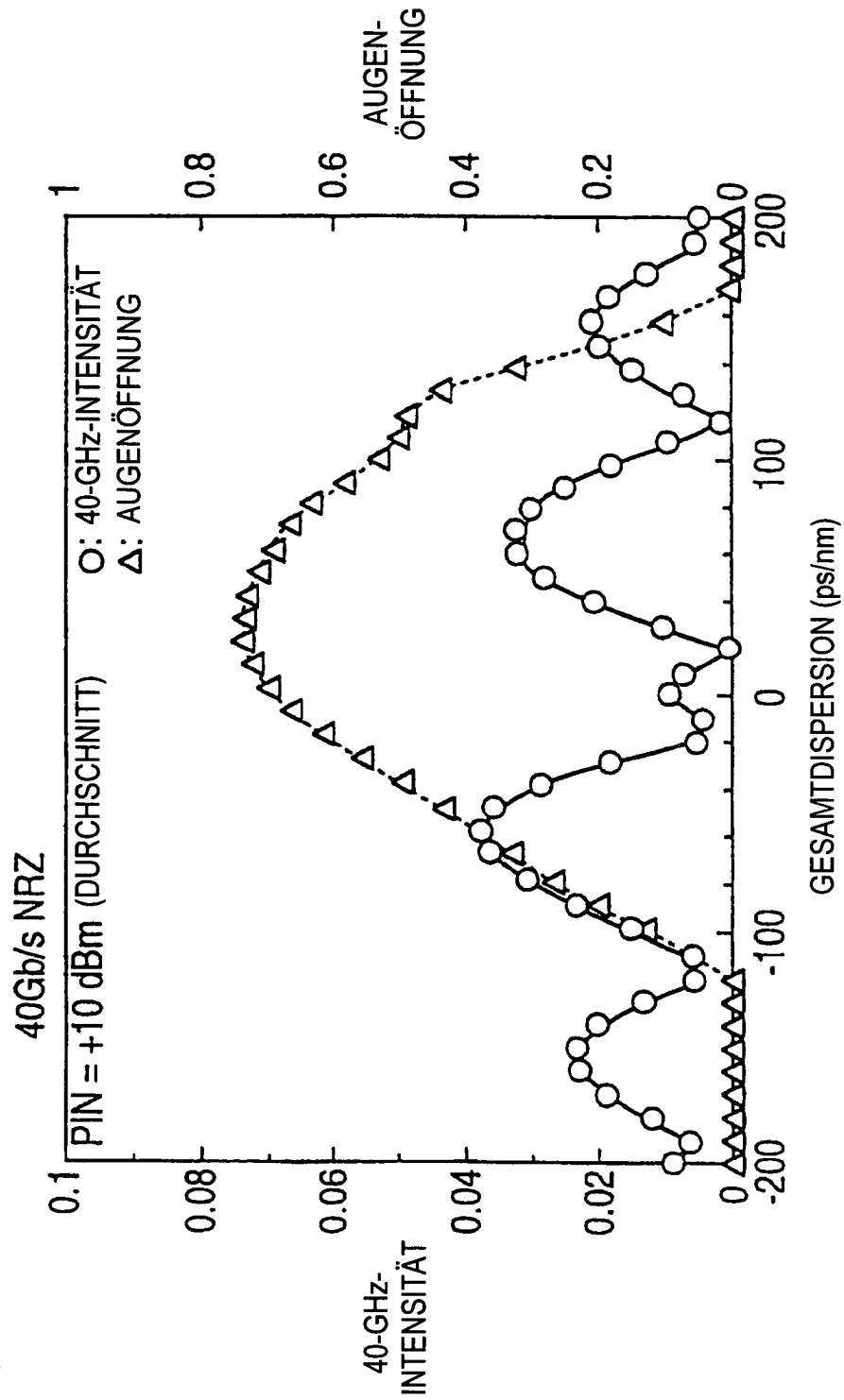


FIG. 20

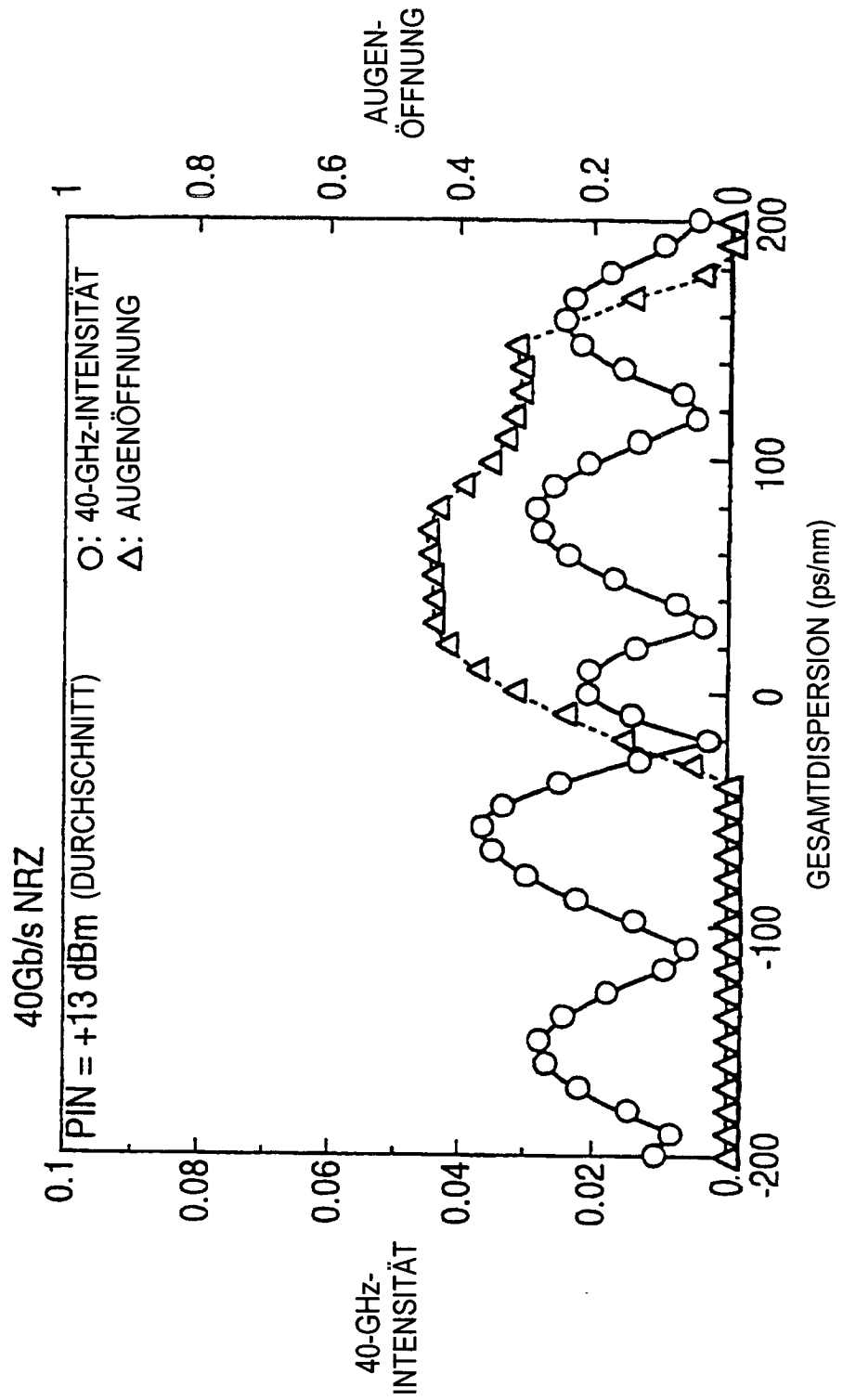


FIG. 21

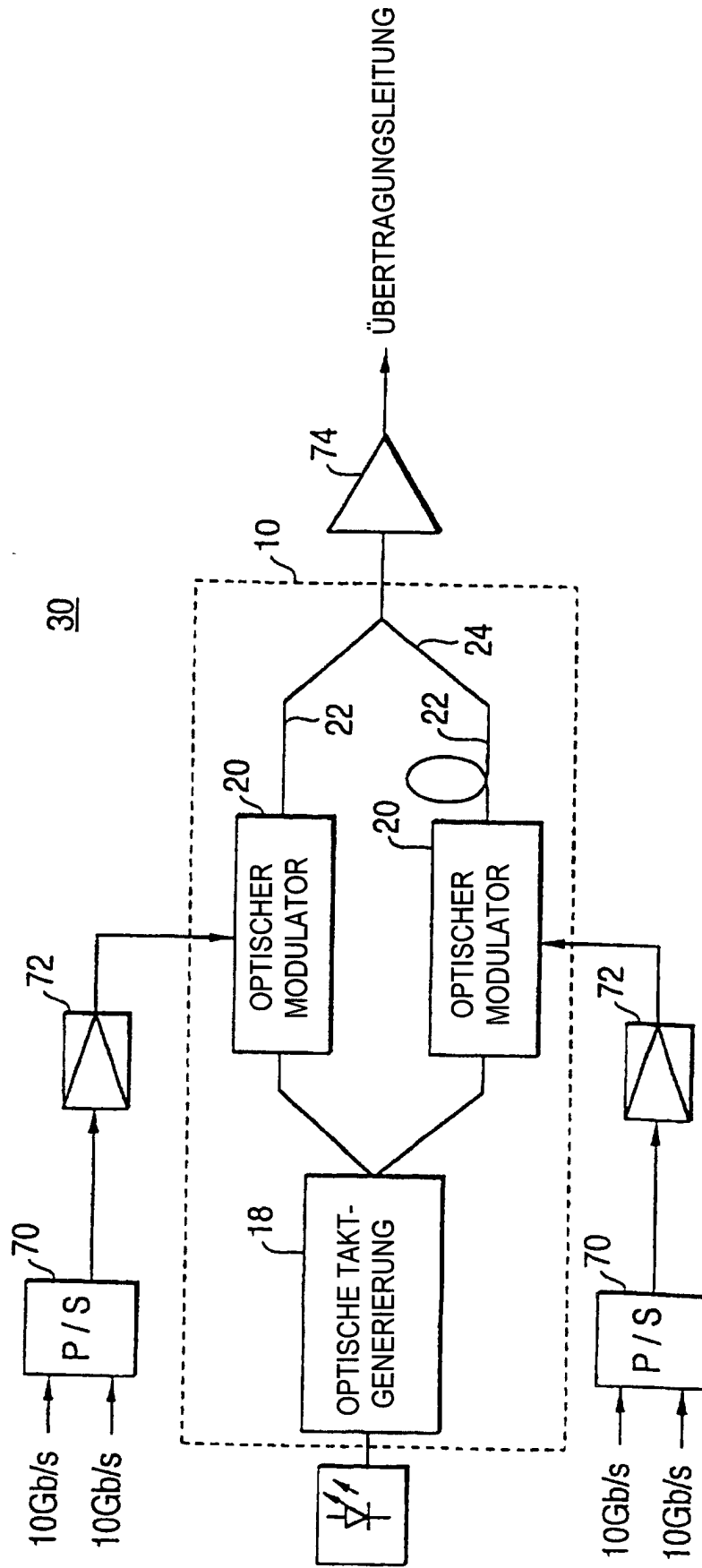


FIG. 22

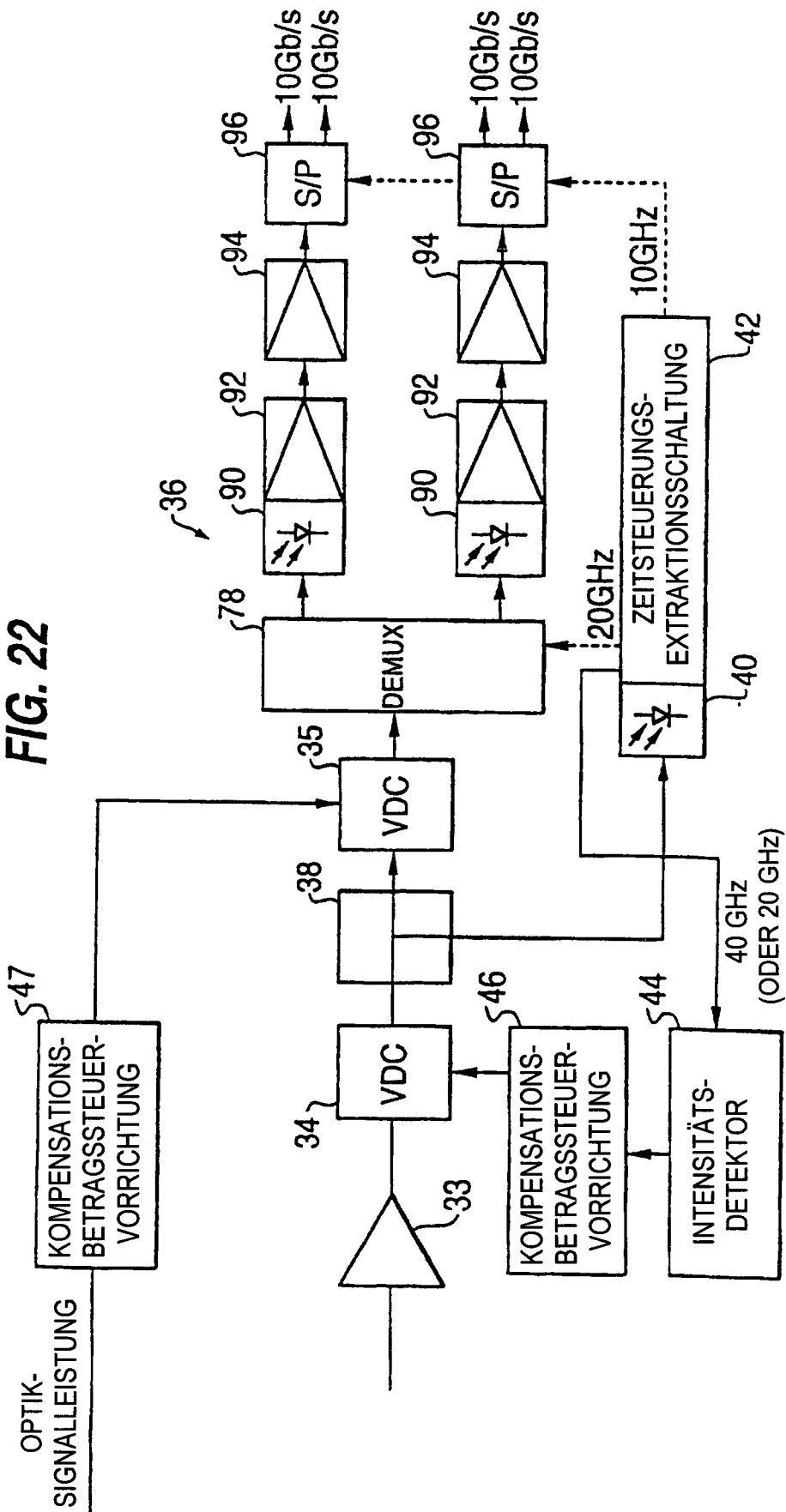


FIG. 23

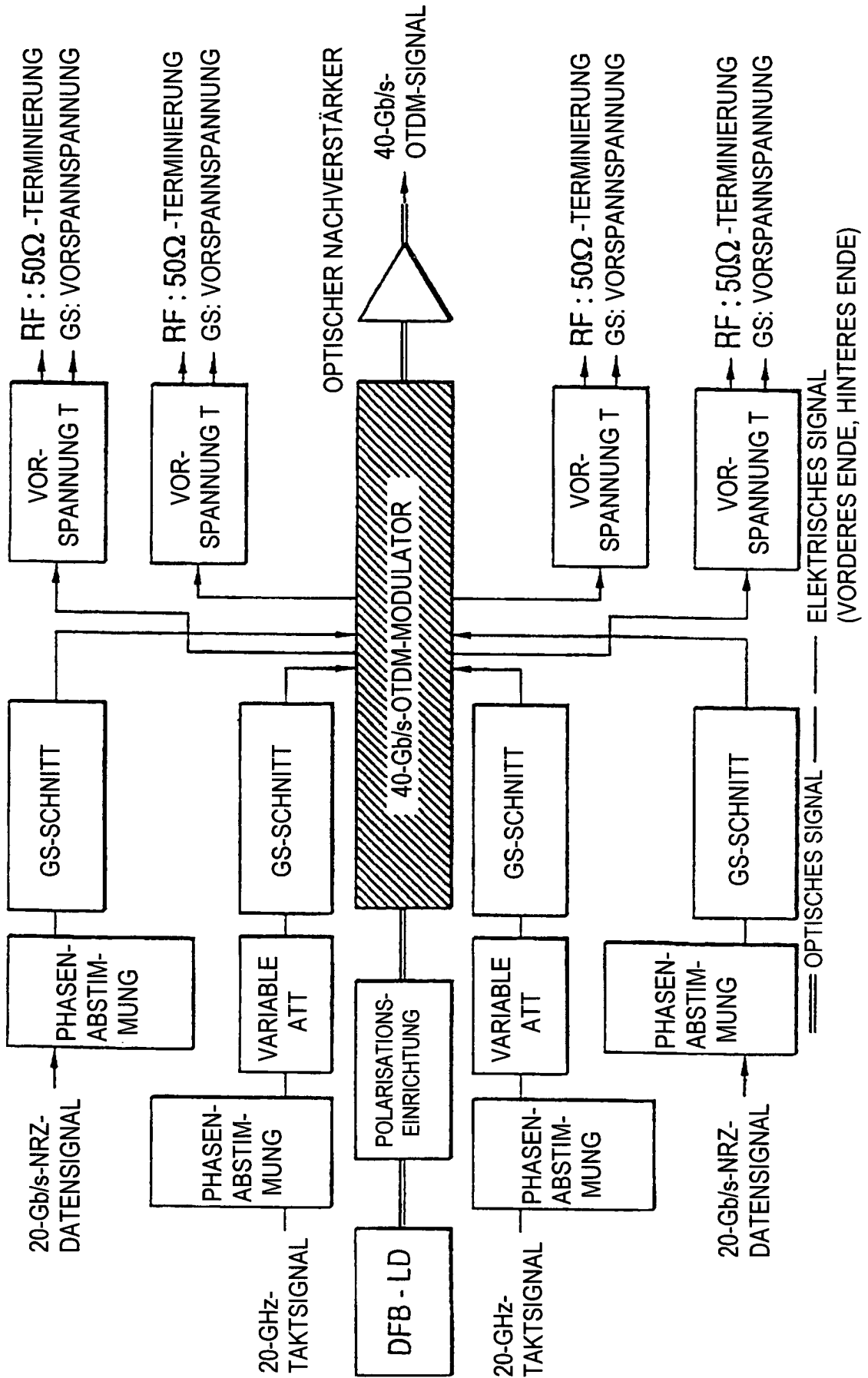
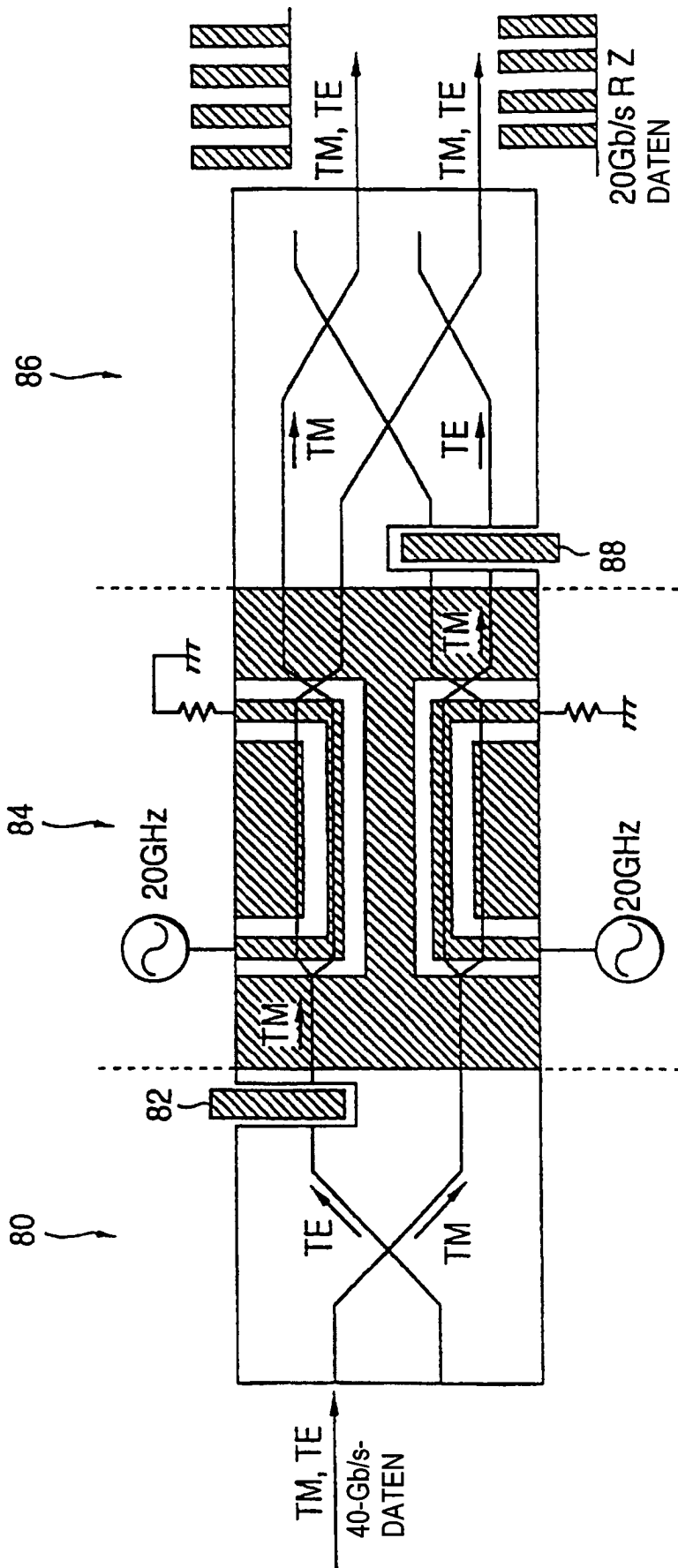


FIG. 24



78

FIG. 25

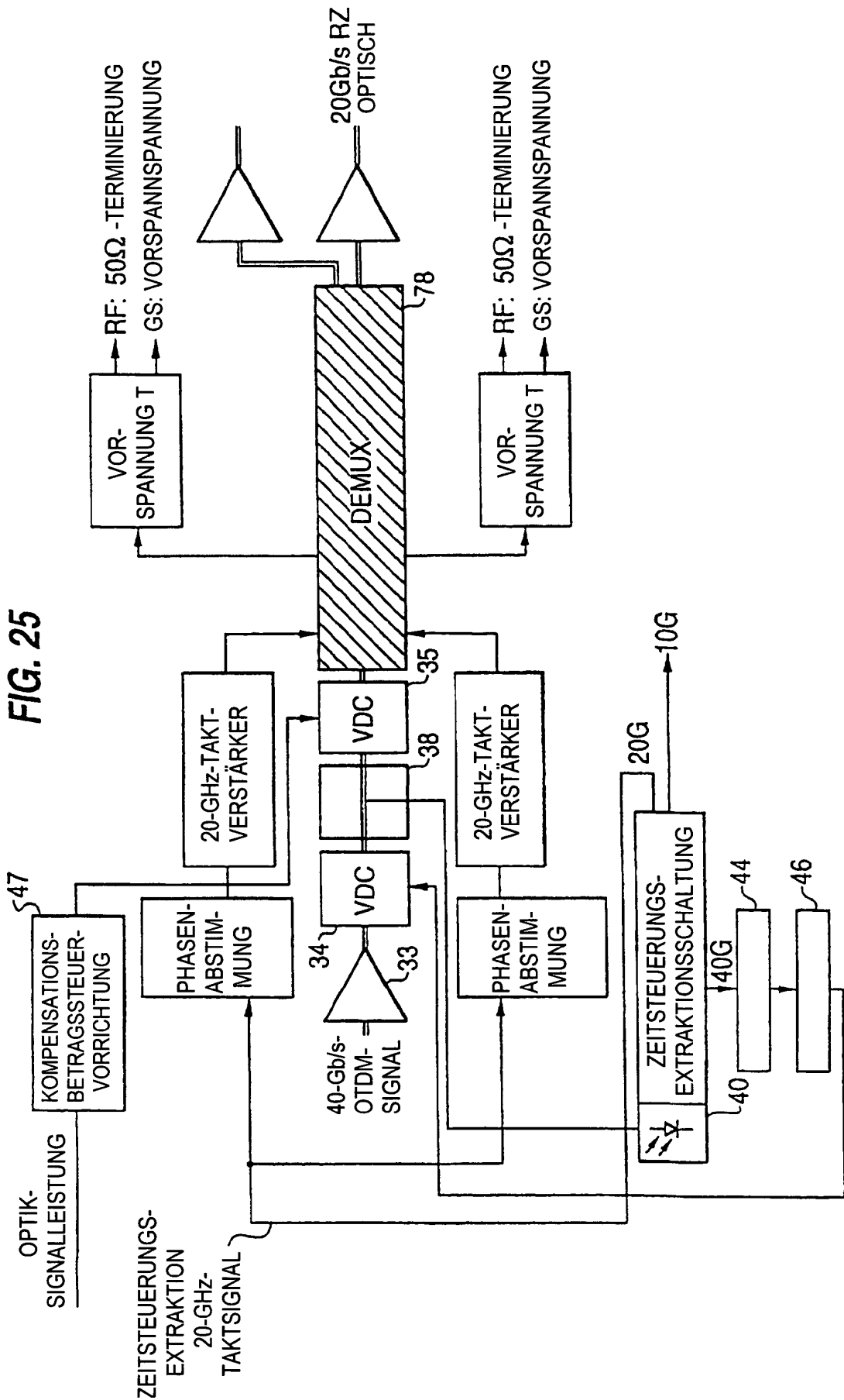
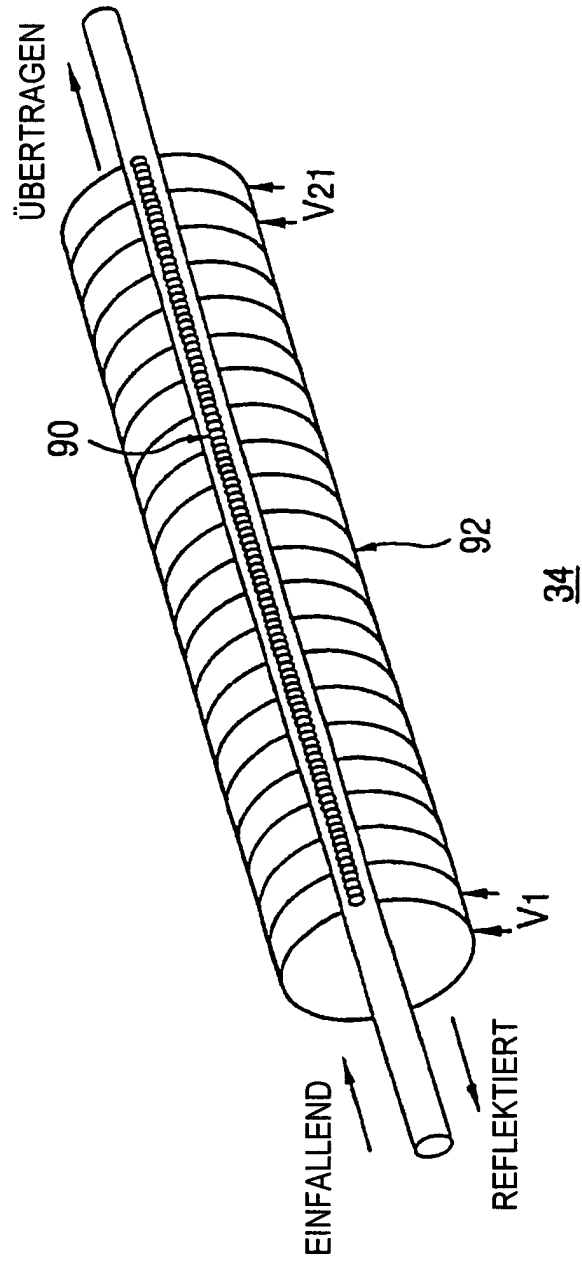
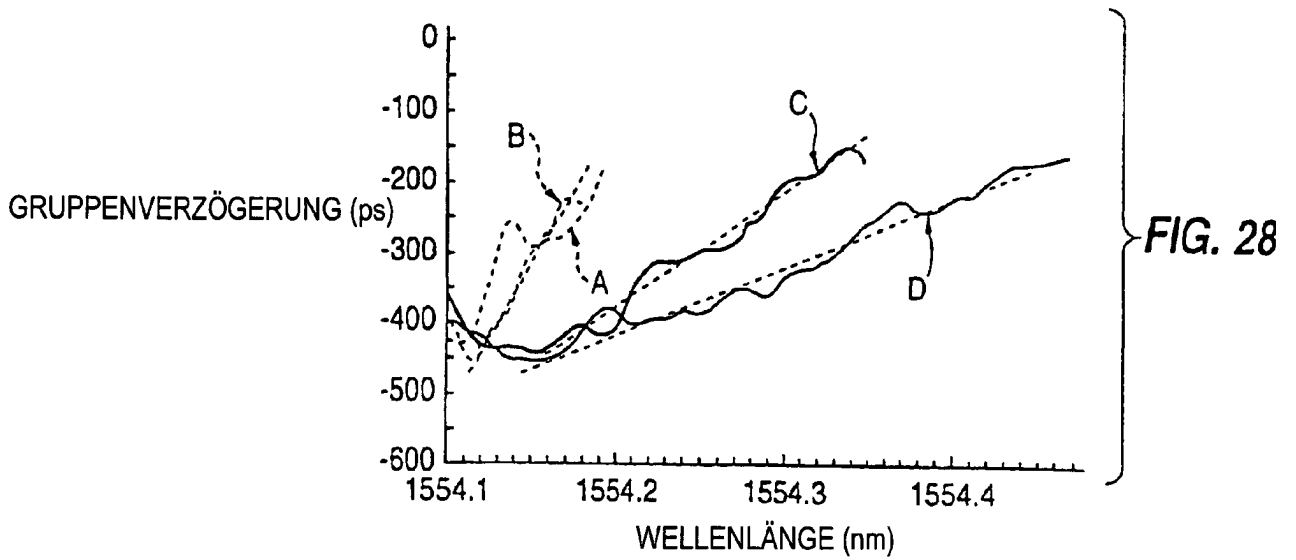
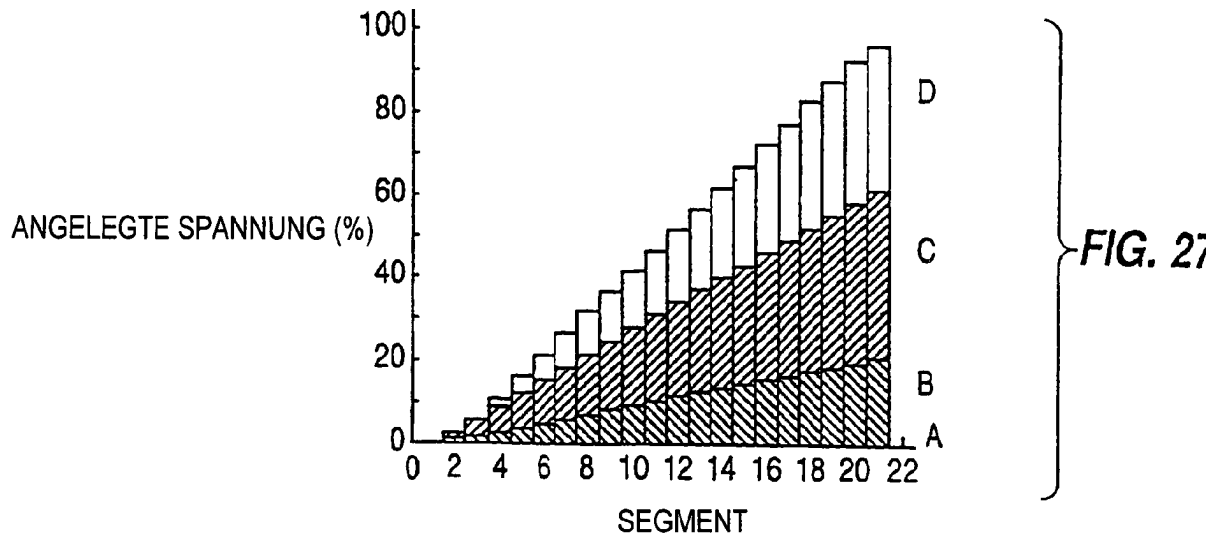
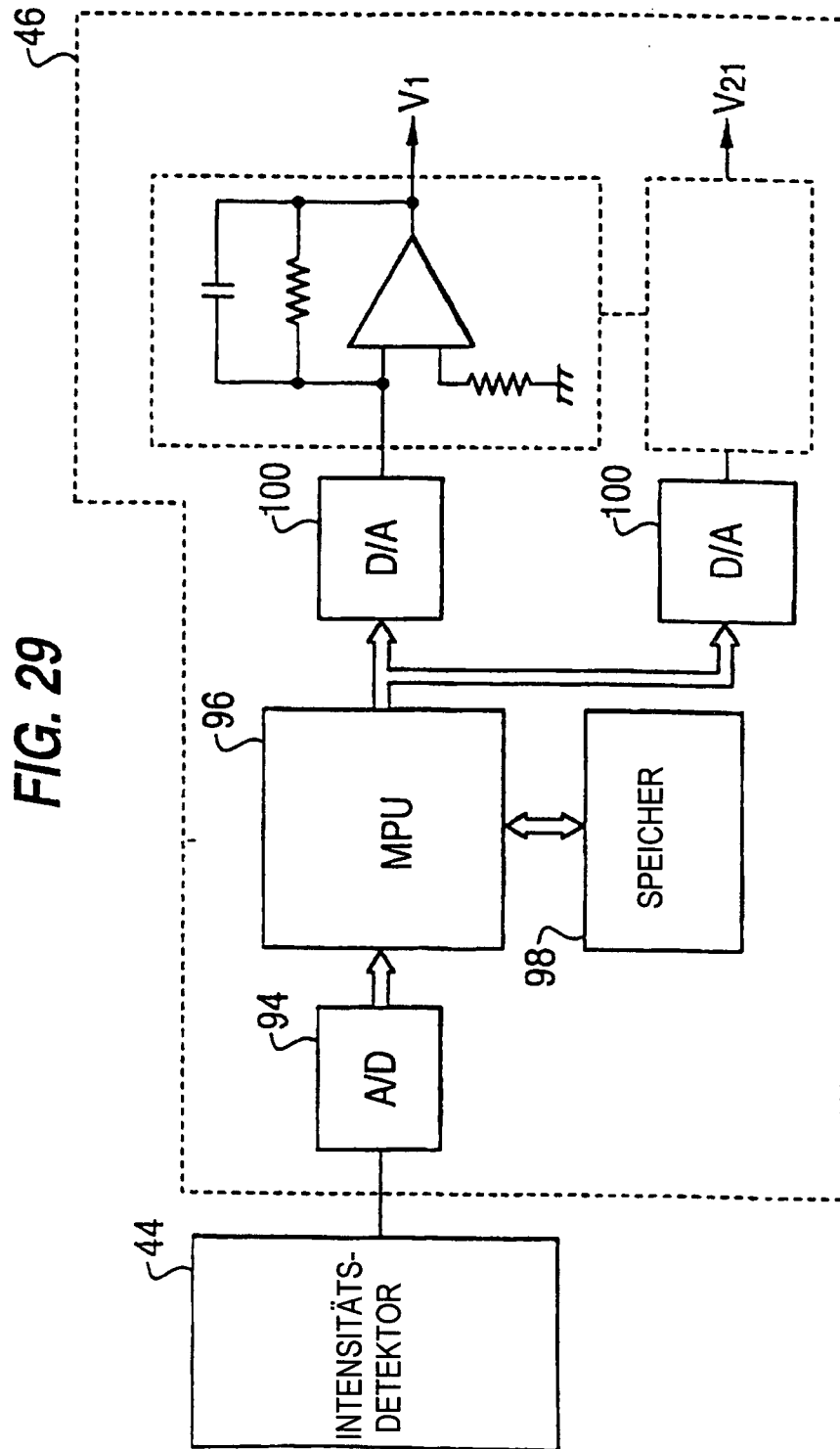


FIG. 26







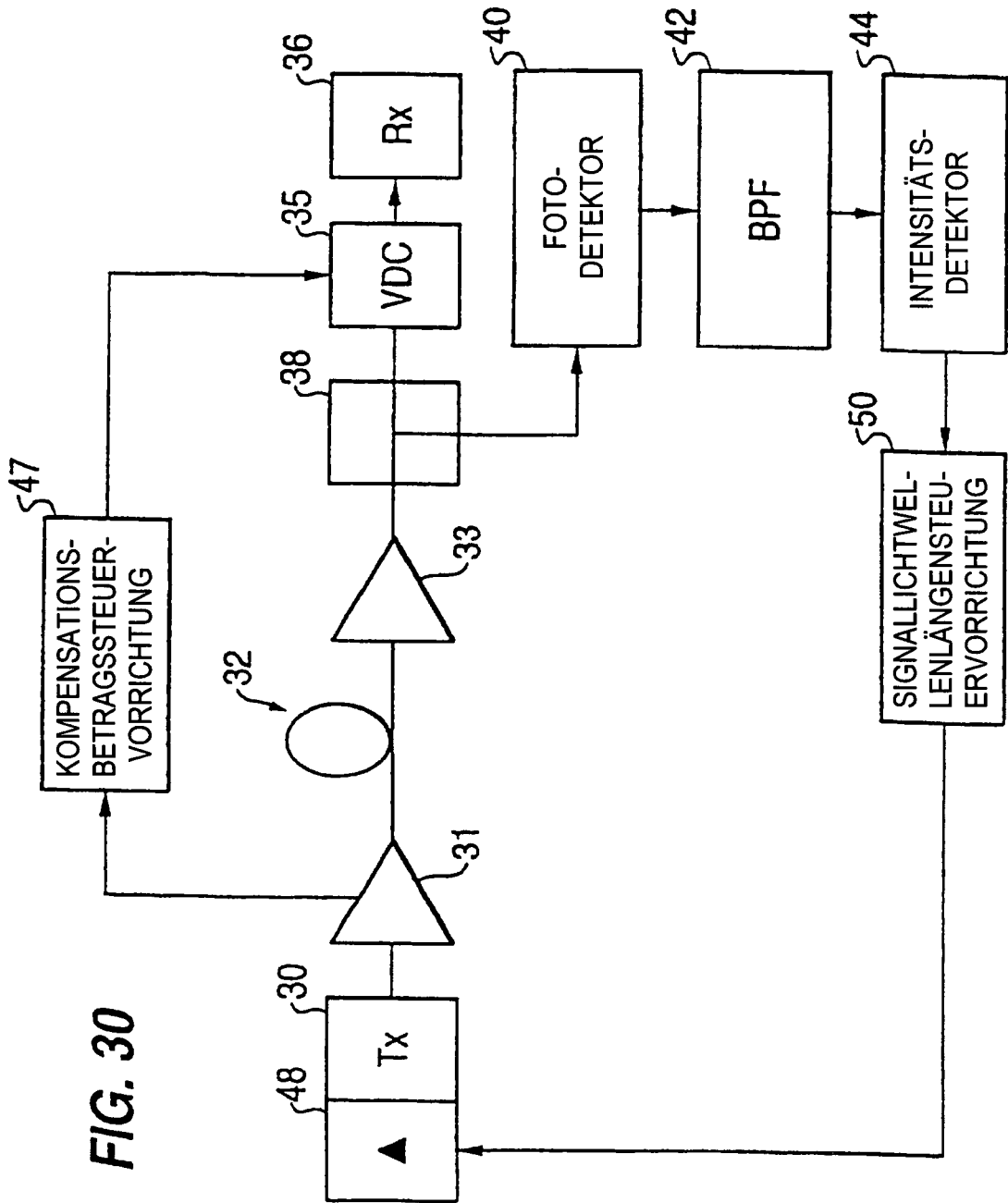


FIG. 30

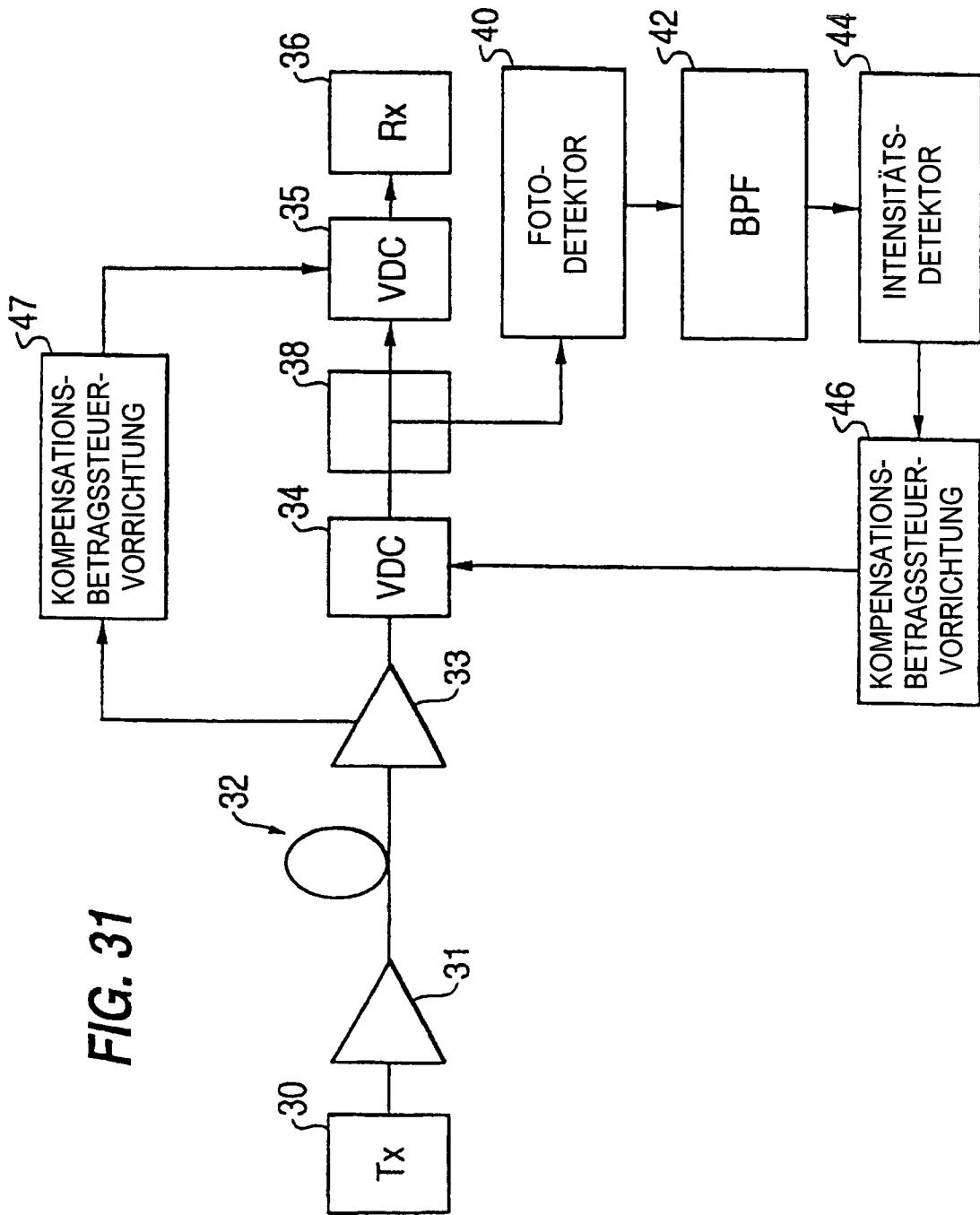


FIG. 31

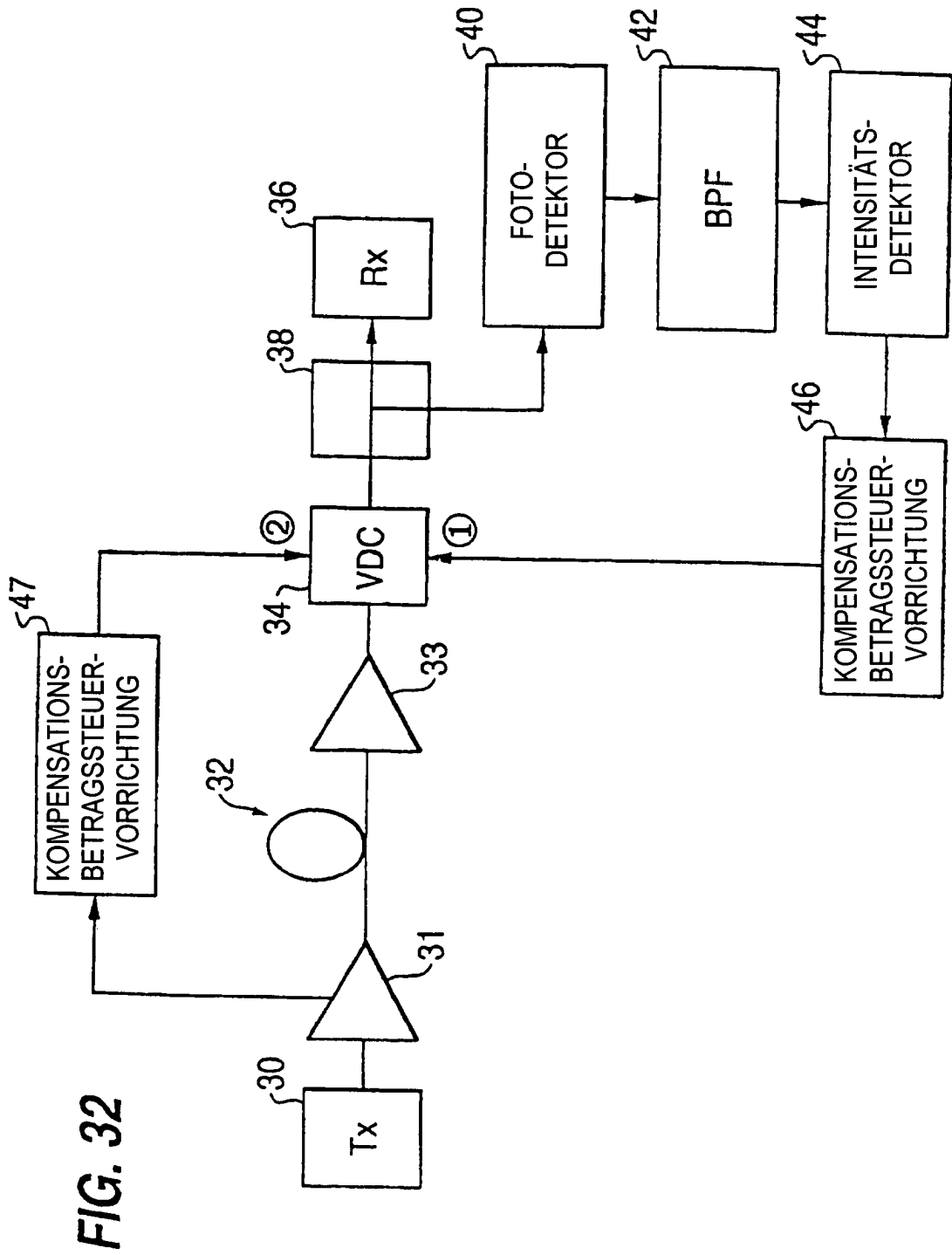
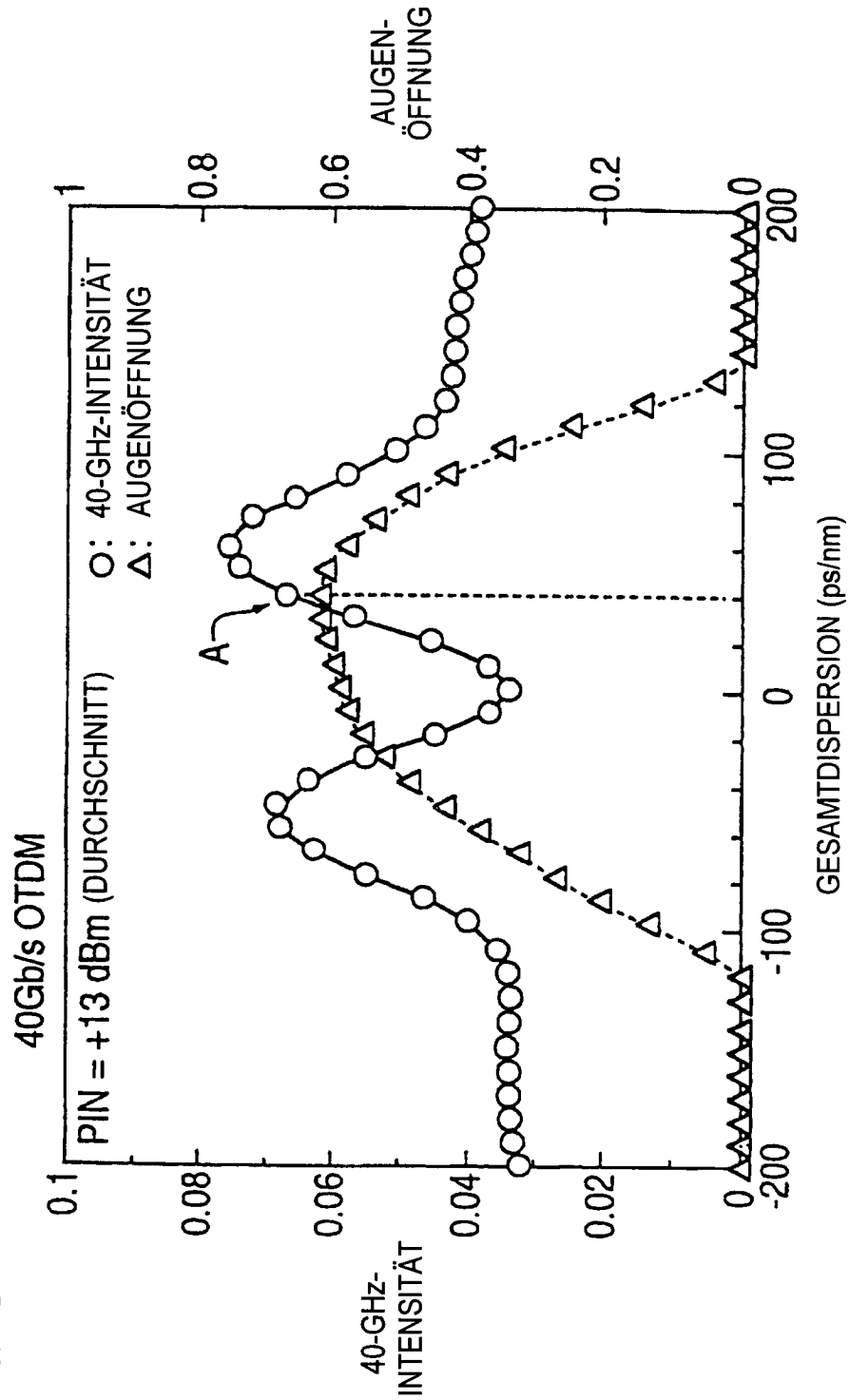


FIG. 32

FIG. 33



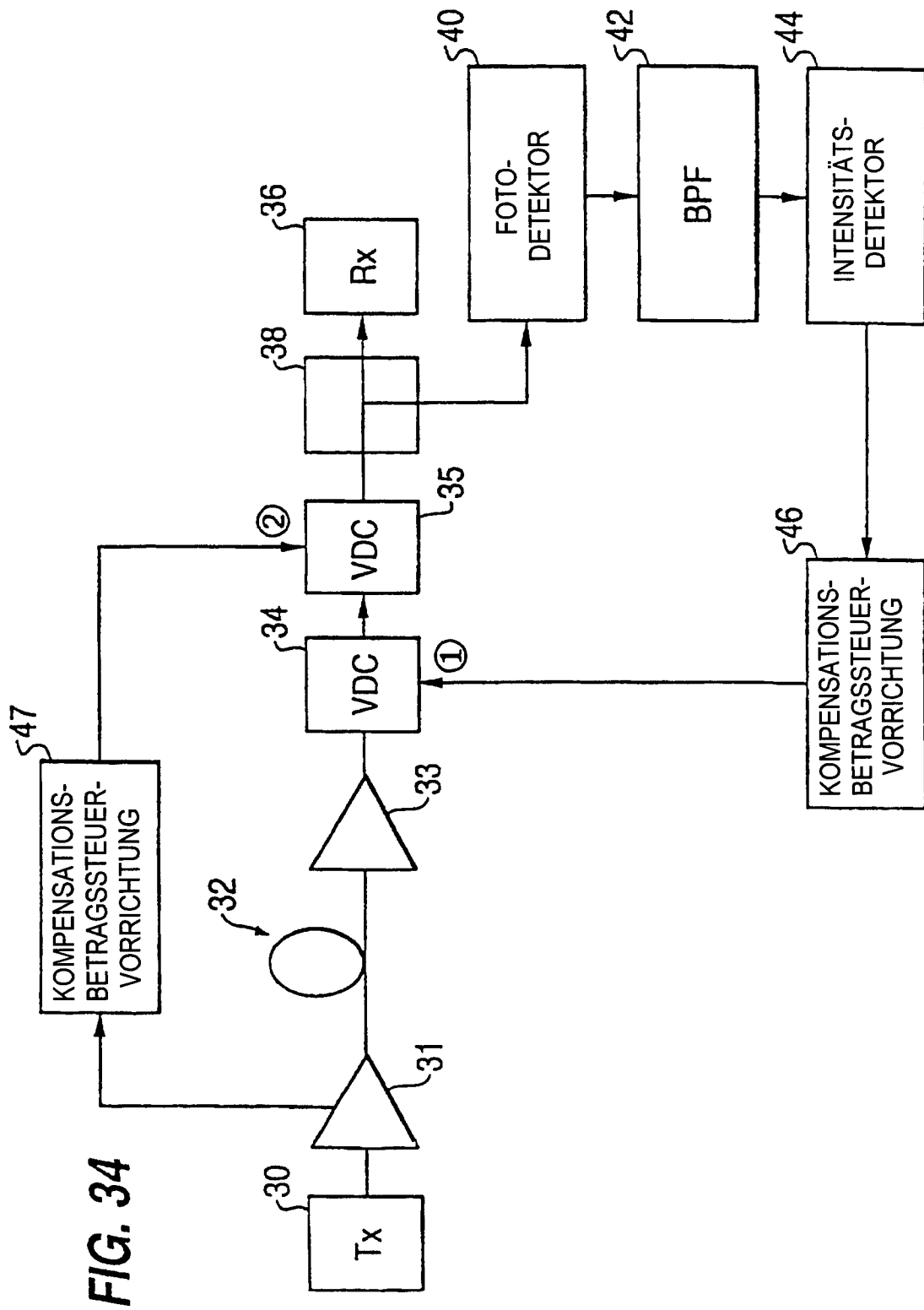


FIG. 34

FIG. 35

