

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4668701号
(P4668701)

(45) 発行日 平成23年4月13日(2011.4.13)

(24) 登録日 平成23年1月21日(2011.1.21)

(51) Int.Cl.		F I			
HO4B 10/00	(2006.01)	HO4B	9/00	B	
HO4B 10/04	(2006.01)	HO4B	9/00	L	
HO4B 10/06	(2006.01)	HO4B	9/00	M	
HO4B 10/142	(2006.01)	GO2F	1/035		
HO4B 10/152	(2006.01)				

請求項の数 2 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2005-191402 (P2005-191402)
 (22) 出願日 平成17年6月30日(2005.6.30)
 (65) 公開番号 特開2006-20324 (P2006-20324A)
 (43) 公開日 平成18年1月19日(2006.1.19)
 審査請求日 平成20年6月20日(2008.6.20)
 (31) 優先権主張番号 10/881242
 (32) 優先日 平成16年6月30日(2004.6.30)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 596092698
 アルカテルルーセント ユーエスエー
 インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国 07974 ニュージャ
 ーシー, マレイ ヒル, マウンテン アヴ
 ェニュー 600-700
 (74) 代理人 100094112
 弁理士 岡部 譲
 (74) 代理人 100064447
 弁理士 岡部 正夫
 (74) 代理人 100085176
 弁理士 加藤 伸晃
 (74) 代理人 100106703
 弁理士 産形 和央

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 CRZ-DPSK光信号発生のための方法と装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

チャープ・リターン・ツー・ゼロ(CRZ)差動直交位相偏位変調(DQPSK)光信号を発生する装置であって、

データ信号の第1の支流を用いて、第1のリターン・ツー・ゼロ(RZ)駆動信号と第2のRZ駆動信号とを発生する手段と、

同時のRZパルス整形とチャープDPSKデータ変調とを光信号に提供してCRZ-DPSK光信号を発生する、前記第1および第2のRZ駆動信号で駆動される変調器手段と

データ信号の第2の支流に基づいて非リターン・ツー・ゼロ(NRZ)駆動信号を発生する手段と、

前記CRZ-DPSK光信号を受信し、該CRZ-DPSK信号を0又は / 2位相シフトして、CRZ-DQPSK光信号を発生する、前記NRZ駆動信号で駆動される変調器手段とを有する装置。

【請求項2】

チャープ・リターン・ツー・ゼロ(CRZ)差動直交位相偏位変調(DQPSK)光信号を発生する装置であって、

データ信号の第1の支流を用いて、リターン・ツー・ゼロ(RZ)駆動信号の第1の対を発生する手段と、

データ信号の第2の支流を用いて、RZ駆動信号の第2の対を発生する手段と、

10

20

同時の R Z パルス整形とチャープ D P S K データ変調とを光信号に提供して第 1 の C R Z - D P S K 光信号を発生する、前記 R Z 駆動信号の第 1 の対で駆動される変調器手段と

同時の R Z パルス整形とチャープ D P S K データ変調とを光信号に提供して第 2 の C R Z - D P S K 光信号を発生する、前記 R Z 駆動信号の第 2 の対で駆動される変調器手段と

前記第 2 の C R Z - D P S K 光信号を / 2 位相シフトする手段と、
前記第 1 の C R Z - D P S K 光信号と位相シフトした前記第 2 の C R Z - D P S K 光信号とを組み合わせる C R Z - D Q P S K 光信号を発生する手段とを有する装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本出願は 2004 年 5 月 28 日に提出された「Method And Apparatus For RZ - DPSK Optical Signal Generation」という表題の係属出願に関連する。

本発明は一般に光通信の分野に関し、さらに特定するとチャープ・リターン・ツー・ゼロ (CRZ) 差動位相偏移変調 (DPSK) 光信号を発生させるための装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

20

光信号に関するリターン・ツー・ゼロ (RZ) パルス方式は、非リターン・ツー・ゼロ (NRZ) 方式と比較して高い受信器感度および符号間干渉に対する高いイミュニティといった性能の利点を提供することで知られている。DPSK 光伝送もやはり平衡検波と連結されると、優れた受信器感度、高速伝送でのいくつかの主要な非線形効果に対する高い許容値、およびコヒーレント・クロストークに対する高い許容値といった性能利点を提供することが見出された。したがって RZ - DPSK は大容量、長距離の伝送に関して選択の変調方式となる。

【非特許文献 1】A. H. Gnauck の「40 - Gb/s RZ - differential phase shift keyed transmission」、Optical Fiber Communication Conference 2003 (OFC '03)、Paper ThE1

30

【非特許文献 2】A. H. Gnauck の「40 - Gb/s RZ - differential phase shift keyed transmission」、Optical Fiber Communication Conference 2003 (OFC '03)、Paper ThE1

【非特許文献 3】B. Bakhshira の「Comparison of CRZ, RZ, and NRZ modulation formats in a 64x12.3 Gb/s WDM transmission experiment over 9000 km」、Proc. OFC '01、paper WF4、2001 年

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

チャープの無い RZ - DPSK 信号の発生のために提案された仕組みはパルス刻みのためのマッハ - ツェンダー変調器 (MZM) と正確な位相変調のための別の MZM の両方を必要とする。そのような方式は、本明細書に参照で組み入れる A. H. Gnauck の「40 - Gb/s RZ - differential phase shift keyed transmission」、Optical Fiber Communication Conference 2003 (OFC '03)、Paper ThE1 で検討されている。

【0004】

50

単一のMZMおよび差動増幅器を使用してRZオンオフ・キーイング(RZ-OOK)信号を発生させるための仕組みは、本明細書に参照で組み入れるY. H. Kaoらの「10Gb/s soliton generation for ULH transmission using a wideband GaAs pHEMT amplifier」、OFC'03、Paper FF6で提案され、かつ検討されている。しかしながら、そのような仕組みは光学的領域内でRZ-DPSK信号の3つの状態「1」、「0」、および「-1」を作り出す能力が無いのでRZ-DPSK信号の発生に使用されることは不可能である。

【0005】

RZ-OOK光信号にチャープを導入する(すなわちCRZ-OOK信号)ための仕組みが、本明細書に参照で組み入れるB. Bakhshiraの「Comparison of CRZ, RZ, and NRZ modulation formats in a 64x12.3Gb/s WDM transmission experiment over 9000km」、Proc. OFC'01、paper WF4、2001年で提案された。RZ-OOK光信号へのチャープの導入は長距離10Gb/s伝送での非線形効果に対して増大した抵抗性を与えることが見出された。しかしながら、そのような仕組みは信号内にチャープを導入するための追加の位相変調器を必要とし、それは送信器の複雑さとコストを増大させる。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明はCRZ-DPSK光信号を発生させるための装置と方法を提供する。本発明の一態様は、DPSK信号へのチャープの導入がその上にDPSK信号が符号化される光学位相の変動を導入するけれども、DPSK信号の性能を劣化させずにその一方で各々のビットの上に実質的に同じチャープが重ねられることが可能であるという認識を含む。遅延検波を行うと、CRZ-DPSK信号内に符号化された情報は2つの隣り合うビット間の位相差に基づいて回収される。本発明に従って発生させられるCRZ-DPSK信号は、特に、適切な分散およびパワー・マップが適用されると減少した自己位相変調(SPM)、したがって減少したGordon-Mollenauer非線形位相ノイズを提供する。

【0007】

本発明のさらなる態様の中で、発明人らは同時のRZパルス整形とチャープDPSKデータ変調を達成するために同期RZ駆動信号によって駆動される単一の変調器を使用してCRZ-DPSK光信号を発生させる装置および方法を見出した。

【0008】

本発明によるCRZ-DPSK光信号発生を考える利点のいくつかは、費用効率が高くコンパクトな設計、低い電力消費、およびMZMを使用する従来式のRZ-DPSK送信器よりも低い損失を含む。さらに、本発明は、特に変調器がアンダー駆動状態にあるときに変調器の帯域限度の観点でさらに良好な性能を提供する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

本発明の一実施形態のCRZ-DPSK光信号発生装置100が図1に示されている。データ信号110および正弦波の第1のクロック信号120が差動増幅器(DA#1)130へと入力される。データ信号110は差動的に符号化されたデータを含み、第1のクロック信号120と同じデータレートをも有する。DA#1 130はコンパレータとして動作することで第1の電子的「2レベル」RZ方式駆動信号180(これ以降第1のRZ駆動信号180と称され、図1の差し込み図135に例示される)を作り出す。

【0010】

データ信号110および第1のクロック信号120がDA#1 130を使用して(例えば論理AND動作によって)論理的に組み合わせられることを当業者は理解するであろう。本明細書で使用される「2レベル」信号は、一方は論理「1」を表わし、他方は論理「

10

20

30

40

50

0」を表わす2つの異なった状態(または電圧)を有する信号に関する。

【0011】

再び図1を参照すると、第2の電子的2レベルRZ駆動信号182(これ以降は第2のRZ駆動信号182と称される)を作り出すためにデータ信号110の反転体(反転データ信号140)および第2のクロック信号150が第2の差動増幅器(DA#2)160へと入力される。DA#2 160もやはり第2のRZ駆動信号182(図1の差し込み図165で例示される)を作り出すためのコンパレータとして動作する。第1のクロック信号120のコピーがやはり第2のクロック信号150として使用されることが可能である。

【0012】

第1および第2のRZ駆動信号180、182が「論理として相補的」であり、それにより、以下の方式でデータ信号110内に含まれる差動的に符号化されたデータを表わすことを当業者は理解することが可能である。差動的に符号化されたデータ内の各々の「1」については、DA#1 130の出力(すなわち第1のRZ駆動信号180)に負(または正)の電子的RZパルスが存在し、DA#2 160の出力(すなわち第2のRZ駆動信号182)はゼロである。差動的に符号化されたデータ内の各々の「0」については、DA#2 160の出力に負(または正)の電子的RZパルスが存在し、DA#1 130の出力はゼロである。

【0013】

場合によっては、データ信号110に含まれる差動的に符号化されたデータは以下のように第1および第2のRZ駆動信号180、182によって表わされることが可能である。差動的に符号化されたデータ内の各々の「1」については、DA#2 160の出力に負(または正)の電子的RZパルスが存在し、DA#1 130の出力はゼロである。差動的に符号化されたデータ内の各々の「0」については、DA#1 130の出力に負(または正)の電子的RZパルスが存在し、DA#2 160の出力はゼロである。

【0014】

場合によっては、DA#1 130およびDA#2 160は高速の論理ANDゲート(図示せず)で置き換えられることが可能である。付け加えると、駆動速度は例えば40-Gb/sへと拡大されることが可能である。

【0015】

本明細書で検討される信号(例えばデータ信号110と第1のクロック信号120、反転データ信号140と第2のクロック信号150、および第1のRZ駆動信号180と第2のRZ駆動信号182など)を同期させるためにリタイミング回路が使用されることが可能であることを当業者は理解することが可能である。

【0016】

その後、第1のRZ駆動信号180と第2のRZ駆動信号182は変調器195を駆動するために使用される。変調器195は同時のRZパルス整形とチャープDPSKデータ変調を提供するためにレーザ197から入る光を変調し、CRZ-DPSK光信号198を発生させる。レーザ197は、例えば1550nmで動作する波長可変CWレーザ、あるいは場合によっては別の光信号もしくは光源であることが可能である。CRZ-DPSK光信号198の光強度プロファイルが図1の差し込み図のプロット199に示されている。

【0017】

変調器195はマッハ-ツェンダー変調器(MZM)であることが好ましい。変調器195は、ゼロにバイアスされたzカットのデュアル・駆動型LiNbO₃製MZMであることがさらに好ましい。変調器195のバイアスが本発明の重要な態様であることは気付かれる。特に、変調器195をゼロにバイアスすることによって、CRZ-DPSK信号198の適切なDPSK変調(すなわち隣り合うビット間の0またはの正確な位相差)が実現されることが可能である。当業者によって理解されるように、「変調器をゼロにバイアスすること」は変調器駆動信号がゼロであるときに変調器から出るゼロ出力パワーを

10

20

30

40

50

有することに関する。本発明によるCRZ-DPSK信号発生動作原理の詳細な検討が下記に与えられる。

【0018】

変調器195を駆動する前に、第1および第2の駆動信号180、182は1つまたは複数の増幅器(図示せず)によって増幅されることで最大で変調器の約 v のピーク・ツー・ピーク振幅まで有することが可能である。下記で検討されるように v は変調器195のアームを通過する光波上にの光学位相変化を導入するために必要とされる電圧である。

【0019】

図2a~図2cは変調器195が完全に駆動されているときの本発明の実施形態の原理を具体的に示す。部分プロット(a)、(b)、および(c)はそれぞれ、第1および第2のRZ駆動信号180、182(v_1 および v_2 で標識されている)、変調器195の光強度および位相の伝達関数(下記で詳細に検討される)、および作り出されたCRZ-DPSK光信号198の光強度および位相を示している。

【0020】

上記の検討および図2a~図2cから理解され得るように、差動的に符号化されたデータ配列は(10010)であり、それゆえに $v_1 = (10010)$ かつ $v_2 = (01101)$ であり、作り出されたCRZ-DPSK光信号198は同一のチャープを除外して(000)の位相パターンを有する。 V_d は作動中の駆動信号の電圧であって、変調器195に印加される第1および第2のRZ駆動信号180、182のうちの大きい方のその電圧である。

【0021】

変調器195(ゼロにバイアスされている)の光強度および光学位相の伝達関数(図2bに示されている)は以下のように導き出されることが可能である。変調器195の出力部での光学場は

【数1】

$$E_{output}(t) = E_{input}(t) \cdot (e^{i\pi v_1(t)/v_\pi} - e^{i\pi v_2(t)/v_\pi}) / 2, \quad (1)$$

として表わされることが可能であり、ここで $v_1(t)$ および $v_2(t)$ は第1および第2のRZ駆動信号180、182の経時変化する電圧であり、 v は変調器195を通過する光波上にの光学位相変化を(電気-光学効果を通じて)導入するために必要とされる電圧である(v は概して周波数依存性であるが、本明細書では単純化するために一定であるとして使用される)。

$v_2(t) = 0$ であるときは常に $v_1(t) = 0$ 、 $v_1(t) = 0$ であるときは常に $v_2(t) = 0$ (2)

これは、 $v_2(t) = 0$ であるときに反転データ・ビットが「1」でデータ・ビットが「0」であり、したがって(データ・ビットと、そのピークがデータ・ビットのためのビット・スロットの中央に位置合わせされるクロックとの間の論理ANDの結果である) v_1 が0になるはずであることが理由である。 $v_1(t) = 0$ を備えたケースについては状況が逆転される。変調器195の出力部での光学場は

【数2】

$$E_{output}(t) = \begin{cases} E_{input}(t) \cdot (1 - e^{i\pi v_2(t)/v_\pi}), & \text{時 } v_1(t) = 0; \\ -E_{input}(t) \cdot (1 - e^{i\pi v_1(t)/v_\pi}), & \text{時 } v_2(t) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

へと単純化されることが可能である。そのとき(ある程度単純化された後の)光強度の伝

達関数は

【数 3】

$$\left| \frac{E_{output}(t)}{E_{input}(t)} \right|^2 = \begin{cases} \sin^2\left(\pi \frac{v2(t)}{2 \cdot v_x}\right); & \text{時 } v1(t) = 0; \\ \sin^2\left(\pi \frac{v1(t)}{2 \cdot v_x}\right); & \text{時 } v2(t) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

である。光学位相の伝達関数は

【数 4】

$$phase(t) = \begin{cases} \tan^{-1}\left(\frac{\sin(\pi \cdot v2(t)/v_x)}{\cos(\pi \cdot v2(t)/v_x) - 1}\right); & \text{時 } v1(t) = 0; \\ \pi + \tan^{-1}\left(\frac{\sin(\pi \cdot v1(t)/v_x)}{\cos(\pi \cdot v1(t)/v_x) - 1}\right); & \text{時 } v2(t) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

である。ここで $\tan^{-1}()$ は $\tan()$ 関数の逆数である。上記の定義に従うと、「1」のデータ・ビットについては各々のビット・スロットの中央で $v1 = 0$ 、 $v2 > 0$ であり、作り出された光学ビットを横切って位相変化（チャープ）が存在する。同様に、「0」のデータ・ビットについては各々のビット・スロットの中央で $v1 > 0$ 、 $v2 = 0$ であり、正確な位相シフトに加えて（第1および第2のRZ駆動信号180、182が同じパルス・プロファイルを有すると仮定すると）同一の位相変化が存在し、それがDPSKデータ変調のために使用される。作り出されたCRZ-DPSK光信号198の差動検波を行うと隣り合うビット間の同一のチャープが相殺され、DPSK符号化データが回収される。

【0022】

CRZ-DPSK光信号198のチャープは、第1および第2のRZ駆動信号180、182の振幅（電圧の振れ）（すなわち $v1$ 、 $v2$ ）を調節することによって変えられることが可能である。例えば $\pi/2$ （または $\pi/4$ ）の望ましい位相変調指数（PMI）（すなわちRZパルスのピークとパルスの谷との間の位相差）は、約 v （または $v/2$ ）の振幅を有する第1および第2のRZ駆動信号180、182で変調器195を駆動することによって達成されることが可能である。

【0023】

図3a～図3cは、変調器195が50%のアンダー駆動状態にあるときの本発明の実施形態の動作原理を具体的に示す。図3の部分プロット（a）は第1および第2のRZ駆動信号180、182（ $v1$ および $v2$ で標識されている）、（b）は変調器195の光強度および位相の伝達関数、および（c）は作り出されたCRZ-DPSK光信号198の強度および位相を、それぞれ示している。

【0024】

図3a～図3cから理解され得るように、差動的に符号化されたデータ配列は（10010）、 $v1 = (10010)$ 、 $v2 = (01101)$ であり、作り出されたCRZ-DPSK光信号は同一のチャープを除外して（000）の位相パターンを有する。変調器195のアンダー駆動によって、式（4）および（5）から予想されるようにCRZ-DPSK光信号198の強度およびチャープは削減されるが、しかし位相情報（DPSK符号化データ）は維持される。

【0025】

本発明に従って作り出されたCRZ-DPSK信号の性能を確かめるために実験的試験が行われた。本発明の一実施形態（図1に関して上記で検討されている）によると、10Gb/sのCRZ-DPSK光信号198を発生させるために単一のzカットのデュアル・駆動型MZMが変調器195として使用された。約2.5Vおよび約6Vの振幅を備え

10

20

30

40

50

た第1および第2のRZ駆動信号180、182が変調器195に印加された。約2.5Vおよび約6Vの振幅はそれぞれ約0.7rad、および約1.5radのPMIに相当する。

【0026】

CRZ-DPSK光信号198は受信器で受信され、100-ps遅延干渉計(DLI)によって復調される前に約0.6nm³-dB帯域幅を備えた光学バンドパス・フィルタによってフィルタ処理された。その後、DLIのコンストラクティブ・ポートおよびディストラクティブ・ポートから復調信号が測定された。図4a~図4cはそれぞれ、変調器195が実質的に完全に駆動されるとき、0ps/nm、-340ps/nm、および+425ps/nmの色分散の下でのCRZ-DPSK光信号の受信された電氣的アイ・ダイアグラム(DLIのコンストラクティブ・ポートで測定されている)である。図4b~図4cから、色分散に起因する有意のアイ歪みが存在することを当業者は理解するであろう。

10

【0027】

約50%のアンダー駆動状態にある変調器195で実験的試験がやはり行われた。図5aは0ps/nm、図5bは-340ps/nm、および図5cは+425ps/nmの色分散の下での、CRZ-DPSK信号の受信された電氣的アイ・ダイアグラム(DLIのコンストラクティブ・ポートで測定されている)である。図5b~図5cから、変調器がアンダー駆動状態にあるときに減少したチャープの結果として、色分散に起因するアイ歪みが(図4b~図4cに示された歪みと比較して)削減されることを当業者は理解するであろう。

20

【0028】

比較として、従来式のNRZ-DPSK信号についてもやはり実験的試験が行われた。図6a~図6bはそれぞれ、DLIのコンストラクティブ・ポートとディストラクティブ・ポートでの先行技術によるNRZ-DPSK信号連続伝送の受信された電氣的アイ・ダイアグラムである。NRZ-DPSK信号伝送から得られる図6a~図6bのアイ・ダイアグラムが図4aおよび図5aのCRZ-DPSKアイ・ダイアグラムと比較して顕著なパターン依存性を有することは当業者によって理解されることが可能である。

【0029】

図7は本発明の実施形態による装置で作り出された10Gb/sのCRZ-DPSK信号の測定された光学スペクトルである。図7から、測定されたスペクトルが、チャープの無いRZ-DPSK信号を発生させるために2つの変調器を使用する先行技術の装置によって従来式に得られるそれらと類似している(しかしわずかに広い)ことを当業者は理解するであろう。

30

【0030】

本発明の実施形態に従って作り出されたCRZ-DPSK光信号の性能をさらに評価するために、10Gb/sのCRZ-DPSK光信号の受信器感度vs分散が測定された。図8は約1.6および約0.7のPMIで作り出されたCRZ-DPSK光信号に関して測定された受信感度を示している。図8から理解され得るように、分散で誘導される不利益は約0.7のPMIよりも約1.6のPMIに関する方が、D=0ps/nmについてさらに非対称であり、式5から予期されるようにPMIが大きいほどチャープが大きくなることを示している。

40

【0031】

図9は10Gb/sのMZMの通常の応答を示している。図9に示されるように、(MZM内の電極の電子的損失に起因して)低い周波数で急速に応答する減衰が存在し、(電子的駆動信号と光波の間の群速度の不一致に起因して)高い周波数で徐々に応答する減衰が存在する。従来式のRZ-DPSK送信器では、2つのMZMのうち的一方がNRZ-DPSK変調のために使用される。NRZ駆動信号のRFスペクトルの主要部分周波数範囲は約0からBR(BRは信号のビットレートである)に広がるので、作り出された光信号はMZM応答の大きな周波数依存性のせいで(決定が為される各々のビット・スロット

50

の中央で) 振幅に大きなばらつきを有する。

【0032】

本発明の実施形態を使用して、第1および第2のRZ駆動信号180、182はRZ整形され、第1および第2のRZ駆動信号180、182のRFスペクトルの主要部分の周波数範囲はBRの周囲に配置される。その結果、作り出されたCRZ-DPSK光信号198は、決定が為される各々のビット・スロットの中央ではるかに小さい振幅のばらつきを有し、結果としてさらに良好なBER性能につながる。付け加えると、本発明に従って使用されることが可能な変調器は、特に高いビットレート(例えば40Gb/s)での駆動信号の電圧およびコストを下げるために狭帯域となるように設計されることが可能である。

10

【0033】

図10a~図10bはそれぞれ、従来式のNRZ-DPSK連続伝送および本発明の実施形態によるCRZ-DPSK連続伝送の(変調器が図9に示されたような限られた帯域幅を有し、完全に駆動される($V_d = V / \text{アーム}$)と仮定して、平衡検波の後の)シミュレートされたアイ・ダイアグラムを示している。図10a~図10bに見られ得るように、NRZ-DPSKのアイの振幅ばらつきはCRZ-DPSKのアイ・ダイアグラムのそれよりもはるかに大きい。従来式のRZ-DPSK送信器では、第2のMZMによるRZパルスの整形は(作り出された信号のタイミング・ジッタを下げる事が可能であるが)NRZ-DPSK変調によって引き起こされる振幅の変動を下げる事が不可能である。したがって、本発明によるCRZ-DPSK送信器は(さらに小さい振幅の変動を有するという観点で)やはり従来式のRZ-DPSK送信器よりも優れている。

20

【0034】

さらに、本発明によるCRZ-DPSK信号発生は、MZMが完全に駆動されていないときにMZMの帯域幅制限で誘導される振幅変動に関して従来式を送信器よりも優れている。図11a~図11bはそれぞれ、従来式のNRZ-DPSK連続伝送および本発明の実施形態によるCRZ-DPSK連続伝送の(変調器が図9に示されたような限られた帯域幅を有し、完全に駆動されていない($V_d = 0.5V / \text{アーム}$)と仮定して、平衡検波の後の)シミュレートされた電氣的アイ・ダイアグラムを示している。図11a~図11bから、本発明による送信器を使用して得られたCRZ-DPSKのアイよりもNRZ-DPSKのアイにさらに大きい振幅変動が存在することが理解され得る。

30

【0035】

CRZ差動直交位相偏移変調(DQPSK)光信号を発生させることに本発明が拡大適用され得ることは当業者によって理解されるであろう。図12に示されたCRZ-DQPSK光信号1200を発生させるための装置の一実施形態では、第1の変調器1295(変調器#1)が第2の変調器1296(変調器#2)とカスケード接続される。第1の変調器1295は、CRZ-DPSK光信号1298を発生させるために一对の論理として相補的なRZ駆動信号1280および1282を使用して図1の変調器195と同様の方式で配列されて駆動される。RZ駆動信号1280、1282は第1のクロック信号1215を伴う差動的に符号化された第1のデータ支流1210(すなわちCRZ-DQPSK光信号1299上で送信されるデータ信号の第1の部分)を差動増幅すること、および第1のデータ支流1210の反転体(反転データ信号1240)と第2のクロック信号1245を差動増幅することによってそれぞれ作り出される。

40

【0036】

第2の変調器1296は位相変調器であり、差動的に符号化された第2のデータ支流(すなわちCRZ-DQPSK光信号1299上で送信されるデータ信号の第2の部分)に基づいて作り出されたNRZ駆動信号1290を使用して駆動される。第2の変調器1296は、第1の変調器1295から出るCRZ-DPSK光信号1298に0または $\pi/2$ の位相シフトを生じさせるためにBR/2のNRZ駆動信号1290によって駆動され、その結果、第2のデータ支流の情報をCRZ-DPSK光信号1298上に符号化し、CRZ-DQPSK光信号1299を発生させる。

50

【 0 0 3 7 】

図 1 の実施形態に関して上記で検討したように、データ支流 1 2 1 0 は差動的に符号化されたデータを含み、かつクロック信号 1 2 1 5 と同じデータ転送速度を有する。図 1 2 に示された差動増幅器 DA # 1 1 2 3 0、DA # 2 1 2 6 0 は差動的に符号化されたデータとクロック信号を論理 AND 動作によって組み合わせ、論理 AND ゲート（図示せず）で置き換えられることが可能である。CRZ - DQPSK 送信装置 1 2 0 0 によって使用され、かつ作り出される信号を同期させるためにリタイミング回路（図示せず）が使用されることが可能である。第 1 の変調器 1 2 9 5 は好ましくはデュアル駆動 Z カット LiNbO₃ マッハ - ツェンダー変調器である。

【 0 0 3 8 】

CRZ - DQPSK 光信号 1 3 0 0 を発生させるための図 1 3 に示される装置の代替選択肢の実施形態では入れ子式の変調器構成が使用され、第 1 の変調器 1 3 9 5 および第 2 の変調器 1 3 9 6 から出る出力が組み合わせられることで CRZ - DQPSK 光信号 1 3 9 8 を発生させる。

【 0 0 3 9 】

図 1 3、および上記の図 1 の実施形態の検討から当業者によって容易に理解され得るように、第 1 の CRZ - DPSK 光信号 1 3 5 0 を発生させるために第 1 の変調器 1 3 9 5 が本質的に図 1 の変調器 1 9 5 と同じ方式で論理として相補的な RZ 駆動信号 1 3 8 0 および 1 3 8 2 の第 1 の対を使用して駆動される。RZ 駆動信号 1 3 8 0、1 3 8 2 の第 1 の対は第 1 のデータ支流（すなわち CRZ - DQPSK 光信号 1 3 9 8 上で送信されるデータ信号の第 1 の部分）およびその反転体を使用してそれぞれ作り出される。

【 0 0 4 0 】

第 2 の CRZ - DPSK 光信号 1 3 5 1 を発生させるために第 2 の変調器 1 3 9 6 もやはり、論理として相補的な RZ 駆動信号 1 3 8 5 および 1 3 8 6 の第 2 の対を使用して本質的に図 1 の変調器 1 9 5 と同じ方式で駆動される。RZ 駆動信号 1 3 8 5、1 3 8 6 の第 2 の対は第 2 のデータ支流（すなわち CRZ - DQPSK 光信号 1 3 9 8 上で送信されるデータ信号の第 2 の部分）およびその反転体を使用してそれぞれ作り出される。CRZ - DQPSK 光信号 1 3 9 8 を発生させるために、第 2 の CRZ - DPSK 光信号 1 3 5 1 が第 1 の CRZ - DPSK 光信号 1 3 5 0 と組み合わせられる前に移相器 1 3 1 0 を使用して / 2 位相シフトされる。CRZ - DQPSK 光信号 1 3 9 8 を発生させるために第 1 の CRZ - DPSK 光信号 1 3 5 0 と第 2 の CRZ - DPSK 光信号 1 3 5 1 が干渉法で組み合わせられることを当業者は理解するであろう。

【 0 0 4 1 】

図 1 3 内の差し込み図はそれぞれ、第 1 の CRZ - DPSK 駆動信号 1 3 5 0 に関するコンステレーション図 1 3 2 0、 / 2 位相シフトされた後の第 2 の CRZ - DPSK 駆動信号 1 3 5 1 に関するコンステレーション図 1 3 2 1、および CRZ - DQPSK 光信号 1 3 9 8 に関するコンステレーション図 1 3 2 2 である。CRZ - DQPSK 光信号 1 3 9 8 に関する光強度プロファイルもやはり差し込みプロット 1 3 2 5 に示されている。

【 0 0 4 2 】

図 1 の実施形態に関して上記で検討したように、CRZ - DQPSK 送信装置 1 3 0 0 によって使用され、かつ作り出される信号を同期させるためにリタイミング回路が使用されることが可能である。第 1 および第 2 の変調器 1 3 9 5 および 1 3 9 6 はデュアル・駆動の Z カット LiNbO₃ 製 マッハ - ツェンダー変調器であることが好ましい。

【 0 0 4 3 】

具体例の実施形態を参照しながら本発明が述べられてきたが、この説明は限定の意味に解釈されるべきではない。本発明が関連する分野の当業者にとって明らかである本発明の他の実施形態と同様に、記載の実施形態の様々な改造例は、添付の特許請求項に表現されるような本発明の原理および範囲の中にあると考えられる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 4 】

10

20

30

40

50

【図1】本発明の一実施形態によるCRZ-DPSK光信号発生のための装置を示す図である。

【図2】a～cは本発明の一実施形態の動作原理を具体的に示す図である。

【図3】a～cは本発明の別の実施形態の動作原理を具体的に示す図である。

【図4】a～cは完全に駆動される変調器を備え、それぞれ0 ps/nm、-340 ps/nm、および+425 ps/nmの色分散の下での本発明の実施形態によるCRZ-DPSK伝送に関するアイ・ダイアグラムである。

【図5】a～cはアンダー駆動状態にある変調器を備え、それぞれ0 ps/nm、-340 ps/nm、および+425 ps/nmの色分散の下での本発明の別の実施形態によるCRZ-DPSK伝送に関するアイ・ダイアグラムである。

10

【図6】a、bは遅延干渉計のコンストラクティブ・ポートとディストラクティブ・ポートそれぞれでの先行技術によるNRZ-DPSK信号の連続伝送の受信された電氣的アイ・ダイアグラムである。

【図7】本発明の実施形態に従って作り出されたCRZ-DPSK信号の測定された光学スペクトルを示す図である。

【図8】本発明の実施形態に従って作り出された10Gb/s CRZ-DPSK信号の測定された受信器感度vs分散を示す図である。

【図9】10Gb/s MZMの通常の応答を示す図である。

【図10】a、bは従来式のNRZ-DPSK連続伝送および本発明の実施形態によるCRZ-DPSK連続伝送それぞれの平衡検波の後のシミュレートされたアイ・ダイアグラムである。

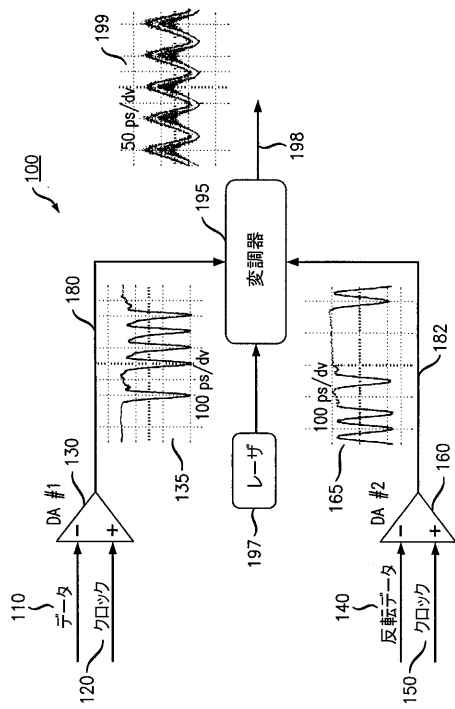
20

【図11】a、bは従来式のNRZ-DPSK連続伝送および本発明の実施形態によるCRZ-DPSK連続伝送それぞれの平衡検波の後のシミュレートされたアイ・ダイアグラムである。

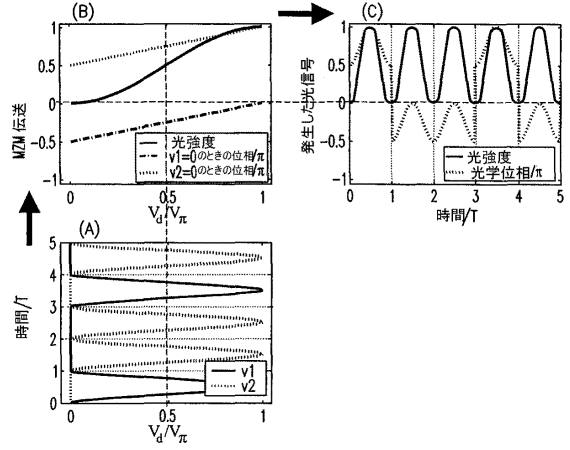
【図12】本発明の実施形態に従ってCRZ-DQPSK光信号を発生させるための装置を描く図である。

【図13】本発明の別の実施形態に従ってCRZ-DQPSK光信号を発生させるための装置を描く図である。

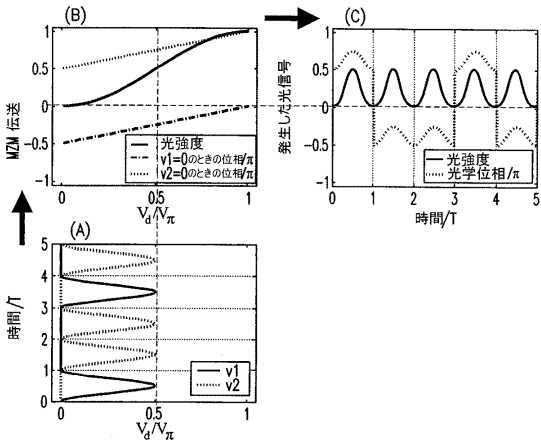
【図1】



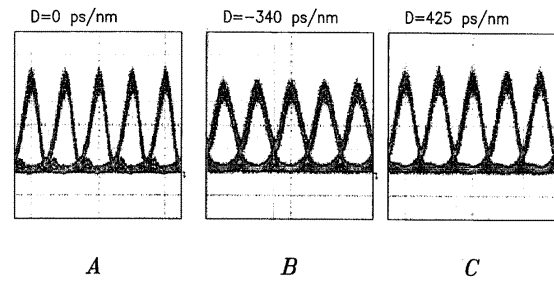
【図2】



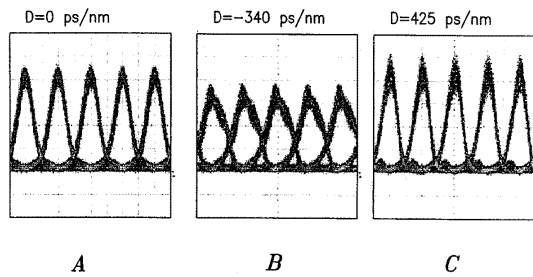
【図3】



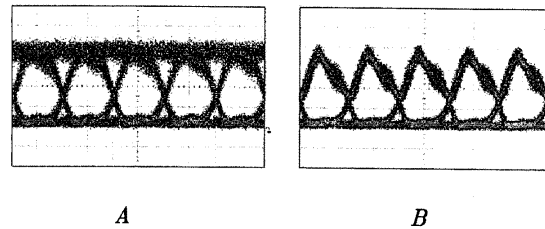
【図5】



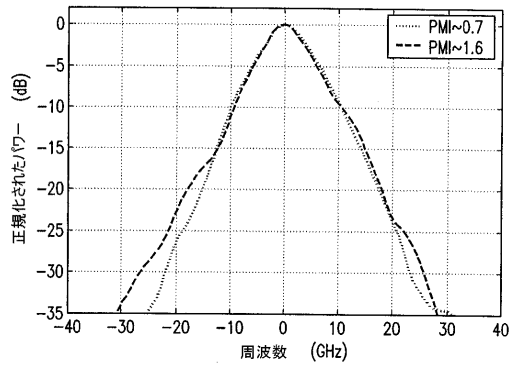
【図4】



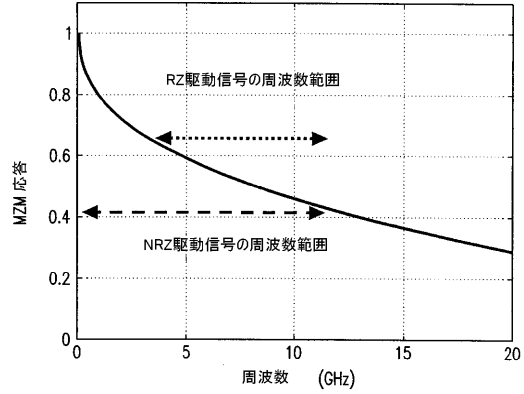
【図6】



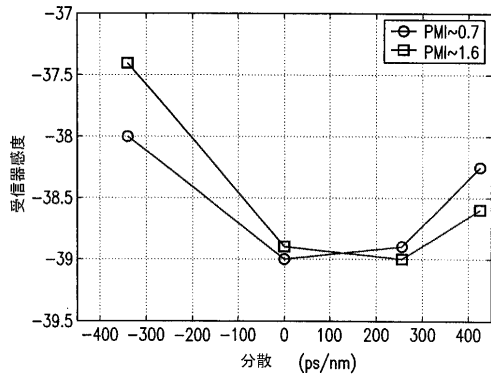
【図7】



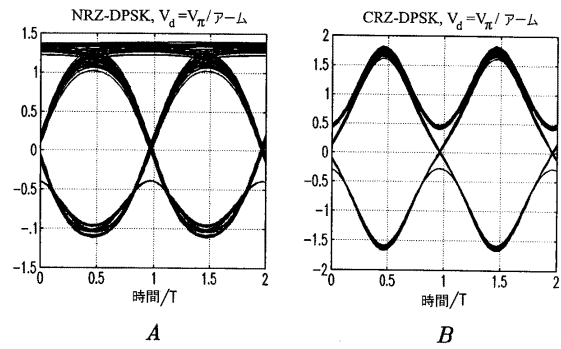
【図9】



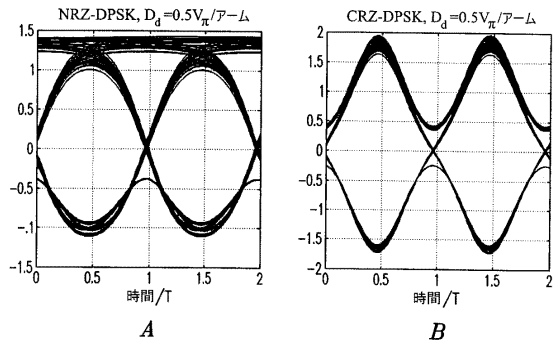
【図8】



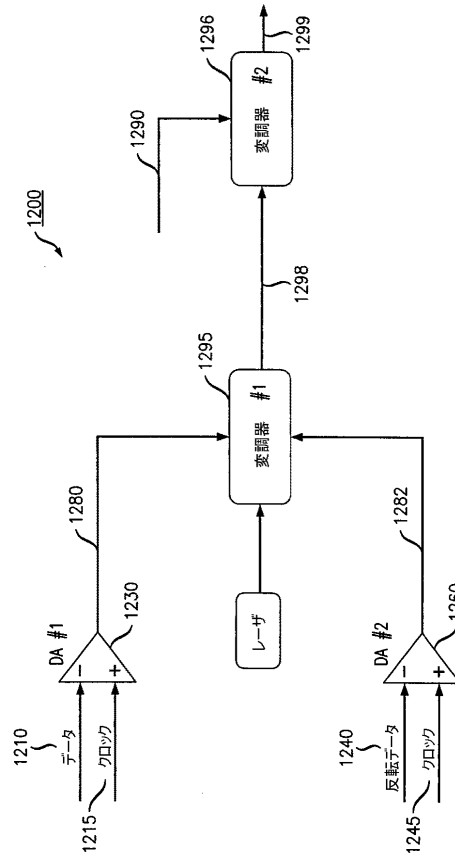
【図10】



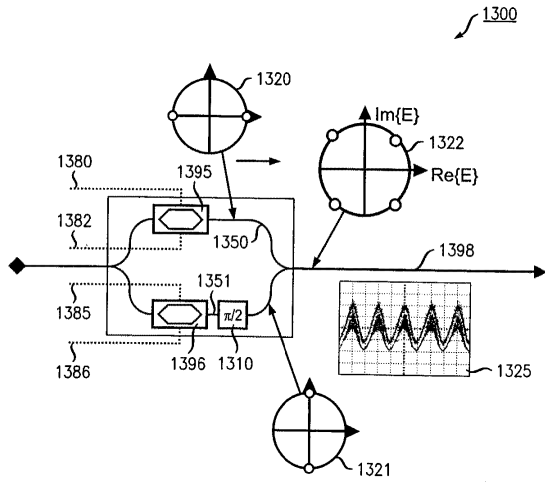
【図11】



【図12】



【 図 13 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 0 4 B 10/02 (2006.01)

H 0 4 B 10/18 (2006.01)

G 0 2 F 1/035 (2006.01)

(74)代理人 100096943

弁理士 臼井 伸一

(74)代理人 100101498

弁理士 越智 隆夫

(74)代理人 100096688

弁理士 本宮 照久

(74)代理人 100104352

弁理士 朝日 伸光

(74)代理人 100128657

弁理士 三山 勝巳

(72)発明者 ユアン - ファ カオ

アメリカ合衆国 0 7 7 3 3 ニュージャーシィ,ホルムデル,セイジ ストリート 3 9

(72)発明者 シャン リウ

アメリカ合衆国 0 7 7 4 6 ニュージャーシィ,マールボロー,キングフィッシャー コート
6 1

審査官 工藤 一光

(56)参考文献 国際公開第2005/055475(WO,A1)

国際公開第2005/025094(WO,A1)

特表2007-512748(JP,A)

特開2004-191979(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H 0 4 B 1 0 / 0 0 - 1 0 / 2 8

H 0 4 J 1 4 / 0 0 - 1 4 / 0 8

G 0 2 F 1 / 0 0 - 1 / 1 2 5