



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 01 200 T2 2005.09.22**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 241 804 B1**

(51) Int Cl.7: **H04B 10/04**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 01 200.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 251 800.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **13.03.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.09.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.09.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.09.2005**

(30) Unionspriorität:

276070 P 15.03.2001 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR

(73) Patentinhaber:

Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(72) Erfinder:

Eggleton, Benjamin J., Summit, New Jersey 07901, US; Mahgerefteh, Daniel, Los Angeles, California 90024, US; Steinvurzel, Paul, Jersey City, New Jersey 07306, US; Westbrook, Paul S., Chatham, New Jersey 07928, US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **Quelle für optische Pulse für optische Fernübertragungssysteme**

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

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft optische Impulsquellen und insbesondere eine Quelle modulierter optischer Rückkehr-Zu-Null-Impulse, die insbesondere in optischen Fernkommunikationssystemen nützlich ist.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Rückkehr-Zu-Null-Impulsquellen sind wichtige Komponenten in faseroptischen Kommunikationssystemen mit Wellenlängenmultiplex (WDM-Systemen und dichten WDM-Systemen). Optische Rückkehr-Zu-Null-Impulse (RZ-Impulse) sind optische Impulse, deren Leistungspegel auf im wesentlichen null abfällt. WDM-Systeme senden optische Signalimpulse in mehreren Kanälen verschiedener Wellenlänge. Dichte WDM-Systeme (DWDM-Systeme) senden mehr Kanäle. RZ-Impulse, die typischerweise Impulsbreiten in der Größenordnung von 50 Pikosekunden oder weniger aufweisen, sind die bevorzugten optischen Impulse für WDM- und DWDM-Systeme, insbesondere für Fernübertragung (über große Distanzen). Besonders bevorzugt sind RZ-Impulse, wie z.B. Solitons, die ihre Impulsformintegrität über lange Faserlängen hinweg bewahren. Als Folge ihrer kurzen Dauer und Widerstandsfähigkeit gegenüber Dispersion wurde Solitons als die bevorzugten Signalimpulse für in Betracht gezogene schnelle Fernübertragungssysteme (10 Gb/s und 40 Gb/s) gewählt. Solche Systeme erfordern kostengünstige, kompakte, leistungsfähige und jitterfreie Quellen von Solitonimpulsen.

[0003] Obwohl es mehrere RZ-Impulsquellen gibt, weisen sie alle technische Unzulänglichkeiten für diese in Betracht gezogenen Systeme auf. DFB-Laser (Distributed Feedback) stellen typischerweise die optische Leistung zur Erzeugung von Solitonimpulsen bereit. Bei Verstärkungs-umgeschalteten und gefilterten DFB-Lasern kommt es zu Zeitsteuerungs-Jitter, wodurch die Übertragungsdistanz begrenzt wird (Mollenauer, et al., Electronics Letters 27, 178–179 (1991)). Modenverriegelte Laser mit externem Resonator erfordern mechanische Stabilität und weisen eine Wiederholungsrate, die durch die Resonatorlänge bestimmt wird, auf (Morton, et al., Institute of Electronics and Electrical Engineers (IEEE) Photonics Technology Letters, 5, 28–31 (1993)). Diskrete Elektroabsorptionsmodulatoren (EA-Modulatoren) können Impulse aus einem CW-Signal herauschneiden, weisen jedoch einen hohen Verlust von 8–10 dB auf. Eine integrierte Laser-/Elektroabsorptionsimpulsquelle ist potentiell eine machbare Lösung. Die optische Leistung, die elektrische Bandbreite und ein hohes Kontrastverhältnis bleiben jedoch problematisch.

[0004] Derzeitige elektroabsorbitive modulierte Laser (EMLs) mit 10 Gb/s, die für die Nicht-Rückkehr-Zu-Null(NRZ-)Übertragung über kurze Distanzen verwendet werden, sind auf eine Ausgangsleistung von –2 dBm bis 0 dBm beschränkt und weisen Bandbreiten von 11 GHz auf. Außerdem muß für ein höheres Kontrastverhältnis Ausgangsleistung aufgeopfert werden; der Elektroabsorptionsteil muß in die stark absorbierende Spektralregion vorgespannt werden, um ein hohes Kontrastverhältnis zu erzielen.

[0005] Bei 10 GHz ist die Impulsquelle typischerweise ein CW-Laser, dem ein LiNbO₃-Modulator folgt, der sinusförmig mit einem Hochleistungstakt (> 27 dBm) angesteuert wird. Die Hauptnachteile dieser Kombination sind hohe Verluste des Modulators, große Abmessungen und großer Strombedarf. Der LiNbO₃-Modulator weist zusätzlich zu den 3 – 5 dB Verlusten, die durch die Herstellung von Impulsen aus einem CW-Signal entstehen, 5 – 6 dB Kopplungsverluste auf. Da das große V_{π} des Modulators einen Spannungshub von $\sim 7 V_{pp}$ aufweist, weist er eine große Stromaufnahme auf. Zusätzlich erfordern alle obigen Quellen eine Wellenlängenverriegelungsvorrichtung zur Erzielung der Wellenlängenstabilität, die DWDM-Systeme fordern. Eine diskrete Wellenlängenverriegelungsvorrichtung trägt zur Größe bei, während integrierte Wellenlängenverriegelungsvorrichtungen zu einer zusätzlichen Verkomplizierung beitragen. Folglich wird eine verbesserte Solitonimpulsquelle benötigt.

[0006] Aus US-B-6 115 403 ist ein In-Line-Faser-Bragg-Gitter bekannt, das an dem Ausgang eines direkt modulierten DFB-Lasers angekoppelt ist. Durch das Gitter durchgelassenes Licht wird spektral verschmälert und weist ein höheres Lösungsverhältnis auf.

[0007] Aus US-B-5 416 629 ist eine optische Quelle bekannt, wie z.B. ein direkt durch einen digitalen Datenstrom frequenzmodulierter DFB-Laser.

[0008] Aus US-B-5 943 152 ist ein Lasersteuersystem mit einem Mikroprozessor bekannt, das die Wellenlänge des Ausgangslichts des Lasers präzise einstellt, indem die Durchlässigkeit eines an den Ausgang des Lasers angekoppelten faserinternen Bragg-Gitters überwacht wird.

[0009] Aus US-B-5 875 273 ist ein an den Ausgang eines direkt modulierten DFB-Lasers angekoppeltes faserinternes Bragg-Gitter bekannt. Der Ausgang des DFB-Lasers wird spektral verbreitert.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0010] Optische Impulsquellen gemäß der Erfindung werden in den unabhängigen Ansprüchen definiert. Bevorzugte Formen werden in den abhängigen

Ansprüchen definiert.

[0011] Gemäß der Erfindung umfaßt eine modulierte RZ-Impulsquelle eine modulierte Lichtquelle, die optisch an ein stabilisiertes Bragg-Gitterfilter angekoppelt ist, und einen oder mehrere optische Abgriffe. Die Lichtquelle wird vorzugsweise bezüglich Leistung und Frequenz moduliert und weist eine einstellbare Kanalwellenlänge λ auf. Das Bragg-Gitterfilter weist eine Reflektivitätsbandbreite mit einem steilen Reflektivitätsabfall auf und ist vorzugsweise abstimmbare. Eine auf die Abgriffe reagierende Rückkopplungsanordnung hält die Quellenkanalwellenlänge λ am Rand der Reflektivitätsbandbreite zur Formung von RZ-Impulsen. Wenn das Bragg-Gitter stabilisiert ist, hält das Rückkopplungssystem λ auf einem Wert, der mit der Gitterreflektivitätsflanke verknüpft ist, und durch Überlappen mindestens eines Teils des optischen Spektrums der Quelle wandelt es das modulierte Quellenlicht in RZ-Impulse mit hohem Lösungsverhältnis (≥ 12 dB) um. Das Ergebnis ist eine leistungsfähige jitterfreie RZ-Impulsquelle, die kompakt, kostengünstig und leistungseffizient ist.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0012] Die Vorteile, Beschaffenheit und verschiedenen zusätzlichen Merkmale der Erfindung werden bei Betrachtung der nun ausführlich in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen zu beschreibenden Ausführungsbeispiele deutlicher. Es zeigen:

[0013] [Fig. 1](#) ein Blockschaltbild der direktmodulierten RZ-Impulsquelle (DMPS);

[0014] [Fig. 2](#) eine DMPS wie in [Fig. 1](#) gezeigt, wobei Rückkopplung des Verhältnisses des Vorwärts- und reflektierten Signals von dem stabilisierten Bragg-Filter zur Steuerung der DFB-Lasertemperatur gezeigt ist;

[0015] [Fig. 3](#) zwei typische Ausgangsimpulse einer DMPS, die auf einem Graph der Spannung als Funktion der Zeit gezeigt sind; und

[0016] [Fig. 4](#) das spektrale Ansprechverhalten eines PM-Fasergitter-Bragg-Filters für die schnelle Achse der Faser auf einem Graph der Durchlässigkeit als Funktion der Wellenlänge.

[0017] Es versteht sich, daß die Zeichnungen lediglich zur Veranschaulichung der Konzepte der Erfindung dienen und mit Ausnahme der Graphen nicht maßstabsgetreu sind.

BESCHREIBUNG

[0018] Eine optische Impulsquelle zur Erzeugung von RZ-Impulsen mit einer Wellenlänge λ umfaßt eine Lichtquelle mit einstellbare Wellenlänge zur Er-

zeugung von Lichtimpulsen über einen Bereich, der λ enthält. Optisch an die Lichtquelle angekoppelt ist ein stabilisiertes Bragg-Gitterfilter, das bei λ einen Reflektivitätsdämpfungsverlauf mit großer Steigung (≥ 50 dB/nm) aufweist. Einer oder mehrere optische Abgriffe, die an die Lichtquelle und an das Bragg-Gitter angekoppelt sind, greifen Signale ab, die das Licht repräsentieren, das dem Gitter zugeführt wird, und das Licht, das von dem Gitter reflektiert oder durchgelassen wird. Eine auf die abgegriffenen Signale reagierende Rückkopplungsschaltung leitet ein Steuerungssignal zur Einstellung der Wellenlänge der Lichtquelle auf λ ab. Solche Impulsquellen sollen hier als direkt modulierte RZ-Impulsquellen (DMPS) bezeichnet werden.

[0019] Bei nachfolgend beschriebenen vorteilhaften Ausführungsformen von DMPS umfaßt die Lichtquelle einen DFB-Laser, der in bezug auf Leistung und Frequenz moduliert werden kann und der eine einstellbare Kanalwellenlänge λ aufweist. Die Quelle ist vorteilhafterweise durch polarisationserhaltende Faser (PM-Faser) an das Bragg-Gitter angekoppelt. Außerdem ist ein bevorzugtes Bragg-Gitter ein temperaturstabilisiertes Bragg-Gitter, das in einer Umgebung mit geregelter Temperatur angeordnet ist. Die Regelung der Temperatur kann auch das Gitter abstimmen. Die Wellenlänge des Lasers kann durch Temperatureinstellung abgestimmt und durch die Rückkopplungsschaltung gesteuert werden.

[0020] [Fig. 1](#) zeigt eine beispielhafte direktmodulierte RZ-Impulsquelle (DMPS) **100**. Die Impulsquelle **100** umfaßt einen direktmodulierten 1550-nm-DFB-Laser **101**, der aus einem Chip **106** und einem Isolator **107** besteht und durch eine polarisationserhaltende (PM-)Faser **108** an ein Faser-Bragg-Gitterfilter **103** angekoppelt ist. Der Laser **101** ist hoch über der Schwelle vorgespannt und wird mit einem Taktsignal auf 10 GHz moduliert, das an dem Eingang **109** mit dem DFB-Laser verbunden ist, um ein intensitätsmoduliertes Signal mit einem Kontrastverhältnis von 3 an dem optischen Ausgang **110** zu erzeugen. Impulse werden erzeugt, wenn das Bragg-Gitterfilter **103** die hochfrequente Flanke des modulierten Signals herausfiltert.

[0021] Der Richtungsabgriff **105** sucht das auf das Filtergitter **103** einfallende Licht und das von dem Filtergitter reflektierte Licht heraus und lenkt es zu den beiden auf jeder Seite der Faser **108** angeordneten Detektoren **104**. Nützliche Abgriffe sind z.B. ein (nicht gezeigter) verschmolzener Faser-PM-Koppler oder ein geneigter Gitterabgriff **105**. Der geneigte Gitterabgriff ist kompakter als ein PM-Koppler.

[0022] Eine in [Fig. 2](#) gezeigte elektronische Rückkopplungsschaltung **200** (Elektronik in Blockform **201** gezeigt) verriegelt durch Regelung der Temperatur des Lasers **101** über das Temperaturregelement

205 die Laserwellenlänge auf die Filterflanke. Dies kann sie erreichen, indem das Verhältnis **202** der beiden detektierten Signale **104** auf einem konstanten Pegel **203** gehalten wird.

[0023] Bei der bevorzugten Ausführungsform wird, damit das Fasergitterfilter eine Wellenlängenreferenz bereitstellt, das Gitterfilter temperaturstabilisiert. Dies läßt sich mit einem (thermoelektrischen) TE-Kühler erreichen, aber bei einer kompakteren Lösung wird ein abstimmbares Fasergitterfilter verwendet. Dieser Aspekt der thermischen Regelung unterscheidet sich von der Temperaturregelung des DFB-Lasers. Ein temperaturabstimmbares PM-Faser-Bragg-Gitter kann mit einem dünnen Metallfilmheizelement auf der Faser konstruiert werden. Es erzeugt ähnliche Impulseigenschaften wie die mit einem Standard-Fasergitterfilter erhaltenen. Die Wellenlänge kann mit einem maximalen Stromverbrauch von 0,5 W über ~ 1,3 nm abgestimmt werden.

[0024] Für Sender der nächsten Generation, die zwischen benachbarten DWDM-Kanälen abgestimmt werden müssen, kann ein abstimmbares Filtergitter verwendet werden. Die Temperaturabstimmbarkeit kann die Anzahl von Fasergittercodes reduzieren, die zum Bereitstellen von Kanälen in der Wellenlängenspanne erforderlich ist. Solche Heizelemente auf der Faser können auch zur Stabilisierung der Temperatur und deshalb der Wellenlänge der Gitterresonanz verwendet werden, so daß der TE-Kühler ersetzt wird. Eine elektronische Steuerschaltung, die diese Verfahren verwendet, zeigte eine Wellenlängenstabilität von ± 1 GHz durch Verriegeln der Laserwellenlänge auf die Flanke des Faser-Bragg-Gitterfilters.

[0025] Die Erfindung kann nun durch Betrachtung der folgenden spezifischen Ausführungsform besser verstanden werden.

Beispiel

[0026] Bei der Ausführungsform von [Fig. 2](#) wurde der Gitterabgriff durch einen 2x2-PM-Faserkoppler ersetzt. Ein typischer Ausgangsimpuls für den Benchtop-Prototyp ist in [Fig. 3](#) gezeigt. Der Laser wurde auf 80 mA vorgespannt und mit ~ 15–18 dBm HF-Leistung bei 10,664 GHz moduliert. Die Laserwellenlänge wurde auf die lange Wellenlängendurchlaßflanke des Gitters abgestimmt, um einen Teil der hochfrequenten Seitenbänder des modulierten Laserausgangssignals zu entfernen und Impulse zu produzieren. Die Impulsbreite kann durch Erhöhen der HF-Leistung von 34 ps auf 27 ps abgestimmt werden ([Fig. 3](#), Kurve (a) und Kurve (b)). Die Laserwellenlänge mußte zwischen den Fällen (a) und (b) um 0,05 nm korrigiert werden. Die Kurve (a) von [Fig. 3](#) hatte eine Halbwertsimpulsbreite (FWHM-Impulsbreite) von 34 ps, ein Kontrastverhältnis von 19,8 dB und eine Ausgangsleistung von 6,8 dBm, RMS, mit

einer spektralen Breite von 6, 16 GHz. Die Kurve (b) von [Fig. 3](#) hatte eine FWHM-Impulsbreite von 27,7 ps, ein Kontrastverhältnis von > 15 dB (unbestimmt aufgrund von elektronischem Klingeln), eine Ausgangsleistung von 8,4 dBm, RMS und eine Impulsspektralbreite von 7,96 GHz. Wie in dem Graph von [Fig. 4](#) gezeigt, hatte das polarisationserhaltende Faser-Gitterfilter eine BW von 0,47 nm und eine Steigung von ~ 133 dB/nm an der lange Wellenlängen-Durchlaßflanke.

Patentansprüche

1. Optische Impulsquelle zum Erzeugen von RZ-Impulsen mit einer Wellenlänge λ , umfassend: eine modulierte Lichtquelle (**106**) zum Erzeugen optischer Impulse über ein optisches Spektrum, das λ enthält, wobei die Quelle bezüglich Leistung und Frequenz moduliert wird; ein Bragg-Gitter (**103**) mit einem Filterfrequenzgang, wobei das Gitter an die Lichtquelle angekoppelt und stabilisiert ist, so daß der Filterfrequenzgang über einem Bereich liegt, der mindestens einen Teil des optischen Spektrums der Quelle überlappt; **dadurch gekennzeichnet**, daß die optische Impulsquelle ferner folgendes umfaßt: einen an die Lichtquelle und das Bragg-Gitter angekoppelten geneigten Gitterabgriff (**105**) zum Abgreifen eines dem Gitter zugeführtes Licht repräsentierenden Signals und eines von dem Gitter reflektiertes oder durchgelassenes Licht repräsentierenden Signals; und eine auf die abgegriffenen Signale reagierende Rückkopplungsschaltung (**200**) zum Einstellen der Wellenlänge λ der Lichtquelle, wobei sich das Bragg-Gitter und der geneigte Gitterabgriff in einem einzigen Gehäuse (**102**) befinden.

2. Optische Impulsquelle zum Erzeugen von RZ-Impulsen mit einer Wellenlänge λ , umfassend: eine modulierte Lichtquelle zum Erzeugen optischer Impulse über ein optisches Spektrum, das λ enthält, wobei die Quelle bezüglich Leistung und Frequenz moduliert wird; ein Bragg-Gitter mit einem Filterfrequenzgang, wobei das Gitter an die Lichtquelle angekoppelt und stabilisiert ist, so daß der Filterfrequenzgang über einem Bereich liegt, der mindestens einen Teil des optischen Spektrums der Quelle überlappt; **dadurch gekennzeichnet**, daß die optische Impulsquelle ferner folgendes umfaßt: einen an die Lichtquelle und das Bragg-Gitter angekoppelten verschmolzenen Faser-PM-Koppler zum Abgreifen eines dem Gitter zugeführtes Licht repräsentierenden Signals und eines von dem Gitter reflektiertes oder durchgelassenes Licht repräsentierenden Signals; und eine auf die abgegriffenen Signale reagierende Rückkopplungsschaltung zum Einstellen der Wellenlänge λ der Lichtquelle,

wobei sich das Bragg-Gitter und der verschmolzene Faser-PM-Koppler in einem einzigen Gehäuse (102) befinden.

3. Optische Impulsquelle nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Rückkopplungsschaltung die Form von das Filter durchlaufenden Impulsen einstellt, um RZ-Impulse zu erzeugen.

4. Optische Impulsquelle nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Lichtquelle einen DFB-Laser umfaßt.

5. Optische Impulsquelle nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das Bragg-Gitter durch polarisationserhaltende optische Faser an die Quelle angekoppelt ist.

6. Optische Impulsquelle nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das Bragg-Gitter ein Faser-Bragg-Gitter umfaßt, das durch Anordnung in einer Umgebung mit geregelter Temperatur stabilisiert wird.

7. Optische Impulsquelle nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das Bragg-Gitter abstimmbar ist.

8. Optische Impulsquelle nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Lichtquelle einen temperatur-einstellbaren DFB-Laser umfaßt und die Rückkopplungsschaltung eine auf die abgegriffenen Signale reagierende elektronische Schaltung zum Einstellen der Temperatur des Lasers umfaßt.

9. Optische Impulsquelle nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das Bragg-Gitter eine PM-(polarisationserhaltende) Faser umfaßt.

10. Optische Impulsquelle nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei eine Wellenlängenansprechkurve die optische Übertragungsfunktion des Gitters repräsentiert und die Wellenlänge λ der Lichtquelle mit einer Flanke der Gitter-Wellenlängenansprechkurve verriegelt ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

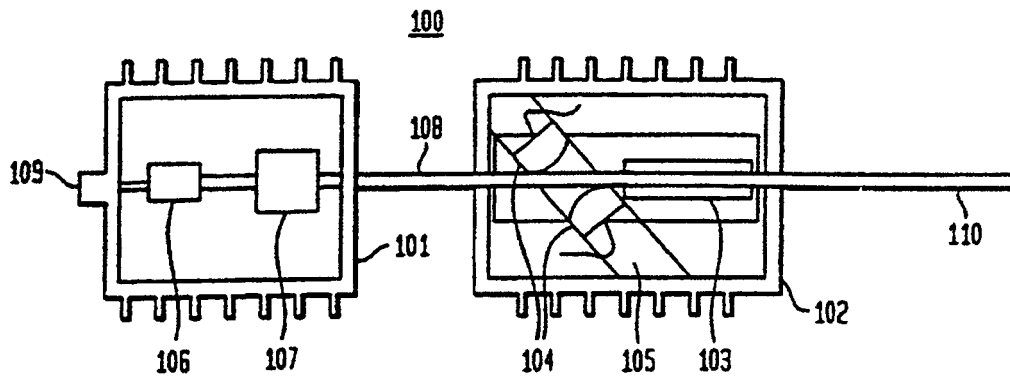


FIG. 2

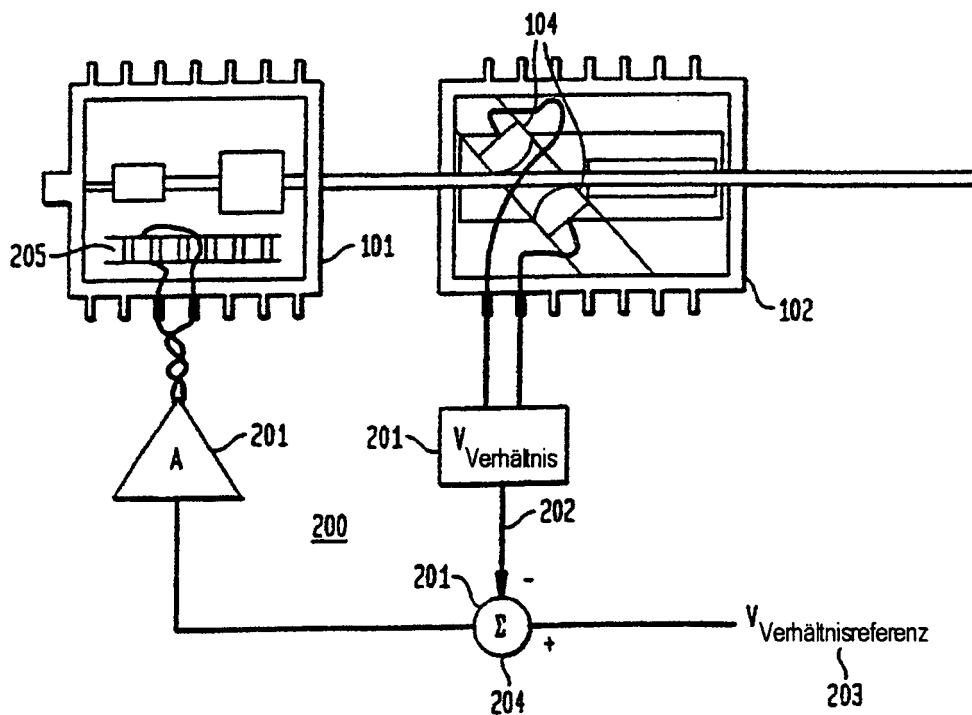


FIG. 3

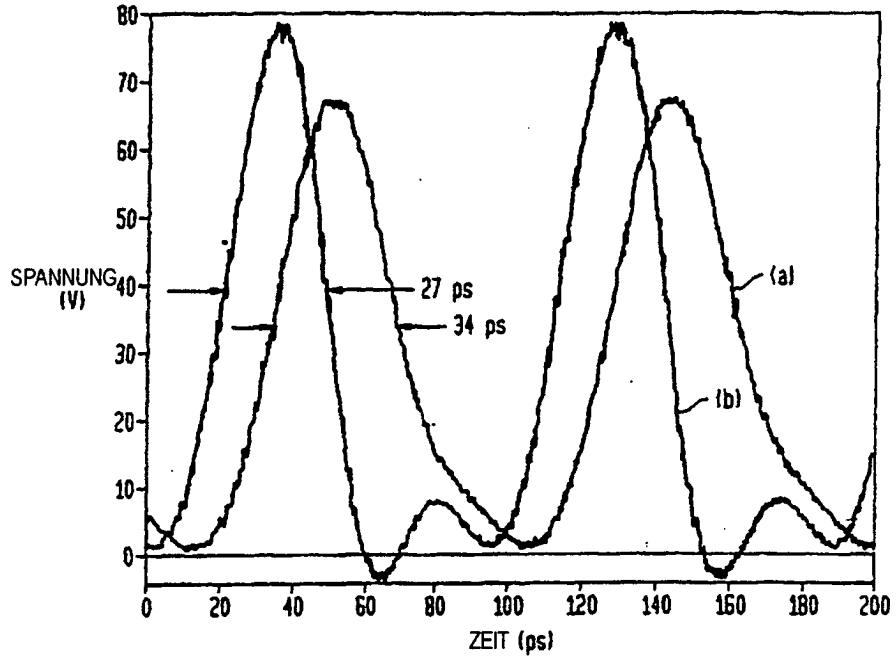


FIG. 4

