



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 601 07 088 T2 2005.03.31

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 298 831 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 601 07 088.7

(96) Europäisches Aktenzeichen: 01 440 315.8

(96) Europäischer Anmeldetag: 27.09.2001

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 02.04.2003

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 10.11.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 31.03.2005

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: H04L 7/00  
G02F 2/00

(73) Patentinhaber:

Alcatel, Paris, FR

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

(74) Vertreter:

Patentanwälte U. Knecht und Kollegen, 70435  
Stuttgart

(72) Erfinder:

Brindel, Patrick, F-91310 Longpont S/Orge, FR

(54) Bezeichnung: Ein CS-RZ optischer Taktgenerator und ein resynchronisierter optischer Multiplexer, der solch einen Generator enthält

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 eingereicht, 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

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen CS-RZ optischen Taktgenerator, der eine hohe Taktfrequenz hat, und auf jede optische Einrichtung, die einen solchen Generator enthält, wie zum Beispiel ein resynchronisierter optischer Multiplexer. Die Erfindung gilt insbesondere für optische Übertragungssysteme, die mit sehr hohen Bitraten arbeiten.

**[0002]** Auf herkömmliche Weise ist die spektrale Leistungsdichte eines optischen RZ-(Return-to-Zero)-Signals relativ breit, da eine große Anzahl von Übergängen im Signal zu übertragen ist. Weil die übertragene Energie sich somit über einen weiten Frequenzbereich erstreckt, ist ein RZ-Signal empfindlich gegen Gruppengeschwindigkeits-Dispersion (GVD), d. h. gegen chromatische Dispersion, sowie gegen Vier-Wellen-Mischung (FWM) oder "Nebensprechen" in Systemen mit Wellenlängen-Multiplex. Das RZ-Format hat jedoch den Vorteil, dass es im Vergleich zum NRZ-(Non-Return-to-Zero)-Format wenig durch Selbst-Phasenmodulation (SPM) beeinflusst wird. Es passiert oft, dass die durch optische Nichtlinearitäten in einer Faserleitung induzierte SPM zu einer Störung des optischen Signals führt, durch welche die Reichweite und die Kapazität von optischen Übertragungssystemen verringert werden. Zusätzlich dazu eignen sich RZ-Signale zur Regeneration durch synchrone Modulation.

**[0003]** Umgekehrt ist die spektrale Leistungsdichte eines optischen NRZ-Signals schmäler als die eines RZ-Signals. Im NRZ-Format sind jedoch sowohl die Kapazität als auch die Übertragungsentfernung durch SPM begrenzt. Weiterhin gibt es keine optischen oder elektronischen Regeneratoren, die in der Lage sind, solche Signale mit hohen Bitraten zu verarbeiten. Zusätzlich dazu sind die Mittel zum Empfang solcher Signale nicht für die Integration geeignet und führen oft wegen der Interaktion zwischen aufeinander folgenden "0"- und "1"-Bits zu Verlusten und/oder Verzerrungen, so dass das Extinktionsverhältnis des Signals nach der elektrischen Filterung verschlechtert wird.

**[0004]** Es gibt auch optische Return-to-Zero-Signale mit unterdrücktem Träger (CS-RZ), welche die Eigenschaft haben, dass sie Bits darstellen, die bezogen auf benachbarte Bits bereits eine Phasenverschiebung von 180° haben.

**[0005]** CS-RZ-Signale haben zahlreiche Vorteile gegenüber herkömmlichen Signalen, sowohl RZ als auch NRZ.

**[0006]** In dem Beitrag mit dem Titel "320 Gbit/s ( $8 \times 40$  Gbit/s) WDM transmission over 367 km with 120 km repeater spacing using carrier suppressed return-to-zero format", veröffentlicht in Elec. Letters,

Band 35, Nr. 31, 11. November 1999, legen Y. Miyamoto et al. Experimente offen, die auf einer Übertragungsleitung mit Wellenlängen-Multiplex (WDM) durchgeführt wurden, auf der optische CS-RZ-Signale auf acht Kanälen mit 40 Gigabit pro Sekunde übertragen wurden. Die benutzte Übertragungsleitung enthielt sowohl Einmoden-Fasern als auch Fasern mit inverser Dispersion, um eine mittlere Gesamt-Dispersion von Null zu erzielen. Die Experimente zeigten zuerst, dass CS-RZ-Signale tolerant gegen optische Nichtlinearitäten sind. Sie zeigten auch, dass CS-RZ-Signale mit 40 GBit/s einen Leistungspegel pro Übertragungskanal liefern, der größer ist als der eines herkömmlichen RZ-Signals und dass sie eine spektrale Leistungsdichte pro Kanal zeigen, die schmäler als die herkömmlicher RZ-Signale mit 40 GBit/s ist, so dass die WDM-Kanäle enger nebeneinander liegen können.

**[0007]** Signale mit einer solchen spektralen Effizienz, die es möglich machen, Übertragungsbänder dichter zu besetzen und/oder die Kapazität pro Kanal zu erhöhen, sind somit vorteilhaft für zukünftige Systeme mit dichtem Wellenlängen-Multiplex (DWDM), die eine gewünschte Gesamtkapazität von mehr als Petabit pro Sekunde (PBit/s) haben.

**[0008]** In einem anderen Beitrag mit dem Titel "40 Gbit/s L-band transmission experiment using SBP-tolerant carrier-suppressed RZ format", veröffentlicht in Elec. Letters, Band 35, Nr. 25, 9. Dezember 1999, beschreiben A. Hirano et al. die Verwendung einer optischen Faserverbindung mit Dispersionsverschiebung, insbesondere um die optimalen Dispersions-Stabilitäten von RZ-CS-RZ- und NRZ-Signalen im großen Übertragungs-Frequenzband (L-Band) im Bereich von 1570 Nanometer (nm) bis 1605 nm zu vergleichen, und sie haben ihr Experiment bis zu hohen eingespeisten optischen Leistungspegeln durchgeführt. Aus diesen Artikeln ergibt sich, dass CS-RZ-Signale mit 40 GBit/s die stabilste optimale Dispersion aufweisen und am nächsten an einer Gesamt-Dispersion in der Nähe von 0 Picosekunden pro Nanometer (ps/nm) bleiben. Die Dispersions-Toleranz wird insbesondere durch die Phasenumkehr zwischen benachbarten Bits erklärt, durch die alle Inter-Bit-Störungen beseitigt werden. Weiterhin sorgen CS-RZ-Signale für eine nur geringe Verschlechterung der Empfindlichkeit des Empfängers bei hoher Leistung. Diese Ergebnisse bestätigen auch, dass CS-RZ-Signale weniger empfindlich gegen SPM sind als NRZ-Signale.

**[0009]** In dem zweiten Beitrag enthält der Generator, der die optischen CS-RZ-Signale mit 40 GBit/s erzeugt, einen Mach-Zehnder-Modulator im Gegen-takt-Modus, der mit einem sinusförmigen elektrischen Signal mit einer Frequenz von 20 Gigahertz (GHz) gespeist wird und an dem Zero Bias Point für seine Übertragungsfunktion arbeitet.

**[0010]** Ein anderer Typ von CS-RZ-Taktgenerator beruht auf der Verwendung eines Phasenmodulators zur Änderung der Phase jedes aufeinander folgenden Bits.

**[0011]** Wegen ihrer begrenzten Durchlassbänder ermöglichen es diese Generatoren nach dem bisherigen Stand der Technik zurzeit nicht, stabile CS-RZ-Signale bei einer Modulationsfrequenz von über 40 GBit/s zu erzeugen. Mit anderen Worten sind solche Generatoren ungeeignet zur Erzeugung von CS-RZ-Signalen mit sehr hohen Bitraten. In der Patentanmeldung WO 9719504A, die zu GB2323467 gehört, wird ein Frequenz-Synthesizer mit einer optischen Verzögerungsleitung offen gelegt. Die optischen Signale von zwei modulierten Laserquellen erhält man durch Mischen von Strahlung im Koppler. Durch Messung der Phasendifferenz zwischen den resultierenden modulierten optischen Signalen erhält man ein Rückkopplungssignal. Die Phasendifferenz-Messung bezogen auf ein Signal und optisch verzögerte Signale kann nicht auf Signale mit hohen Frequenzen angewendet werden. Die Auflösung dieser Art von Rückkopplungsschleife ist nicht hoch genug, um eine hohe Frequenz von ungefähr 160 GHz zu erhalten.

**[0012]** Somit ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen CS-RZ optischen Taktgenerator bereitzustellen, der bei einer sehr hohen Frequenz stabil ist.

**[0013]** Zu diesem Zweck bietet die Erfindung einen Generator für ein optisches CS-RZ-Taktsignal bei einer vorher festgelegten Taktfrequenz, wobei der Generator folgendes umfasst:

- Eine erste Laserquelle und eine zweite Laserquelle, die jeweils erste und zweite kontinuierliche Lichtwellen erzeugen, wobei die Laserfrequenz von mindestens einer der Quellen einstellbar ist;
- Kopplungs-Mittel zum Empfang der ersten und zweiten Lichtwellen, die geeignet sind, optische Schwebungen mit einer Schwebungsfrequenz zu erzeugen; und
- Eine optoelektronische Rückkopplung, um eine Servo-Steuerung der Laserquelle(n) mit einstellbarer Frequenz auf eine Weise durchzuführen, dass die Schwebungsfrequenz, die gleich der Differenz zwischen den Laserfrequenzen ist, im Wesentlichen gleich der Taktfrequenz ist.

**[0014]** Dieser Generator der Erfindung beruht nur auf der Verwendung von zwei Laserquellen, die im Dauerbetrieb (CW) und mit Servosteuerung arbeiten. Dies ist ein Unterschied zum bisherigen Stand der Technik, bei dem im Allgemeinen ein elektrischer Hochfrequenz-(HF)-Synthesizer verwendet wird. Wegen der Rückkopplungsschleife ermöglicht es der Generator der Erfindung, Signale derselben Qualität zu erhalten, d. h. mit gleicher Regelmäßigkeit wie Si-

gnale, die unter Verwendung eines solchen HF-Synthesizers erzeugt werden.

**[0015]** Die optischen Schwebungen gemäß der Erfindung sind so konstruiert, dass sie eine sinusförmige Hüllkurve haben, die mit der gewünschten Taktfrequenz moduliert wird. Als Folge davon gibt es keinen Träger, d. h. es wird keine Energie bei einer "Träger"-Frequenz übertragen, die gleich dem Mittelwert der Laserfrequenzen ist. Zusätzlich dazu können die aufeinander folgenden Phasen der Hüllkurve als die alternierende Codierung einer Phase von 0 und einer Phase von p verstanden werden. Der Generator der Erfindung liefert somit ein optisches CS-RZ-Taktsignal mit sehr hoher Frequenz.

**[0016]** Der Generator ist somit gut an zukünftige Generationen von optischen Übertragungs- und Kommunikationssystemen angepasst und kann einfach in sie integriert werden.

**[0017]** In bevorzugten Ausführungen der Erfindung umfasst die optoelektronische Rückkopplungsschleife folgendes:

- Mittel zur optischen Verarbeitung, die so angeordnet sind, ein optisches Signal zu empfangen, das die Schwebungen repräsentiert und sich zur Bildung eines modifizierten optischen Signals eignet;
- Umwandler-Mittel, die so angeordnet sind, dass sie das modifizierte optische Signal empfangen und sich zur Bildung eines elektrischen Messsignals eignen, das eine Frequenz hat, die im Wesentlichen gleich der Schwebungsfrequenz geteilt durch eine ganze Zahl größer als 1 ist; und
- Komparator-Mittel, welche die Differenz zwischen der Frequenz eines elektrischen Vergleichssignals, welches das elektrische Messsignal repräsentiert und einer Referenzfrequenz liefern, die gleich der Taktfrequenz dividiert durch die ganze Zahl ist,

wobei die Komparator-Mittel eine Steuereinrichtung enthalten, um die Laserfrequenz(en) als Reaktion auf die Differenz einzustellen.

**[0018]** Zum Beispiel ist die Referenzfrequenz die Frequenz eines elektrischen Referenzsignals, das von einem HF-Oszillator erzeugt wird. Um zum Beispiel einen Takt mit 160 GHz zu erzeugen, wird ein HF-Oszillator mit zum Beispiel 40 GHz ausgewählt, der eine Betriebsfrequenz für die Rückkopplungsschleife liefert, die weit unter der erzielten Taktfrequenz liegt.

**[0019]** Die Umwandler-Mittel der Erfindung zur Umwandlung des modifizierten optischen Signals in ein elektrisches Messsignal können einen Photodetektor mit einem Durchlassband enthalten, das gleich der Referenzfrequenz ist.

**[0020]** Vorzugsweise können die Umwandler-Mittel der Erfindung ein elektrisches Bandpassfilter enthalten, das nach dem Photodetektor angeordnet und auf eine Filterfrequenz zentriert wird, die gleich der Referenzfrequenz ist.

**[0021]** Weiterhin kann die optoelektronische Rückkopplungsschleife der Erfindung einen variablen elektrischen Phasenschieber enthalten, der so angeordnet ist, einen Teil des elektrischen Messsignals zu empfangen und sich zur Bildung eines phasenverschobenen elektrischen Signals eignet.

**[0022]** Es ist vorteilhaft, wenn die Verarbeitungs-Mittel der Erfindung einen Elektro-Absorptions-Modulator (EAM) enthalten, der so angeordnet ist, dass er das phasenverschobene elektrische Signal und das repräsentative optische Signal empfängt und sich zur Bildung des modifizierten optischen Signals eignet.

**[0023]** Wenn zum Beispiel das repräsentative optische Signal eine Frequenz darstellt, die gleich der Schwebungsfrequenz ist, wird das modifizierte optische Signal auf eine solche Weise moduliert, dass ihre Frequenz im Wesentlichen gleich der Schwebungsfrequenz dividiert durch eine ganze Zahl größer als 1 ist.

**[0024]** Weiterhin kann die optoelektronische Rückkopplungsschleife mindestens einen elektrischen Verstärker enthalten.

**[0025]** Der Generator der Erfindung kann Abtast-Mittel enthalten, die so angeordnet sind, dass sie die optische Schwebung empfangen, und die sich zur Bildung eines repräsentativen optischen Signals mit einer Frequenz eignen, die gleich der Schwebungsfrequenz ist.

**[0026]** Um hohe Bitraten bei einer einzigen Wellenlänge für die Übertragung über große Entfernung mit optischen Fasern zu erreichen, ist eine mögliche Lösung das optische Zeitmultiplex (OTDM), bei dem N Impulszüge codierter Impulse, die einzelne Träger und dieselbe Anfangs-Bitrate haben, kombiniert werden, um einen einzigen Impulszug mit codierten Impulsen mit einer Rate zu erzeugen, die N mal größer ist als die Anfangsrate.

**[0027]** Es ist von Vorteil, dass ODTMs mit neuer Zeitsteuerung (ROTDMs) eine zusätzliche Funktion der Resynchronisation mittels eines optischen Taktes besitzen.

**[0028]** Somit liefert die vorliegende Erfindung auch einen resynchronisierten optischen Multiplexer, der einen optischen Signalgenerator enthält, wie oben beschrieben.

**[0029]** Der Multiplexer der Erfindung arbeitet somit mit einer sehr hohen Bitrate.

**[0030]** Die Eigenschaften und Aufgaben der vorliegenden Erfindung werden durch die folgende detaillierte Beschreibung deutlicher, die mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen gegeben wird, die nur zur Erläuterung dienen und auf keine Weise einschränkend sind.

**[0031]** In den Figuren ist:

**[0032]** **Fig. 1** ein Blockdiagramm eines optischen CS-RZ Taktgenerators der Erfindung in einer bevorzugten Ausführung;

**[0033]** **Fig. 2** ein Satz von Diagrammen, die zeigen, wie sich ein Signal in einer Rückkopplungsschleife ändert, die in dem Generator von **Fig. 1** enthalten ist; und

**[0034]** **Fig. 3** ein Beispiel eines resynchronisierten optischen Multiplexers, der den optischen Signalgenerator aus **Fig. 1** enthält.

**[0035]** **Fig. 1** ist ein Blockdiagramm eines optischen CS-RZ Taktgenerators **100**, der eine bevorzugte Ausführung bildet.

**[0036]** Der Generator **100** erzeugt ein optisches CS-RZ-Taktsignal H mit einer vorher festgelegten Taktfrequenz, z. B. mit 160 GHz.

**[0037]** Der Generator **100** enthält erstens eine erste Laserquelle **1** und eine zweite Laserquelle **2**, die jeweils eine erste kontinuierliche Lichtwelle s1 und eine zweite kontinuierliche Lichtwelle s2 erzeugen. Die erste Laserfrequenz der ersten Laserquelle **1** ist einstellbar und zum Beispiel ungefähr 200 Terahertz (THz), d. h. sie liegt im üblichen Bereich für Übertragungsfrequenzen.

**[0038]** Anschließend empfangen Kopplungs-Mittel, wie z. B. ein optischer Y-Koppler **11** (ein Richtkoppler, der Eingangs-Zweige in einer Y-Konfiguration hat) die erste und die zweite Welle s1 und s2 und kombinieren die erste und die zweite Welle s1 und s2, um optische Schwebungen Sb mit einer Schwebungsfrequenz fb zu liefern, die anfangs ungefähr 160 GHz beträgt.

**[0039]** Die optische Schwebung Sb wird durch eine Übertragungsleitung übertragen, wie z. B. durch eine optische Faser **110**, die sich vom Koppler **11** aus in Abwärtsrichtung befindet.

**[0040]** Abtast-Mittel, wie z. B. ein Y-Koppler **12**, der zwei Ausgangszweige in einer Y-Konfiguration hat, empfangen die optische Schwebung Sb: Der erste Ausgang liefert das Taktsignal H, das über eine ande-

re optische Faser **120** übertragen wurde. Der zweite Ausgang ist an eine optoelektronische Rückkopplungsschleife **101** gekoppelt und liefert ein repräsentatives optisches Signal sb, welches die Schwebung Sb repräsentiert.

**[0041]** Die Schleife **101** enthält optische Verarbeitungsmittel **10**, die durch einen EAM gebildet werden, der insbesondere das repräsentative optische Signal sb empfängt und ein modifiziertes optisches Signal s3 liefert, das dann in Umwandler-Mittel **30** eingespeist wird. Die Umwandler-Mittel **30** liefern ein elektrisches Messsignal s6 an einen Mikrowellen-Koppler **13**, dessen erster Ausgang ein elektrisches Signal s61 an einen variablen Phasenschieber **3** liefert, der ein phasenverschobenes elektrisches Signal s7 liefert, das an den EAM **10** angelegt wird. Der zweite Ausgang liefert ein elektrisches Vergleichssignal s8, das in Komparator-Mittel **40** eingespeist wird.

**[0042]** Die Komparator-Mittel **40** vergleichen das Signal s8 mit einem elektrischen Referenzsignal R, das von einem Mikrowellen-Oszillator **4** mit einer Referenzfrequenz erzeugt wird, die gleich der Taktfrequenz geteilt durch eine ganze Zahl ist. Zum Beispiel wird eine Referenzfrequenz gewählt, die gleich 40 GHz ist. Die Mittel **40** liefern ein elektrisches Steuersignal CD, das dazu dient, die erste Laserfrequenz als Reaktion auf den Vergleich einzustellen.

**[0043]** In dem gezeigten Beispiel bestehen die Umwandler-Mittel **30** aus:

- Einem Photodetektor **31**, z. B. einer Photodiode, die ein Durchlassband hat, das gleich der Referenzfrequenz ist, d. h. 40 GHz, und ein elektrisches Signal s4 liefert;
- Einem elektrischen rauscharmen Verstärker (LNA) **32**;
- Einem elektrischen Bandpassfilter **33**, das auf eine Filterfrequenz zentriert ist, die gleich der Referenzfrequenz ist, d. h. 40 GHz, und ein gefiltertes elektrisches Signal s5 liefert; und
- Einem weiteren Verstärker **34**, der das elektrische Messsignal s6 liefert.

**[0044]** Die Elemente **31**, **32**, **33** und **34** sind in der Reihenfolge zwischen dem Verarbeitungs-Mittel **10** und dem Phasenschieber **3** angeschlossen.

**[0045]** In dem gezeigten Beispiel bestehen die Komparator-Mittel **40** aus einem Mischer **41**, der die Signale R und s8 mischt. Das gemischte Signal s9 wird in eine Steuerungseinrichtung **42** eingespeist, die zur Einstellung der ersten Laserfrequenz dient.

**[0046]** Die Schleife **101** dient somit zur Servo-Steuerung der ersten Laserquelle **1** mit einstellbarer Laserfrequenz auf eine Weise, dass die Schwebungsfrequenz gleich der Differenz zwischen den Laserfrequenzen und im Wesentlichen gleich der Taktfre-

quenz ist.

**[0047]** Der Betrieb der Schleife **101** wird unten mit Bezug auf **Fig. 1** und mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben, die ein Satz von Diagrammen ist, die zeigen, wie das Aussehen des Signals um die Rückkopplungsschleife **101** sich ändert. Im Diagramm ist die Zeit t auf der Abszisse und die Leistung P auf der Ordinate dargestellt.

**[0048]** Der EAM **10** empfängt das optische Signal sb mit der Schwebungsfrequenz fb. Der EAM liefert das optische Signal s3, das amplitudenmoduliert ist und liefert somit eine Frequenz, die im Wesentlichen gleich fb/4 ist, d. h. ungefähr 40 GHz.

**[0049]** Der Photodetektor **31** wandelt dann das optische Signal s3 in ein elektrisches Signal s4 um, das dieselbe Frequenz fb/4 hat. Nach der Verstärkung durchläuft das elektrische Signal das Filter **33**, das ein gefiltertes elektrisches Signal s5 liefert, das dieselbe elektrische Frequenz fb/4 und eine sinusförmige Signalform hat. Das Signal s5 wird vom Verstärker **34** verstärkt, der den Koppler **13** mit einem elektrischen Messsignal s6 mit der Frequenz fb/4 versorgt, die ungefähr gleich 40 GHz ist.

**[0050]** Zusätzlich dazu wird der variable Phasenschieber **3** eingestellt, so dass die Phase des Signals s7, das an den Modulator **10** geliefert wird, es ermöglicht, das gewünschte Signal s3 am Ausgang des Modulators **10** zu erhalten.

**[0051]** Das elektrische Vergleichssignal s8 hat eine sinusförmige Signalform mit der Frequenz fb/4, die im Wesentlichen gleich 40 GHz ist. Das gemischte Signal s9 dient dazu, die Differenz zwischen dem auf 40 GHz eingestellten Referenzsignal und der Frequenz fb/4 zu liefern. Da das Signal s8 von der optischen Schwebung Sb stammt, ist die Frequenzdifferenz eine Anzeige für die Einstellung, die mit der einstellbaren ersten Laserfrequenz vorgenommen werden muss, um Schwebungen Sb und damit ein Taktsignal H mit einer Frequenz zu erhalten, die gleich 160 GHz ist.

**[0052]** Weiterhin hat das resultierende Taktsignal H eine sinusförmige Hüllkurve, die mit 160 GHz moduliert ist (siehe **Fig. 2**). Als Folge davon ist kein Träger vorhanden, d. h. es wird keine Energie bei einer "Träger"-Frequenz übertragen, die gleich dem Mittelwert der Laserfrequenzen ist. Zusätzlich dazu wechseln die aufeinander folgenden Phasen der Hüllkurve H zwischen der Codierung einer Phase von 0 und einer Phase von p.

**[0053]** Der Generator **100** liefert somit optische CS-RZ-Taktsignale mit einer sehr hohen Frequenz.

**[0054]** Um einen extrem stabilen Generator zu er-

halten, beträgt der absolute Fehler, der auf der Schwebungsfrequenz toleriert werden kann, ungefähr 100 Kilohertz (kHz), was einen relativen Fehler von ungefähr  $5 \cdot 10^{-10}$  darstellt.

**[0055]** Fig. 3 ist ein Diagramm einer Ausführung eines resynchronisierten optischen Zeitmultiplexers **200**, der den optischen CS-RZ-Taktgenerator der Erfindung enthält. Ein solcher optischer Multiplexer **200** dient als Wellenlängen-Umwandler.

**[0056]** Der Multiplexer **200** hat zwei optische Datenzugänge **22a**, **22b** und einen optischen Messanschluss **23** (in anderen Ausführungen können mehr als zwei Datenzugänge vorhanden sein). An die optischen Datenzugänge **22a** und **22b** werden zwei optische CS-RZ-Signale **25a**, **25b** angelegt, wobei jedes aus einem Datenstrom mit mehreren Wellenlängen besteht, der N unterschiedliche, vorher verschachtelte Kanäle enthält (in diesem Beispiel ist N = 4). Diese Wellenlängen-Kanäle können aus den Empfehlungen der International Telecommunications Union (ITU) ausgewählt werden, und sie können eng beieinander oder direkt nebeneinander liegen. Jeder dieser Kanäle arbeitet mit einer Bitrate von  $f_h/N$ , wobei  $f_h$  die Frequenz eines optischen CS-RZ-Taktsignals **26** mit einer Wellenlänge  $l_m$  ist, das von einem Generator **100** der Erfindung erzeugt wird. Das optische Taktsignal **26** wird auf eine solche Weise bereitgestellt, dass es mit den optischen Datensignalen **25a** und **25b** synchron ist.

**[0057]** Im Multiplexer **200** wird das ursprüngliche optische Taktsignal **6** umgewandelt, um an einem optischen Ausgang **24** ein CS-RZ-Signal **27** im Zeitmultiplex mit der Bitrate  $f_h$  und derselben Wellenlänge  $l_m$  bereitzustellen. Der optische Multiplexer **200** kann als ein optischer Halbleiterverstärker (SOA) vom Mach-Zehnder-Interferometer-Typ **29** implementiert sein, der sechs optische Halbleiterverstärker A1, ..., A6 enthält. Alternativ dazu ist es auch möglich, einen nichtlinearen optischen Schleifen-Spiegel (NOLM) zu verwenden. Hierbei wird die Verstärkungs-Umwandlungs-Eigenschaft des Multiplexers **200** genutzt.

**[0058]** Wenn zum Beispiel die vier passiv verschachtelten Kanäle mit 40 GHz als Datenstrom mit mehreren Wellenlängen an den optischen Dateneingang angelegt werden, werden sie in dem optischen Multiplexer **200** in einen einzigen Datenstrom mit 160 GBit/s umgewandelt. Die neue Träger-Wellenlänge ist die des optischen Taktsignals  $l_m$  (Messzugang). Ein Filter **28** wird in Abwärtsrichtung vom optischen Datenausgang **24** des optischen Multiplexers **200** angeordnet, um jeden verbleibenden Beitrag der ursprünglichen Datenströme mit mehreren Wellenlängen zu beseitigen. Das Filter **28** ist um  $l_m$  zentriert und lässt nur das umgewandelte optische CS-RZ-Zeitmultiplexsignal **27** durch.

**[0059]** Natürlich wird die obige Beschreibung nur als Beispiel angegeben. Ohne den Umfang der Erfindung zu verlassen, kann jedes Mittel durch ein äquivalentes Mittel ersetzt werden.

**[0060]** Die Taktfrequenz kann eine andere Frequenz als 160 GHz haben und sollte in Abhängigkeit von einer bestimmten Anwendung ausgewählt werden.

**[0061]** Es ist ebenfalls möglich, dass die Referenzfrequenz gleich der durch eine ganze Zahl ungleich Null und nicht gleich vier geteilten Taktfrequenz ist.

**[0062]** Die Erfindung gilt auch für andere optische Einrichtungen, die einen wiederzugewinnenden Takt benötigen.

**[0063]** Durch Verwendung der Erfindung ist es einfach, einen elektro-optischen Multiplizierer zu implementieren, indem das elektrische Referenzsignal durch ein elektrisches Eingangssignal mit einer gegebenen Frequenz ersetzt wird, das in ein optisches Signal mit einer höheren Frequenz umgewandelt werden soll.

### Patentansprüche

1. Ein Generator (**100**) für ein optisches CS-RZ-Taktsignal (H) mit einer vorher festgelegten Taktfrequenz, wobei der Generator folgendes umfasst:

- eine erste Laserquelle (**1**) und eine zweite Laserquelle (**2**), die jeweils erste und zweite kontinuierliche Lichtwellen (s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>) erzeugen, wobei die Laserfrequenz mindestens einer der Quellen (**1**) einstellbar ist;
- Kopplungs-Mittel (**11**) zum Empfang der ersten und zweiten Lichtwellen (s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>), die geeignet sind, optische Schwebungen (S<sub>b</sub>) mit einer Schwebungsfrequenz zu bilden; und
- eine optoelektronische Rückkopplung (**101**) zur Servosteuerung mindestens einer der Laserquellen mit einstellbarer Frequenz (**1**), dadurch gekennzeichnet, dass:
- optische Verarbeitungs-Mittel (**10**), die einen EAM enthalten, der so angeordnet ist, dass er ein phasenverschobenes elektrisches Signal (s<sub>7</sub>), das von einem Phasenschieber (**3**) ausgesendet wird, der ein elektrisches Messsignal verschiebt, und ein optisches Signal (s<sub>b</sub>), das die Schwebungen S<sub>b</sub> repräsentiert, empfängt und die sich zur Formung des modifizierten optischen Signals (s<sub>3</sub>) eignen
- Umwandler-Mittel (**30**), die so angeordnet sind, dass sie das modifizierte optische Signal empfangen und sich zur Bildung eines elektrischen Messsignals (s<sub>6</sub>) mit einer Frequenz, die im Wesentlichen gleich der Schwebungsfrequenz dividiert durch eine ganze Zahl größer als 1 ist, eignen; und
- Komparator-Mittel (**40**), welche die Differenz zwi-

schen der Frequenz eines elektrischen Vergleichssignals (s8), das das elektrische Messsignal (s6) repräsentiert, und einer Referenzfrequenz angeben, die gleich der Taktfrequenz dividiert durch die ganze Zahl ist,

wobei die Komparator-Mittel eine Steuerungseinrichtung (**42**) enthalten, um mindestens eine der Laserfrequenzen als Reaktion auf die Differenz einzustellen.

2. Ein optischer Signalgenerator (**100**) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Umwandler-Mittel (**30**) einen Photodetektor (**31**) enthalten, der ein Durchlassband hat, das gleich der Referenzfrequenz ist.

3. Ein optischer Signalgenerator (**100**) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Umwandler-Mittel (**30**) ein elektrisches Bandpassfilter (**33**) enthalten, das auf einer Filterfrequenz zentriert ist, die gleich der Referenzfrequenz ist.

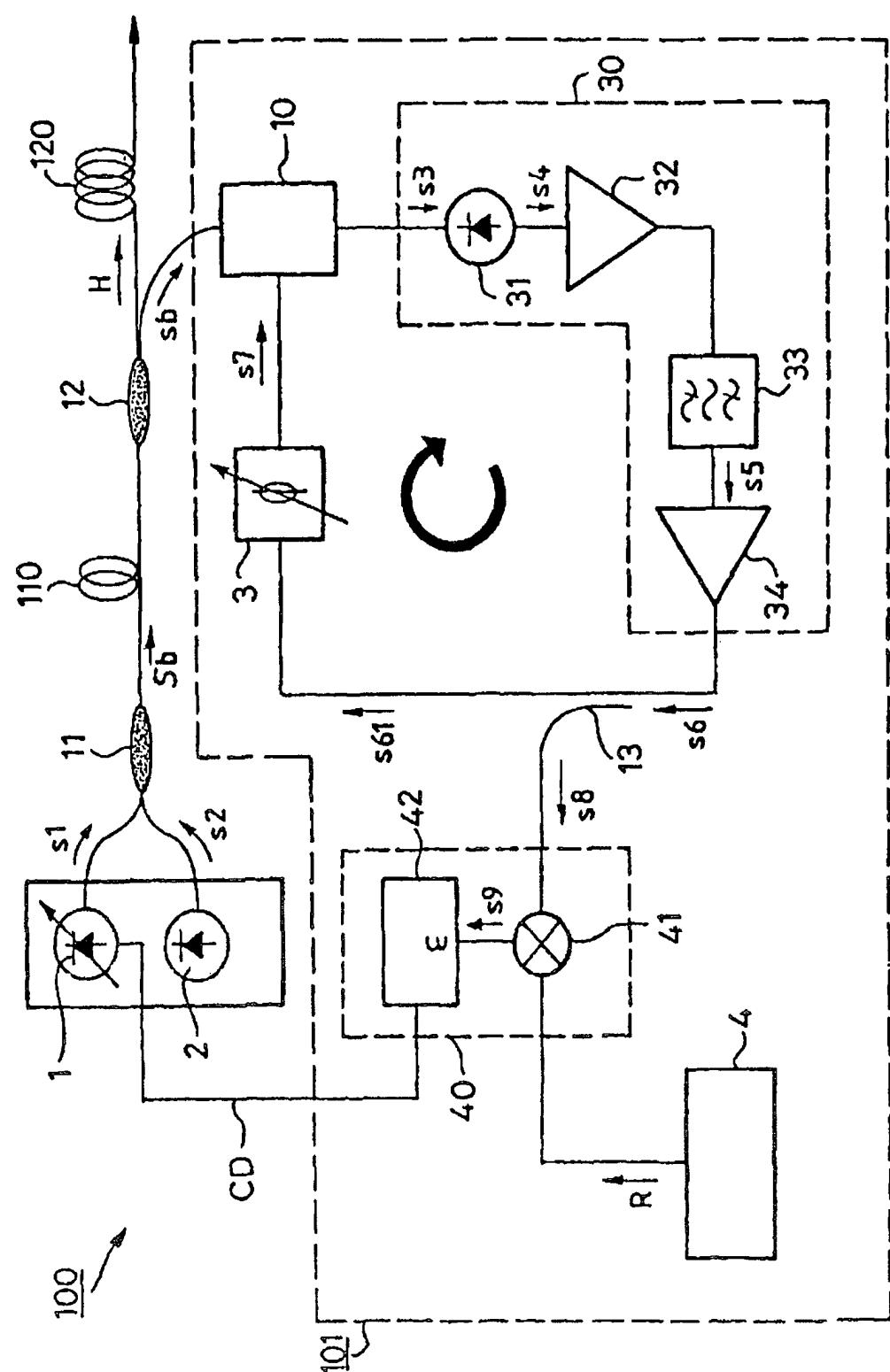
4. Ein optischer Signalgenerator (**100**) gemäß einem beliebigen der Ansprüche 1, dadurch gekennzeichnet, dass die optoelektronische Rückkoppelungsschleife (**101**) einen variablen elektrischen Phasenschieber (**3**) enthält, der so angeordnet ist, dass er einen Teil des elektrischen Messsignals (s61) empfängt und sich zur Lieferung eines phasenverschobenen elektrischen Signals (s7) eignet.

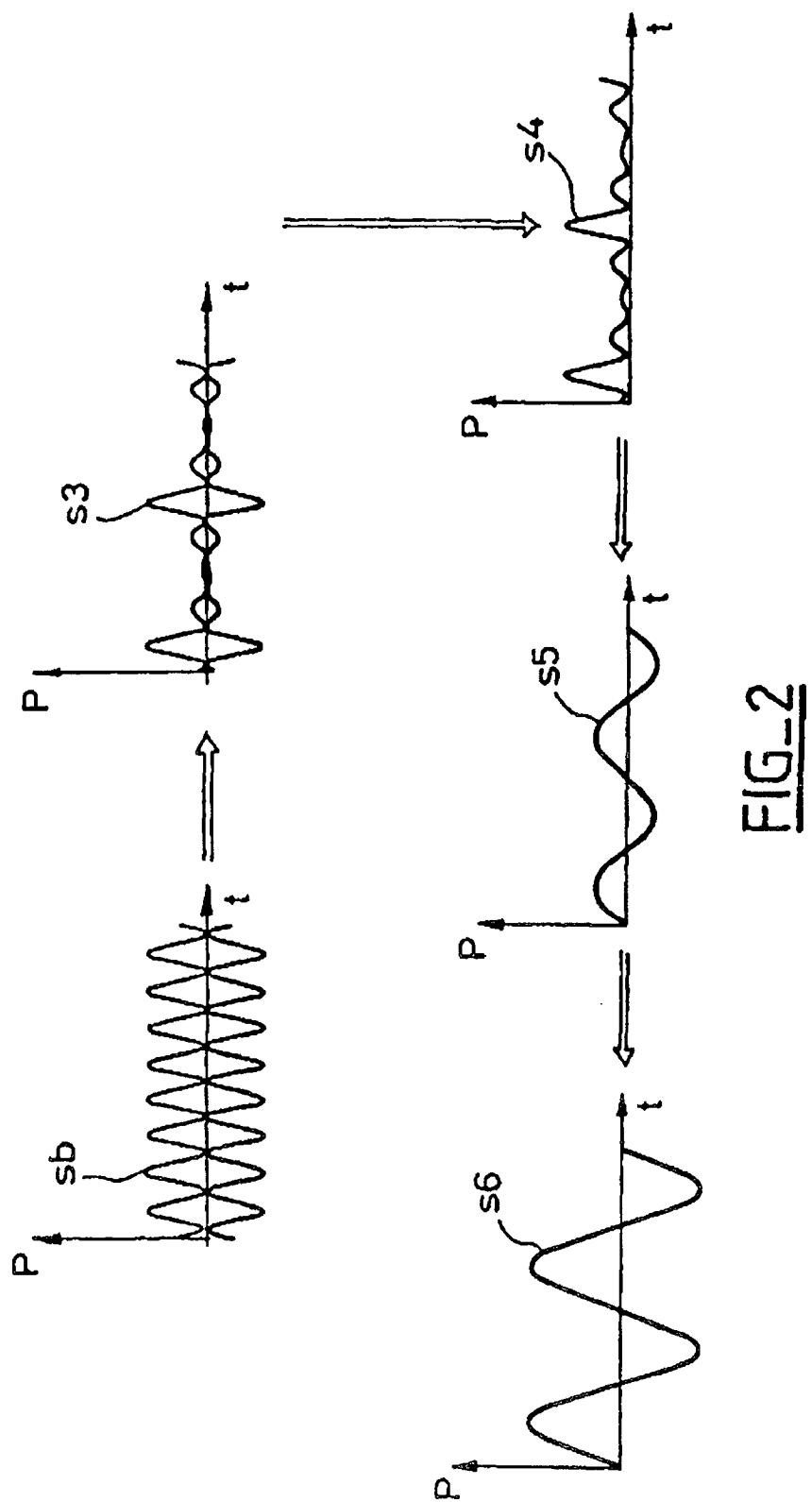
5. Ein optischer Signalgenerator (**100**) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Umwandler-Mittel (**30**) mindestens einen elektrischen Verstärker (**32, 34**) enthalten.

6. Ein optischer Signalgenerator (**100**) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er Abtast-Mittel (**12**) enthält, die so angeordnet sind, dass sie die optischen Schwebungen (Sb) empfangen, und der sich dazu eignet, ein optisches Signal (sb) mit einer Frequenz gleich der Schwebungsfrequenz zu bilden, das für die Schwebungen (Sb) repräsentativ ist.

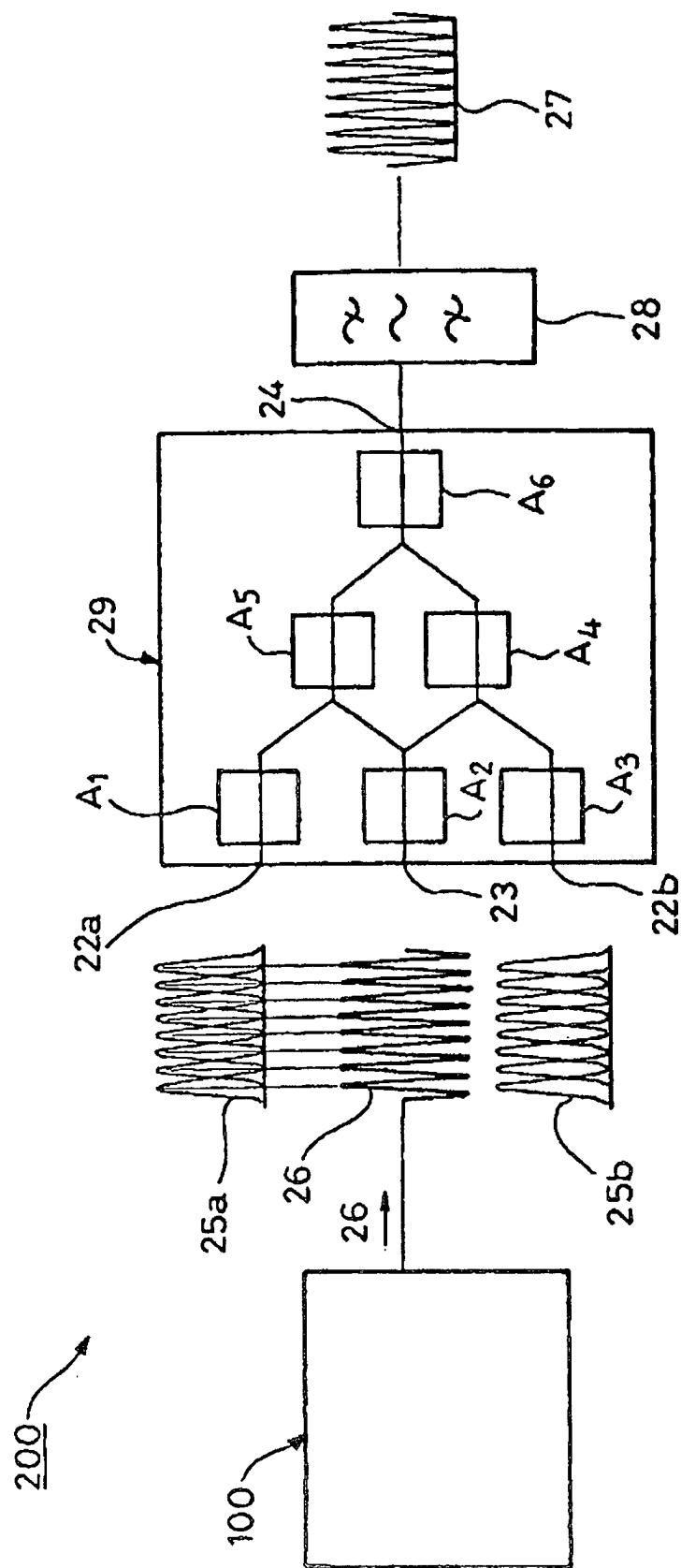
7. Ein resynchronisierter optischer Multiplexer (**200**), der einen optischen Signalgenerator (**100**) gemäß einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 6 enthält.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG-1



FIG\_2



FIG\_3