

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4983466号
(P4983466)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 B 10/152 (2006.01)

H O 4 B 9/00

L

H O 4 B 10/142 (2006.01)

G O 2 F 1/01

B

H O 4 B 10/06 (2006.01)

H O 4 B 10/04 (2006.01)

G O 2 F 1/01 (2006.01)

請求項の数 11 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2007-197804 (P2007-197804)
 (22) 出願日 平成19年7月30日(2007.7.30)
 (65) 公開番号 特開2009-33658 (P2009-33658A)
 (43) 公開日 平成21年2月12日(2009.2.12)
 審査請求日 平成22年4月16日(2010.4.16)

(73) 特許権者 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号
 (74) 代理人 100092978
 弁理士 真田 有
 (72) 発明者 西原 真人
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 (72) 発明者 ▲高▼原 智夫
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 (72) 発明者 田中 俊毅
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光変調装置および光変調方法ならびに光送信装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入力される複数のデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の、基準レベルに
対する 大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する複数の
 波形整形部と、

該複数の波形整形部にて波形整形された前記複数のデータ信号によって、多値位相変調
 された光信号を生成し出力する多値位相変調部と、

該多値位相変調部から出力された光信号に基づいて、該複数の波形整形部に入力される
 前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を可変制御する
 レベル比制御部と、をそなえ、

該レベル比制御部は、

前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数
 で変動させる変動部と、

該多値位相変調部から出力された光信号から前記所定周波数成分を抽出する抽出部と、

該抽出部で抽出された前記所定周波数成分に基づいて、該変動部で周期的に変動させる
 前記相対的レベル比の中心を、該抽出部で抽出される前記所定周波数成分が小さくなるよ
 うに調整する調整部と、をそなえたことを特徴とする、光変調装置。

【請求項2】

該変動部は、

前記所定周波数の信号を発生する発振回路と、

該発振回路から出力される前記所定周波数の信号を、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号か、又は、前記基準レベルを該複数の波形整形部に与える基準レベル信号に重畳して、前記複数の波形整形部に供給する周波数成分重畳部と、をそなえたことを特徴とする、請求項1記載の光変調装置。

【請求項3】

該多値位相変調部から出力された光信号を、前記クロック信号に基づいてR Z (Return to Zero) 変調を行なう第1 R Z変調部を更にそなえ、

該レベル比制御部は、該第1 R Z変調部から出力された第1 R Z光信号に基づいて、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を可変制御することを特徴とする、請求項1記載の光変調装置。

10

【請求項4】

前記クロック信号に基づいてR Z変調された第2 R Z光信号を生成し出力する第2 R Z変調部を更にそなえ、

該多値位相変調部は、該第2 R Z変調部からの第2 R Z光信号から、前記多値位相変調された光信号を生成し出力するように構成されたことを特徴とする、請求項1記載の光変調装置。

【請求項5】

該複数の波形整形部は、入力される2つのデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の、基準レベルに対する大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する2つの波形整形部として構成されるとともに、

20

該レベル比制御部は、

前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させる変動部と、

該第1 R Z変調部から出力された第1 R Z光信号から前記所定周波数成分を抽出する抽出部と、

該抽出部で抽出された前記所定周波数成分に基づいて、該変動部で周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を調整する調整部と、をそなえ、

該変動部は、

前記所定周波数の信号を発生する発振回路と、

該発振回路から出力される前記所定周波数の信号を、該2つの波形整形部に入力される前記クロック信号か、又は、前記基準レベルを該2つの波形整形部に与える基準レベル信号に重畳して、該2つの波形整形部に供給する周波数成分重畳部と、をそなえ、

30

かつ、該発振回路にて発振され、該周波数成分重畳部による前記クロック信号か又は前記基準レベル信号への重畳を通じて該2つの波形整形部へ供給される前記所定周波数の信号の一方について反転させる信号反転部を更にそなえ、

該調整部は、該信号反転部が前記所定周波数の信号の一方について反転させた場合、該多値位相変調部において前記光信号を出力するために位相変調された、前記2つのデータ信号に対応する2系列の光信号間の遅延差に関して、前記調整を行なう一方、該信号反転部が前記所定周波数の信号の一方について反転を行なわない場合、該多値位相変調部での変調タイミングと、該第1 R Z変調部での変調タイミングとの間の遅延差に関して、前記調整を行なうことを特徴とする、請求項3記載の光変調装置。

40

【請求項6】

該抽出部は、

該第1 R Z変調部から出力された第1 R Z光信号の一部を分岐する分岐部と、

該分岐部で分岐された前記一部の光信号を受光して電気信号に変換する受光部と、

該受光部からの前記電気信号に含まれる前記所定周波数成分を、該発振回路からの前記所定周波数の信号に基づいて同期検波により抽出する同期検波部と、をそなえたことを特徴とする、請求項5記載の光変調装置。

【請求項7】

該複数の波形整形部は、入力される2つのデータ信号を、それぞれ、入力されるクロッ

50

ク信号の、基準レベルに対する大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する2つの波形整形部として構成されるとともに、

該レベル比制御部は、

前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させる変動部と、

該第2 R Z 光信号に基づき該多値位相変調部から出力された光信号から前記所定周波数成分を抽出する抽出部と、

該抽出部で抽出された前記所定周波数成分に基づいて、該変動部で周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を調整する調整部と、をそなえ、

該変動部は、

前記所定周波数の信号を発生する発振回路と、

該発振回路から出力される前記所定周波数の信号を、該2つの波形整形部に入力される前記クロック信号か、又は、前記基準レベルを該2つの波形整形部に与える基準レベル信号に重畳して、該2つの波形整形部に供給する周波数成分重畳部と、をそなえ、

かつ、該発振回路にて発振され、該周波数成分重畳部による前記クロック信号か又は前記基準レベル信号への重畳を通じて該2つの波形整形部へ供給される前記所定周波数の信号の一方について反転させる信号反転部を更にそなえ、

該調整部は、該信号反転部が前記所定周波数の信号の一方について反転させた場合、該多値位相変調部において前記光信号を出力するために位相変調された、前記2つのデータ信号に対応する2系列の光信号間の遅延差に関して、前記調整を行なう一方、該信号反転部が前記所定周波数の信号の一方について反転を行わない場合、該多値位相変調部での変調タイミングと、該第2 R Z 変調部での変調タイミングとの間の遅延差に関して、前記調整を行なうことを特徴とする、請求項4記載の光変調装置。

【請求項8】

該抽出部は、

該第2 R Z 光信号に基づき該多値位相変調部から出力された光信号の一部を分岐する分岐部と、

該分岐部で分岐された前記一部の光信号を受光して電気信号に変換する受光部と、

該受光部からの前記電気信号に含まれる前記所定周波数成分を、該発振回路からの前記所定周波数の信号に基づいて同期検波により抽出する同期検波部と、をそなえたことを特徴とする、請求項7記載の光変調装置。

【請求項9】

該信号反転部の前記所定周波数の信号の反転／非反転を切り替える切り替え部を更にそなえたことを特徴とする、請求項5～8のいずれか1項記載の光変調装置。

【請求項10】

請求項1～9のいずれか1項記載の光変調装置が搭載された光送信装置。

【請求項11】

入力される複数のデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の、基準レベルに対する大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形し、

前記波形整形された前記複数のデータ信号によって、多値位相変調された光信号を生成し出力する一方、

前記複数のデータ信号について波形整形を行なうタイミングを定める基準となる、前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を、前記多値位相変調された光信号に基づいて可変制御するとともに、

前記相対的レベル比を可変制御する際に、

前記波形整形を行なう際の前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させ、

該多値位相変調された光信号から前記所定周波数成分を抽出し、

前記抽出した前記所定周波数成分に基づいて、前記周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を、前記抽出される前記所定周波数成分が小さくなるように調整することを特

10

20

30

40

50

徴とする、光変調方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光通信システムにおいて用いて好適の、光変調装置および光変調方法ならびに光送信装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、伝送トラフィックの増加に伴い、次世代の40Gbps光伝送システム導入の要求が高まっている。しかも、次世代40Gbps光伝送システムでは、従来の10Gbpsシステムと同等の伝送距離や周波数利用効率が求められている。その実現手段として、従来システムで適用されてきたNRZ (Non Return to Zero) 変調方式に比べて、光信号対雑音比 (OSNR: Optical Signal to Noise Ratio) に対する耐力 (OSNR 耐力)、非線形性耐力に優れた、RZ-DPSK (Return to Zero-Differential Phase Shift Keying) やCSRZ-DPSK (Carrier-Suppressed Return-to-Zero-DPSK) 変調方式といった変調方式の研究開発が活発になっている。

【0003】

その中でも、狭スペクトル (高周波数利用効率) の特長を持ったRZ-DQPSK (RZ-Differential Quadrature Phase-Shift Keying) 変調方式は、次世代光伝送システムの変調方式の有力候補として期待されている (下記特許文献1参照)。図18は、40GbpsのRZ-DQPSK変調方式を採用した光変調装置の構成例を示す図である。

この図18に示す光変調装置100においては、DQPSK変調器101をそなえるとともに、RZ変調器102をそなえている。DQPSK変調器101においては、親マッハツェンダ干渉計103をそなえるとともに、この親マッハツェンダ干渉計103をなすIアームおよびQアームにそれぞれ子マッハツェンダ干渉計104i, 104qがそなえられる。

【0004】

また、それぞれの子マッハツェンダ干渉計104i, 104qにおいて、入力光に対して20Gbpsのデータ信号に基づく2値の位相変調を行なう。尚、各子マッハツェンダ干渉計104i, 104qには、それぞれのアーム部に電極が形成されて、電圧信号としてのデータ信号が電極に供給されることにより、入力光が位相変調されるようになっている。

【0005】

このとき、DQPSK変調器101に入力される2本の20Gbpsデータ信号は、図示しない前段回路によって波形が劣化した信号が入力されるため、DFF (Dフリップフロップ) 106i, 106qを用いてそれぞれ波形整形を行なう。例えば、20GHzのクロック信号源110からのクロック信号に同期して、入力された20Gbpsデータ信号を互いに反転された2つの信号を出力データ信号として出力する。

【0006】

そして、このDFF 106i, 106qからの出力データ信号は、それぞれドライバアンプ107i, 107qによって増幅されて、DQPSK変調器101の駆動電圧信号として、上述した各子マッハツェンダ干渉計104i, 104qのアーム部に形成された電極に供給される。これにより、各子マッハツェンダ干渉計104i, 104qでは、それぞれ位相変調された光が出力される。

【0007】

なお、108qは、子マッハツェンダ干渉計104qで位相変調された光を $\pi/2$ だけ位相シフトを施す移相器である。親マッハツェンダ干渉計103は、LD (Laser Diode) 105からの連続光を分岐して子マッハツェンダ干渉計104i, 104qに供給するとともに、各子マッハツェンダ干渉計104i, 104qで位相変調がなされた光を合波して、DQPSK光信号として出力する。

10

20

30

40

50

【0008】

RZ変調器102は、DQPSK変調器101からのDQPSK光信号に対して、クロック信号源110から入力されるクロック信号に基づいてRZ変調を行なう。この場合においては、RZ変調器102の駆動信号としては20GHzのクロック信号を用いられ、RZ変調器102に入力されたDQPSK光信号は、この20GHzのクロック信号によってパルス化されて、RZ-DQPSK変調された光信号として出力される。尚、109は、20GHzのクロック信号を増幅して駆動信号としてRZ変調器102に供給するドライバンプである。

【特許文献1】特表2004-516743号公報

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上述した光変調装置100では、温度変動や経時変動によって、回路中の位相遅延量が変化することで、回路中の各部の位相にずれが生じる場合がある。例えば、ドライバンプ107i, 107q, 109等の増幅応答の温度依存特性や経時変動要因等によって、DQPSK変調器101の駆動信号間に遅延差が生じたり〔図18の(1)参照、以下、IQアーム間遅延という〕、DQPSK変調器101での変調タイミングとRZ変調器102での変調タイミングとの間に遅延差が発生したりする〔図18の(2)参照、以下、データ信号(Data)-クロック信号(Clk)間位相差という〕ことで、送信性能の劣化を招く。

20

【0010】

図19(a)~図19(c)は、IQアーム間の位相差がそれぞれ0ps, -10ps, +10psの場合におけるDQPSK変調器101の出力波形を示す図であり、図20(a)~図20(c)は、IQアーム間の位相差がそれぞれ0ps, -10ps, +10psの場合におけるRZ変調器102の出力波形を示す図である。尚、図中において、横軸は時間[ps]を、縦軸は強度[μW]を示す。

【0011】

図19(b), 図19(c)に示すように、IQアーム間に位相差が生じた場合には、位相差が生じていない場合〔図19(a)〕に比べて出力波形が劣化するということができる。この場合においては、RZ変調器102においても、DQPSK変調器101からの出力光の出力波形が劣化することを受けて、図20(b), 図20(c)に示すように、実質的な位相差が生じていない場合〔図20(a)〕に比べて出力波形が劣化するということができる。

30

【0012】

また、図21(a)~図21(c)は、IQアーム間の位相差が0psである場合において、Data-Clk間の位相差がそれぞれ0ps, -5ps, +5psの場合におけるRZ変調器102の出力波形を示す図である。この図21(b), 図21(c)に示すように、Data-Clk間の位相差が生じた場合には、実質的な位相差が生じていない場合〔図21(a)参照〕に比べて出力波形が劣化するということができる。

【0013】

40

図22は、光変調装置100におけるIQアーム間位相差[ps]とQ値ペナルティ[dB]との関係(R1)とともに、Data-Clk間位相差[ps]とQ値ペナルティ[dB]との関係(R2)について示す図である。この図22に示すように、IQアーム間及びData-Clk間の両位相差が0psの場合のQペナルティの値を基準とすると、いずれも位相差が増加するに従いQペナルティの値が増大し、信号品質が劣化するということができる。

【0014】

ここで、位相差に許容されるペナルティ量を例えば0.1dBとすると、IQアーム間遅延差に許容される遅延差は±10ps程度であり、Data-Clk間遅延差に許容される遅延差は±6ps程度となる。

50

これに対して、温度モニタ情報を用いてDQPSK変調器101の駆動信号間の位相差を補償すること等により、上述のごとき位相差の発生を抑制することが考えられる。しかし、この場合には、温度モニタ情報によるフィードフォワード制御のために、あらかじめ温度依存性等に応じた駆動信号補償のための制御情報を蓄積しておく必要があるが、経時変動特性、個体ばらつきに応じた制御情報については蓄積しておくことが困難であり、高精度な位相差補償を実現することは困難である。

【0015】

そこで、経時変動特性、個体ばらつきによらず、簡易かつ高精度に位相差を補償することを目的の一つとすることができる。

なお、上記目的に限らず、後述する発明を実施するための最良の形態に示す各構成により導かれる効果であって、従来の技術によっては得られない効果を奏することも本発明の他の目的の一つとして位置づけることができる。

【課題を解決するための手段】

【0016】

このため、本発明は、以下の光変調装置、光送信装置および光変調方法を特徴とするものである。

(1) すなわち、本発明の光変調装置は、入力される複数のデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の、基準レベルに対する大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する複数の波形整形部と、該複数の波形整形部にて波形整形された前記複数のデータ信号によって、多値位相変調された光信号を生成し出力する多値位相変調部と、該多値位相変調部から出力された光信号に基づいて、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を可変制御するレベル比制御部と、をそなえ、該レベル比制御部は、前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させる変動部と、該多値位相変調部から出力された光信号から前記所定周波数成分を抽出する抽出部と、該抽出部で抽出された前記所定周波数成分に基づいて、該変動部で周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を、該抽出部で抽出される前記所定周波数成分が小さくなるように調整する調整部と、をそなえたことを特徴としている。

【0018】

(2) さらに、上述の(1)において、該変動部は、前記所定周波数の信号を発生する発振回路と、該発振回路から出力される前記所定周波数の信号を、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号か、又は、前記基準レベルを該複数の波形整形部に与える基準レベル信号に重畳して、前記複数の波形整形部に供給する周波数成分重畳部と、をそなえたこととしてもよい。

【0019】

(3) また、上述の(1)において、該多値位相変調部から出力された光信号を、前記クロック信号に基づいてRZ(Return to Zero)変調を行なう第1RZ変調部を更にそなえ、該レベル比制御部は、該第1RZ変調部から出力された第1RZ光信号に基づいて、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を可変制御することとすることもできる。

【0020】

(4) さらに、上述の(1)において、前記クロック信号に基づいてRZ変調された第2RZ光信号を生成し出力する第2RZ変調部を更にそなえ、該多値位相変調部は、該第2RZ変調部からの第2RZ光信号から、前記多値位相変調された光信号を生成し出力するように構成することもできる。

(5) また、上述の(3)において、該複数の波形整形部は、入力される2つのデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の、基準レベルに対する大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する2つの波形整形部として構成されるとともに、該レベル比制御部は、前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させる変動部と、該第1RZ変調部から出力され

た第1 R Z 光信号から前記所定周波数成分を抽出する抽出部と、該抽出部で抽出された前記所定周波数成分に基づいて、該変動部で周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を調整する調整部と、をそなえ、該変動部は、前記所定周波数の信号を発生する発振回路と、該発振回路から出力される前記所定周波数の信号を、該2つの波形整形部に入力される前記クロック信号か、又は、前記基準レベルを該2つの波形整形部に与える基準レベル信号に重畳して、該2つの波形整形部に供給する周波数成分重畳部と、をそなえ、かつ、該発振回路にて発振され、該周波数成分重畳部による前記クロック信号か又は前記基準レベル信号への重畳を通じて該2つの波形整形部へ供給される前記所定周波数の信号の一方について反転させる信号反転部を更にそなえ、該調整部は、該信号反転部が前記所定周波数の信号の一方について反転させた場合、該多値位相変調部において前記光信号を出力するために位相変調された、前記2つのデータ信号に対応する2系列の光信号間の遅延差に関して、前記調整を行なう一方、該信号反転部が前記所定周波数の信号の一方について反転を行わない場合、該多値位相変調部での変調タイミングと、該第1 R Z 変調部での変調タイミングとの間の遅延差に関して、前記調整を行なうこととすることができる。

10

【0021】

(6) また、上述の(5)において、該抽出部は、該第1 R Z 変調部から出力された第1 R Z 光信号の一部を分岐する分岐部と、該分岐部で分岐された前記一部の光信号を受光して電気信号に変換する受光部と、該受光部からの前記電気信号に含まれる前記所定周波数成分を、該発振回路からの前記所定周波数の信号に基づいて同期検波により抽出する同期検波部と、をそなえたこととしてもよい。

20

(7) さらに、上述の(4)において、該複数の波形整形部は、入力される2つのデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の、基準レベルに対する大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する2つの波形整形部として構成されるとともに、該レベル比制御部は、前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させる変動部と、該第2 R Z 光信号に基づき該多値位相変調部から出力された光信号から前記所定周波数成分を抽出する抽出部と、該抽出部で抽出された前記所定周波数成分に基づいて、該変動部で周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を調整する調整部と、をそなえ、該変動部は、前記所定周波数の信号を発生する発振回路と、該発振回路から出力される前記所定周波数の信号を、該2つの波形整形部に入力される前記クロック信号か、又は、前記基準レベルを該2つの波形整形部に与える基準レベル信号に重畳して、該2つの波形整形部に供給する周波数成分重畳部と、をそなえ、かつ、該発振回路にて発振され、該周波数成分重畳部による前記クロック信号か又は前記基準レベル信号への重畳を通じて該2つの波形整形部へ供給される前記所定周波数の信号の一方について反転させる信号反転部を更にそなえ、該調整部は、該信号反転部が前記所定周波数の信号の一方について反転させた場合、該多値位相変調部において前記光信号を出力するために位相変調された、前記2つのデータ信号に対応する2系列の光信号間の遅延差に関して、前記調整を行なう一方、該信号反転部が前記所定周波数の信号の一方について反転を行わない場合、該多値位相変調部での変調タイミングと、該第2 R Z 変調部での変調タイミングとの間の遅延差に関して、前記調整を行なうこととすることができる。

30

40

(8) また、上述の(7)において、該抽出部は、該第2 R Z 光信号に基づき該多値位相変調部から出力された光信号の一部を分岐する分岐部と、該分岐部で分岐された前記一部の光信号を受光して電気信号に変換する受光部と、該受光部からの前記電気信号に含まれる前記所定周波数成分を、該発振回路からの前記所定周波数の信号に基づいて同期検波により抽出する同期検波部と、をそなえたこととしてもよい。

(9) さらに、上述の(5)～(8)のいずれかにおいて、該信号反転部の前記所定周波数の信号の反転／非反転を切り替える切り替え部を更にそなえたこととしてもよい。

【0022】

(10) さらに、本発明の光送信装置は、上記(1)～(9)のいずれかの光変調装置が搭載されたことを特徴とするものである。

50

(11) また、本発明の光変調方法は、入力される複数のデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の、基準レベルに対する大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形し、前記波形整形された前記複数のデータ信号によって、多値位相変調された光信号を生成し出力する一方、前記複数のデータ信号について波形整形を行なうタイミングを定める基準となる、前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を、前記多値位相変調された光信号に基づいて可変制御するとともに、前記相対的レベル比を可変制御する際に、前記波形整形を行なう際の前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させ、該多値位相変調された光信号から前記所定周波数成分を抽出し、前記抽出した前記所定周波数成分に基づいて、前記周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を、前記抽出される前記所定周波数成分が小さくなるように調整することを特徴としている。

10

【発明の効果】

【0023】

このように、本発明によれば、レベル比制御部により、多値位相変調部から出力された光信号に基づいて、複数の波形整形部に入力される前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を可変制御することができるので、経時変動特性、個体ばらつきによらず、簡易かつ高精度に位相差を補償することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下、図面を参照することにより、本発明の実施の形態について説明する。

20

なお、本発明は、以下の実施の形態に限定されるものではない。又、上述の本願発明の目的のほか、他の技術的課題、その技術的課題を解決する手段及び作用効果についても、以下の実施の形態による開示によって明らかとなる。

〔A〕第1実施形態の説明

図1は本発明の第1実施形態にかかる光変調装置を示す図である。この図1に示す光変調装置1は、光伝送システムにおける光送信装置において適用することができるのであって、前述の図18に示すもの（符号101，102参照）と実質的に同等のDQPSK変調部2およびRZ変調部3をそなえている。

【0025】

DQPSK変調部2は、光源7に光学的に接続される親マッハツェンダ干渉計2a、および、親マッハツェンダ干渉計2aをなす2本のアーム部2ai，2aqにそれぞれ形成された子マッハツェンダ干渉計2bi，2bqをそなえている。又、各子マッハツェンダ干渉計2bi，2bq上に光変調のための図示しない電極が形成されて構成される。

30

すなわち、DQPSK変調部2においては、各子マッハツェンダ干渉計2bi，2bqを伝搬する連続光について、それぞれ、電極へ供給される駆動電気信号により2値の位相変調を施すことができる。尚、2cは、子マッハツェンダ干渉計2bqで位相変調された光を $\pi/2$ だけ位相シフトを施す移相器である。そして、親マッハツェンダ干渉計2aをなす合波導波路部2amは、各アーム部2ai，2aqを通じて位相変調された光信号を合波して、親マッハツェンダ干渉計2aからDQPSK変調された光信号として出力するようになっている。

40

【0026】

なお、各子マッハツェンダ干渉計2bi，2bqに形成される電極へ供給される駆動電気信号は、それぞれ、例えば20Gbpsの2つのデータ信号に由来するものであって、これら2つのデータ信号は、波形整形部4-1，4-2においてそれぞれ波形整形された後にドライバアンプ8-1，8-2でそれぞれ増幅され、マッハツェンダ干渉計2bq，2biへの駆動電気信号として各電極に供給されるようになっている。

【0027】

すなわち、上述のDQPSK変調部2は、2つの波形整形部4-1，4-2にて波形整形された2つのデータ信号によって、多値位相変調（ここではDQPSK変調）された光信号を生成し出力する多値位相変調部を構成する。尚、上述のごとく20Gbpsのデータ

50

信号によりDQPSK変調した場合には、1シンボルで2ビットのデータを変調することができるので、40GbpsのDQPSK変調光信号とすることができる。

【0028】

また、第1実施形態におけるRZ変調部（第1RZ変調部）3は、DQPSK変調部2をなす合波導波路部2aの後段に接続されたマッハツェンダ干渉計3aとともに、マッハツェンダ干渉計3a上にRZ光変調のための図示しない電極が形成されて構成される。そして、RZ変調器3においては、クロック信号源6からドライバンプ9を介して入力される、例えば20GHzのクロック信号をなす駆動電気信号により、入力されるDQPSK光信号をRZ光変調して、RZ-DQPSK変調された光信号として出力することができるようにしている。尚、クロック信号源6については、前段回路をなすシリアライザにそなえることができる。

10

【0029】

さらに、波形整形部4-1、4-2は、それぞれ、入力される2つのデータ信号を、入力されるクロック信号の基準レベルとの大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形するものであって、DFF（Dフリップフロップ）等の識別回路（DEC：DECision）により構成することができる。尚、この波形整形部4-1、4-2で波形整形されたデータ信号は、それぞれ、ドライバンプ8-1、8-2で増幅されて、駆動電気信号（位相変調のための信号）として子マッハツェンダ干渉計2bq、2biに形成される電極へ供給されるようになっている。

20

【0030】

図2は上述の波形整形部4-1、4-2の構成例を示す図であり、図3、図4は波形整形部4-1、4-2の動作について説明するための図である。尚、以下においては、波形整形部4-1に着目して説明するが、波形整形部4-2の構成および動作についても同様に説明することができる。

波形整形部4-1は、この図1又は図2に示すように、例えば20Gbpsのデータ信号について正転信号および反転信号として入力されるとともに、クロック信号源6からの例えば20GHzのクロック信号（例えば正弦波）および後述の乗算器5c-1、5c-2からのリファレンス信号（基準レベルを与える信号）を入力されて、上述のデータ信号について、クロック信号およびリファレンス信号に基づくタイミングに同期して「1」又は「0」を識別し、識別結果を波形整形されたデータ信号（正転信号および反転信号）として出力するものである。

30

【0031】

たとえば、図3に示すように、波形整形部4-1においては、入力されるクロック信号CLKの立ち上がりまたは立ち下がりのタイミングに合わせてデータ信号の識別を行なう。このとき、クロック信号CLKの立ち上がりまたは立ち下がり判断するため、リファレンス信号RSの電位を用いる。具体的には、クロック信号がリファレンス信号の電位を上回った時点のタイミングをクロック信号の立ち上がりタイミングとして、クロック信号がリファレンス信号を下回った時点のタイミングをクロック信号の立ち下がりタイミングとして、データ信号の識別のために用いる。

【0032】

40

また、10、11は位相シフタ（MPS：Mechanical Phase Shifter）であり、位相シフタ10は波形整形部4-1、4-2へのクロック信号に対し、位相シフタ11はRZ変調部3へのクロック信号に対し、それぞれデバイス個体差に応じて発生する位相差を初期的に補償すべく固定的な位相シフトを与えるものである。これらの位相シフタ10、11としては、メカニカル式の位相シフタを用いる。メカニカル式の位相シフタ10、11は、機械的に電気長を変化させて遅延量を変化させるものであり、一般的に経時変動や温度変動による遅延量の変化が小さく、損失も小さい（～1dB）。尚、位相シフタ10としては、各波形整形部4-1、4-2に対応してそなえることとしてもよい。又、位相シフタ10、11については、回路設計時に高精度に電気長の設計を行なうことで省略することも可能である。

50

【0033】

さらに、第1実施形態においては、この図3に示すように、このリファレンス信号の電位をデータ信号の識別が可能な範囲で変化させることにより波形整形部4-1での識別位相を変化させることができる。例えば、この図3に示すように、クロック信号の振幅レベルに対する基準レベルとしてのリファレンス信号電位との相対的レベル比が10～90パーセントとなる範囲Rでデータの識別が可能であると仮定すると、リファレンス信号の電位をこの相対的レベル比10～90パーセントの範囲で変化させることによって、データ信号の位相（出力タイミング）を約15ps程度変化させることができるようになる。換言すれば、リファレンス信号の電位を可変制御することにより、DQPSK変調部2に供給すべきデータ信号の出力タイミングについて調整することができるようになっている。

10

【0034】

図4(a)～図4(d)は、クロック信号の立ち上がりと判断されるタイミングを識別タイミングとして適用する場合において、リファレンス信号の電位を上述のごとく変化させることにより、波形整形されたデータ信号の出力タイミングの調整を行なった一例を説明するためのタイムチャートである。波形整形部4-1に、図4(a)に示すようなデータ信号が入力されるとともに、図4(b)のCLKに示すようなクロック信号が入力された場合を想定する。

【0035】

ここで、波形整形部4-1に入力されるリファレンス信号の電位を上限値(UL)とした場合には、波形整形部4-1ではタイミング $t_1 \sim t_4$ に同期したデータ識別がそれぞれ行なわれる結果、図4(c)に示すようなデータ信号出力を得ることができる。これに対し、波形整形部4-1に入力されるリファレンス信号の電位を下限値(LL)とした場合には、波形整形部4-1ではタイミング $t_{11} \sim t_{14}$ に同期したデータ識別がそれぞれ行なわれる結果、図4(d)に示すようなデータ信号出力を得ることができる。

20

【0036】

このようにして、リファレンス信号の電位を上限値(UL)および下限値(LL)の間で変動させることにより、図中Gに示すようなデータ信号出力の遅延可変幅を持たせることができるようになる。

また、図1に示すレベル比制御部5は、RZ変調器3から出力されたRZ-DQPSK光信号に基づいて、波形整形部4-1、4-2に入力されるクロック信号の振幅レベルに対するリファレンス信号の電位（基準レベル）の相対的レベル比を可変制御するレベル比制御部であり、このレベル比制御部5による上述の相対的レベル比の可変制御により、前述の図18の場合に生じるIQアーム間位相差(1)やデータ信号ークロック信号間位相差(2)を補償することができるようになっている。

30

【0037】

このために、レベル比制御部5は、発振回路5a、論理反転回路5b、乗算器5c-1、5c-2、光カプラ5d、フォトダイオード5e、トランスインピーダンスアンプ(TIA)5f、同期検波部5gおよび遅延制御回路5hをそなえている。尚、この図1に示すように、TIA5fと同期検波部5gとの間に、TIA5fから出力される電気信号について、周波数 f_0 の成分を抽出するバンドパスフィルタ(BPF)5iを介装すること

40

【0038】

発振回路5aは、所定周波数 f_0 の信号（周波数信号 f_0 ）を発生させるものである。この発振回路5aで発生する周波数信号 f_0 は、IQアーム間位相差やデータ信号ークロック信号間位相差を補償する遅延時間設定の最適設定を探索するためにリファレンス信号の電位を変動させるためのものであって、例えば数kHz～数MHz程度の、データ信号のビットレートに相当する周波数よりも十分に小さい周波数を有する正弦波信号とすることができる。

【0039】

また、乗算器5c-1は、発振回路5aからの周波数信号 f_0 と、後述の遅延制御回路

50

5 f からのリファレンス調整値とを乗算して、リファレンス信号（基準レベル信号）として波形整形部 4-1 に供給する。又、乗算器 5 c-2 は、発振回路 5 a で発生する周波数信号 f 0 について論理反転回路 5 b を介して入力されるとともに、遅延制御回路 5 f からのリファレンス調整値とを乗算して、リファレンス信号（基準レベル信号）として波形整形部 4-2 に供給する。

【0040】

ここで、論理反転回路 5 b は、遅延制御回路 5 h をなす切り替え部 5 h-1 からの切り替え指示を受けて、発振回路 5 a からの周波数信号 f 0 について、位相を非反転（正転）又は反転させて乗算器 5 c-2 に出力する。即ち、論理反転回路 5 b で周波数信号 f 0 を反転させる場合には、2つの乗算器 5 c-1, 5 c-2 にそれぞれ入力される周波数信号 f 0 は互いに位相が反転した関係を有する一方、論理反転回路 5 b で周波数信号 f 0 を正転させる場合には、2つの乗算器 5 c-1, 5 c-2 にそれぞれ入力される周波数信号 f 0 は互いに同位相の関係を有することになる。従って、論理反転回路 5 b は、基準レベル信号への重畳を通じて波形整形部 4-1, 4-2 へ供給される所定周波数 f 0 の信号の一方について反転させる信号反転部である。

10

【0041】

図 5 (a) ~ 図 5 (c) は、論理反転回路 5 b において上述のごとく互いに位相が反転した周波数信号 f 0 が乗算器 5 c-1, 5 c-2 に供給された場合に、D Q P S K 変調部 2 および R Z 変調部 3 での変調に与える影響を示すものである。一方、図 6 (a) ~ 図 6 (c) は、論理反転回路 5 b において同位相の周波数信号 f 0 が乗算器 5 c-1, 5 c-2 に供給された場合に、D Q P S K 変調部 2 および R Z 変調部 3 での変調に与える影響を示すものである。

20

【0042】

図 5 (a) に示すように、波形整形部 4-1, 4-2 においては、それぞれ、乗算器 5 c-1, 5 c-2 から互いに位相が反転する周波数信号 f 0 の成分が重畳されたリファレンス信号 a 1, a 2 が入力される。波形整形部 4-1, 4-2 においては、周波数信号 f 0 で変動するリファレンス信号 a 1, a 2 が入力されると、その変動にあわせてデータ信号の識別タイミングも変動する。

【0043】

したがって、図 5 (b) に示すように、波形整形部 4-1, 4-2 から出力されるデータ信号 b 1, b 2 についても、リファレンス信号 a 1, a 2 の変動にあわせてその出力タイミングが変動する。換言すれば、波形整形部 4-1, 4-2 から出力されるデータ信号 b 1, b 2 には、周波数 f 0 の周期で遅延時間 T 1, T 2 が与えられる。尚、変動する遅延時間の振幅 Δ は、データ信号の識別が可能なリファレンス信号の変動幅（図 3 の R 参照）よりも十分に小さいものとする。

30

【0044】

D Q P S K 変調部 2 においては、上述のごとく周波数 f 0 の周期で変動する遅延時間 T 1, T 2 が与えられたデータ信号 b 1, b 2 に基づいて位相変調される。即ち、D Q P S K 変調部 2 をなす I アーム部 2 a i のマッハツェンダ干渉計 2 b i においては、データ信号 b 1 によって位相変調される一方、Q アーム部 2 a q のマッハツェンダ干渉計 2 b q においては、データ信号 b 2 によって位相変調される。合波導波路部 2 a m では、各アーム部 2 a i, 2 a q を通じて位相変調された光信号が合波され、D Q P S K 変調光信号として出力される。

40

【0045】

このとき、マッハツェンダ干渉計 2 b i, 2 b q を伝搬する光が位相変調される光信号の遅延時間差、即ち I Q アーム間位相差は、図 5 (c) の c 1 に示すように、図 5 (b) の T 2 - T 1 に相当するため、時間軸上において周波数 f 0 で変動する。

一方、D Q P S K 変調部 2 をなす各マッハツェンダ干渉計 2 b i, 2 b q での位相変調による遅延時間差の平均 $[(T 1 + T 2) / 2]$ は、T 1, T 2 が相殺されて実質的に 0 となり、R Z 変調部 3 においては、クロック信号源 6 からのクロック信号について位相シ

50

フトを付与せずに R Z 変調に用いているので、R Z 変調による遅延時間差の平均についても実質的に 0 となる。

【0046】

したがって、図 5 (c) の c 2 に示すように、データ信号－クロック信号間位相差については、D Q P S K 変調部 2 での位相変調による遅延時間差の平均と、R Z 変調部 3 での R Z 変調による遅延時間差の平均と、の差から求められるので、常に一定となる。

すなわち、論理反転回路 5 b において反転信号を出力すると、互いに位相が反転した周波数信号 f 0 を乗算器 5 c - 1, 5 c - 2 に供給することができ、I Q アーム間位相差のみを切り出すことができるようになる。

【0047】

また、図 6 (a) に示すように、論理反転回路 5 b において互いに同位相の周波数信号 f 0 を乗算器 5 c - 1, 5 c - 2 に供給することにより、波形整形部 4 - 1, 4 - 2 においては、それぞれ、乗算器 5 c - 1, 5 c - 2 から互いに同位相の周波数信号 f 0 の成分が重畳されたリファレンス信号 a 1 1, a 1 2 が入力される。

そして、図 6 (b) に示すように、波形整形部 4 - 1, 4 - 2 から出力されるデータ信号 b 1 1, b 1 2 についても、それぞれ、リファレンス信号 a 1 1, a 1 2 の変動にあわせてその出力タイミングが変動し、時間軸上では周波数 f 0 で遅延量変動する [図 6 (b) の T 1, T 2 参照]。即ち、D Q P S K 変調部 2 をなす I アーム部 2 a i のマッハツェンダ干渉計 2 b i においては、データ信号 b 1 1 によって位相変調される一方、Q アーム部 2 a q のマッハツェンダ干渉計 2 b q においては、データ信号 b 1 2 によって位相変調される。

【0048】

このとき、波形整形部 4 - 1, 4 - 2 に入力される信号に関し、乗算器 5 c - 1, 5 c - 2 で乗算される周波数信号 f 0 とともに、クロック信号源 6 からのクロック信号は共通としているので、マッハツェンダ干渉計 2 b i, 2 b q を伝搬する光については互いに同位相で遅延時間 T 1, T 2 を変動させることができ、両マッハツェンダ干渉計 2 b i, 2 b q で位相変調される光信号の遅延時間差 (T 2 - T 1)、即ち I Q アーム間位相差は、図 6 (c) の c 1 1 に示すように、時間軸上では実質的に一定値 0 とすることが可能である (T 2 - T 1 = 0)。

【0049】

一方、D Q P S K 変調部 2 をなす各マッハツェンダ干渉計 2 b i, 2 b q での位相変調による遅延時間差の平均 [(T 1 + T 2) / 2] を求めると、周波数 f 0 の成分が残る。又、R Z 変調部 3 においては、クロック信号源 6 からのクロック信号について位相シフトを付与せずに R Z 変調に用いているので、R Z 変調による遅延時間差の平均については実質的に 0 となる。

【0050】

したがって、D Q P S K 変調部 2 での位相変調による遅延時間差の平均と、R Z 変調部 3 での R Z 変調による遅延時間差の平均と、の差から求められるデータ信号－クロック信号間位相差については、図 6 (c) の c 1 2 に示すように、周波数 f 0 の成分が残ることになる [(T 1 + T 2) / 2]。

すなわち、論理反転回路 5 b で正転信号を出力すると、互いに移送が同位相の周波数信号 f 0 を乗算器 5 c - 1, 5 c - 2 に供給することができるので、データ信号－クロック信号間位相差のみを切り出すことができるようになる。

【0051】

したがって、上述の論理反転回路 5 b, 乗算器 5 c - 1, 5 c - 2 により、発振回路 5 a から出力される所定周波数 f 0 の信号を、基準レベル信号に重畳して波形整形部 4 - 1, 4 - 2 に供給する周波数成分重畳部を構成し、この周波数成分重畳部としての構成と発振回路 5 a とにより、クロック信号の振幅レベルに対する基準レベルの相対的レベルを所定周波数で変動させる変動部を構成する。

【0052】

また、図1に示す光カプラ5dは、RZ変調部3から出力された光信号の一部を分岐する分岐部であり、フォトダイオード(PD)5eは、分岐部をなす光カプラ5dで分岐された一部の光信号を受光して電気信号(ここでは電流信号)に変換する受光部である。尚、これらの光カプラ5dおよびフォトダイオード5eについては、RZ変調部3をなすモジュール(又はDQPSK変調部2およびRZ変調部3が集積化されたモジュール)に内蔵された構成を利用することも可能である。

【0053】

トランスインピーダンスアンプ(TIA)5fは、フォトダイオード5eからの電流信号について電圧信号に変換するものであるが、フォトダイオード5eから出力される電気信号が電圧信号であれば省略することも可能である。更に、同期検波部5gは、TIA5fからの電気信号に含まれる所定周波数f0の成分を、発振回路5aからの所定周波数f0の信号に基づいて同期検波により抽出するものである。

10

【0054】

したがって、上述の光カプラ5d、フォトダイオード5e、TIA5fおよび同期検波部5gにより、RZ変調部3から出力された光信号から所定周波数f0の成分を抽出する抽出部を構成する。

また、遅延制御回路5hは、上述のIQアーム間位相差およびデータ信号ークロック信号間位相差を補償すべく波形整形部4-1、4-2に与えるリファレンス信号の電位を調整するものであり、切り替え部5h-1および調整部5h-2をそなえている。

【0055】

20

切り替え部5h-1は、論理反転回路5bにおける所定周波数f0の信号の反転/非反転を切り替え制御するものであり、調整部5h-2は、抽出部をなす同期検波部5gで抽出された所定周波数f0の成分に基づいて、変動部をなす乗算器5c-1、5c-2での周波数信号f0の重畳を通じて周期的に変動させる、クロック信号の振幅レベルに対するリファレンス信号の相対的レベル比の中心値を調整するものである。

【0056】

具体的には、同期検波部5gで抽出される所定周波数f0の成分が最小となるように、上述の相対的レベル比の中心値を定めるリファレンス調整値を電圧信号として出力することにより、リファレンス信号を調整して波形整形部4-1、4-2に供給することができるようにになっている。換言すれば、リファレンス信号の相対的レベル比の中心値は、クロック信号の振幅レベルに対するリファレンス調整値の比といえることができる。

30

【0057】

すなわち、切り替え部5h-1での切り替え制御により、論理反転回路5bから発振回路5aからの周波数信号f0を反転して出力させることにより、調整部5h-2においては、IQアーム間位相差を補償すべく波形整形部4-1、4-2に与えるリファレンス信号を調整することができる。又、切り替え部5h-1での切り替え制御により、論理反転回路5bから発振回路5aからの周波数信号f0を正転して(そのまま)出力させることにより、調整部5h-2においては、データ信号ークロック信号間位相差を補償すべく波形整形部4-1、4-2に与えるリファレンス信号を調整することができる。

【0058】

40

図7(a)~図7(c)は調整部5h-2によるリファレンス信号の調整原理を説明する図である。波形整形部4-1、4-2へのリファレンス信号に互いに同位相の周波数信号f0が重畳されている場合には、同期検波部5gからの周波数f0の成分の大きさ(パワー)は、図7(a)に示すように、データ信号ークロック信号間位相差が実質的に0のときに極小となり、データ信号ークロック信号間位相差の値が0から離れていくに従い周波数f0の成分は大きくなる。

【0059】

データ信号ークロック信号間位相差は、波形整形部4-1、4-2から出力されるデータ信号の遅延時間T1、T2(図6(b)参照)の平均と、RZ変調部3でのRZ変調による遅延時間差の平均[0]と、の差[(T1+T2)/2]により求められる。そして

50

、波形整形部 4-1, 4-2 から出力されるデータ信号の遅延時間 T_1 , T_2 は、それぞれの波形整形部 4-1, 4-2 に入力されるクロック信号の振幅レベルに対するリファレンス信号のレベルの相対的レベル比に対応する。

【0060】

したがって、図 7 (a) に示すように、波形整形部 4-1, 4-2 に入力されるリファレンス信号に周波数信号 f_0 が重畳されているので、それぞれの相対的レベル比を変動させて、データ信号ークロック信号間位相差の値についても、時間軸上 ($t_5 \sim t_1$) で変動させることができるようになる。

このとき、調整部 5h-2 から乗算器 5c-1, 5c-2 に出力される各リファレンス調整値が適正であれば、図 7 (a) の a1 に示すように、データ信号ークロック信号間位相差は、周波数 f_0 の成分の極小点となる位相差の点を跨いで周期的に変動する。従って、同期検波部 5g で抽出される周波数 f_0 の成分の大きさについても極小点をまたいで周期的に変動するため、図 7 (b) に示すように、時間軸上では f_0 成分の 2 倍の周波数成分が支配的となり、 f_0 成分は理想的には 0 となる。

【0061】

これに対し、調整部 5h-2 から乗算器 5c-1, 5c-2 に出力される各リファレンス調整値が適正でない場合には、図 7 (a) の a2 に示すように、データ信号ークロック信号間位相差は、周波数 f_0 の成分の極小点となる位相差の点を跨がずに周期的に変動する。従って、同期検波部 5g で抽出される周波数 f_0 の成分の大きさについても極小点を跨がずに周期的に変動するため、図 7 (c) に示すように、時間軸上では f_0 成分の周波数成分が支配的となる。

【0062】

このように、調整部 5h-2 においては、同期検波部 5g で抽出される周波数 f_0 の成分が最小 (0) となるように、乗算器 5c-1, 5c-2 へのリファレンス調整値を調整することにより、データ信号ークロック信号間位相差を最適に補償することができるようになる。

また、波形整形部 4-1, 4-2 へのリファレンス信号に互いに逆位相の周波数信号 f_0 が重畳されている場合には、I Q アーム位相差 ($T_2 - T_1$) に対する同期検波部 5g からの周波数 f_0 の成分の大きさ (パワー) についても、データ信号ークロック信号間位相差に対する周波数 f_0 の成分 [図 7 (a) 参照] と同様に、I Q アーム位相差 ($T_2 - T_1$) が実質的に 0 のときに極小となり、I Q アーム間位相差の値が 0 から離れていくに従い周波数 f_0 の成分は大きくなるということができる。

【0063】

したがって、図 7 (b), 図 7 (c) の場合と実質的に同様に、調整部 5h-2 においては、同期検波部 5g で抽出される周波数 f_0 の成分が最小 (0) となるように、乗算器 5c-1, 5c-2 へのリファレンス調整値を調整することにより、I Q アーム間位相差についても最適に補償することができるようになる。

上述のごとく構成された光変調装置 1 において、I Q アーム間位相差を補償する場合の動作を図 8 に示すフローチャートを用いて説明する。切り替え部 5h-1 による切り替え制御を通じて、論理反転回路 5b により波形整形部 (DEC) 4-2 に重畳する周波数信号 f_0 の位相を、波形整形部 (DEC) 4-1 への周波数信号 f_0 の位相と反転させる (図 8 のステップ A1)。

【0064】

そして、乗算器 5c-1, 5c-2 において、それぞれのリファレンス調整値に互いに位相が反転した周波数信号 f_0 を乗算して、それぞれ、波形整形部 4-1, 4-2 へのリファレンス信号として出力する。これにより、波形整形部 4-1, 4-2 のリファレンス信号には周波数 f_0 の信号が重畳されることになる (ステップ A2)。

このように互いに位相が反転した周波数信号 f_0 が重畳されたリファレンス信号が波形整形部 4-1, 4-2 にそれぞれ入力されるので、前述の図 5 (b) に示すように、波形整形部 4-1, 4-2 から出力されるデータ信号の遅延時間が周波数 f_0 で変動すること

10

20

30

40

50

となる（ステップA3）。

【0065】

このとき、マッハツェンダ干渉計2b i, 2b qを伝搬する光が位相変調される光信号の遅延時間差、即ちIQアーム間位相差は、図5(c)のc1に示すように、図5(b)のT2-T1に相当するため、時間軸上において周波数f0で変動する（ステップA4）。一方、データ信号ークロック信号間位相差については、DQPSK変調部2での位相変調による遅延時間差の平均と、RZ変調部3でのRZ変調による遅延時間差の平均と、の差から求められるので、常に一定値0となる。

【0066】

すなわち、論理反転回路5bにおいて反転信号を出力し、互いに位相が反転した周波数信号f0を乗算器5c-1, 5c-2に供給することで、RZ光変調部3から出力される光信号をIQアーム間位相差（遅延差）に応じて変化させることができるようになる（ステップA5）。

そして、RZ変調部3の出力を光カプラ5dで分岐し、分岐した光信号をフォトダイオード5eで受光する（ステップA6）。更に、同期検波部5gでは、フォトダイオード5eからのモニタ信号を入力されるとともに、波形整形部4-1, 4-2のリファレンス信号に重畳された周波数信号f0を発振回路5aから入力され、これらのモニタ信号と発振回路5aからの周波数信号f0とを周波数比較することにより同期検波を行ない、モニタ信号に含まれている周波数f0の成分を抽出する（ステップA7）。

【0067】

遅延制御回路5hをなす調整部5h-2においては、同期検波部5gで抽出された周波数f0の成分が最小（0）となるまで（IQアーム間位相差が最適となるまで）、各波形整形部4-1, 4-2におけるリファレンス信号のもととなるリファレンス調整値（リファレンス電位）をそれぞれ変更する（ステップA8のNOルートからステップA9）。その後、同期検波部5gで抽出された周波数f0の成分が最小となると、リファレンス調整値の変更制御は終了となる（ステップA8のYESルート）。

【0068】

また、データ信号ークロック信号間位相差を補償する場合においては、図9に示すように、切り替え部5h-1による切り替え制御を通じて、論理反転回路5bにより波形整形部（DEC）4-2に重畳する周波数信号f0の位相を、波形整形部（DEC）4-1への周波数信号f0の位相と同位相とする（ステップB1）。

そして、乗算器5c-1, 5c-2において、調整部5h-2からのリファレンス調整値に互いに位相が同位相の周波数信号f0を乗算して、それぞれ、波形整形部4-1, 4-2へのリファレンス信号として出力する。これにより、波形整形部4-1, 4-2のリファレンス信号には周波数f0の信号が重畳されることになる（ステップB2）。

【0069】

このように互いに同位相の周波数信号f0が重畳されたリファレンス信号が波形整形部4-1, 4-2にそれぞれ入力されるので、前述の図6(b)に示すように、波形整形部4-1, 4-2から出力されるデータ信号の遅延時間が周波数f0で変動することとなるが、その遅延時間差の変動は同相となる〔図6(b)のb11, b12、ステップB3〕。

【0070】

このとき、マッハツェンダ干渉計2b i, 2b qを伝搬する光が位相変調される光信号の遅延時間差、即ちIQアーム間位相差は、図6(c)のc11に示すように、図6(b)のT2-T1に相当するため、時間軸上においては実質的には一定値0となる。一方、データ信号ークロック信号間位相差については、DQPSK変調部2での位相変調による遅延時間差の平均 $[(T2+T1)/2]$ と、RZ変調部3でのRZ変調による遅延時間差の平均（0）と、の差から求められるので、周波数f0で変動する（ステップB4）。

【0071】

すなわち、互いに同位相の周波数信号f0を乗算器5c-1, 5c-2に供給すること

10

20

30

40

50

で、R Z 光変調部 3 から出力される光信号をデータ信号ークロック信号間位相差（遅延差）に応じて変化させることができるようになる（ステップ B 5）。

そして、R Z 変調部 3 の出力を光カップラ 5 d で分岐し、分岐した光信号をフォトダイオード 5 e で受光する（ステップ B 6）。更に、同期検波部 5 g では、フォトダイオード 5 e からのモニタ信号を入力されるとともに、波形整形部 4-1, 4-2 のリファレンス信号に重畳された周波数信号 f 0 を発振回路 5 a から入力され、これらのモニタ信号と発振回路 5 a からの周波数信号 f 0 とを周波数比較することにより同期検波を行ない、モニタ信号に含まれている周波数 f 0 の成分を抽出する（ステップ B 7）。

【0072】

遅延制御回路 5 h をなす調整部 5 h-2 においては、同期検波部 5 g で抽出された周波数 f 0 の成分が最小（0）となるまで（データ信号ークロック信号間位相差が最適となるまで）、各波形整形部 4-1, 4-2 におけるリファレンス信号のもととなるリファレンス調整値（リファレンス電位）をそれぞれ変更する（ステップ B 8 の NO ルートからステップ B 9）。その後、同期検波部 5 g で抽出された周波数 f 0 の成分が最小となると、リファレンス調整値の変更制御は終了となる（ステップ B 8 の YES ルート）。

【0073】

このように、本発明の第 1 実施形態にかかる光変調装置 1 によれば、D Q P S K 変調部 2 から出力された光信号に基づいて、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を可変制御するレベル比制御部 5 をそなえているので、温度変動や経時変動によって、光変調装置 1 をなす回路中の位相遅延量が変化することで、回路中の各部の位相にずれが生じた場合においても、適応的にこれを補償することができる。従って、経時変動特性、個体ばらつきによらず、簡易かつ高精度に位相差を補償することができる。

【0074】

この点、図 10 に示すように、第 1 実施形態に示す波形整形部 4-1, 4-2 におけるリファレンス信号への周波数信号 f 0 の重畳を行なうことに代えて、D F F 4'-1, 4'-2 におけるデータ信号の出力タイミングを定めるクロック信号の位相を直接可変制御する位相シフタ 10'-1, 10'-2 をそなえ、D Q P S K 変調部 2 を駆動するデータ信号と R Z 変調部 3 を駆動するクロック信号の遅延を制御する構成が考えられる。即ち、位相シフタ 10'-1, 10'-2 に対して位相シフト量を制御するための制御信号に周波数信号 f 0 を重畳し、位相制御部 5 h' で、R Z 変調部 3 の出力のモニタ光から抽出した周波数信号 f 0 の成分を用いて遅延差が最適となるように位相シフタ 10'-1, 10'-2 を制御する。尚、図 10 中、図 1 と同一の符号はほぼ同様の部分を示している。

【0075】

しかしながら、上述の図 10 に示す構成においては、遅延を制御する位相シフタ 10'-1, 10'-2 として電圧による駆動が可能な電気回路式の位相シフタが適用される。この電気回路式の位相シフタは、一般的に損失が大きい（> 4 dB）ため、その損失を補うためにアンプ等の追加が必要になり、結果として、回路の部品点数が増大し、消費電力やコストの増加に繋がる。

【0076】

これに対し、第 1 実施形態にかかる光変調装置 1 においては、上述の図 10 に示すような電気回路による位相シフタを用いずに信号間の遅延差を補償制御することが可能となり、回路の部品点数の増大、ひいては、消費電力やコスト増加を抑制させることができる。

〔B〕第 2 実施形態の説明

図 11 は本発明の第 2 実施形態にかかる光変調装置 1 A を示す図である。この図 11 に示す光変調装置 1 A は、前述の第 1 実施形態の場合と異なり、R Z 変調部 3 A と D Q P S K 変調部 2 A の光伝搬方向についての配列順序が第 1 実施形態の場合と逆になっている。即ち、R Z 変調部 3 A は、クロック信号源 6 からのクロック信号に基づいて R Z 変調された第 2 R Z 光信号を生成し出力する第 2 R Z 変調部であり、光源 7 に接続されたマッハツェンダ干渉計 3 a とともに、マッハツェンダ干渉計 3 a 上に R Z 光変調のための図示しな

10

20

30

40

50

い電極が形成されて構成される。又、DQPSK変調部2Aは、RZ変調部3Aからの第2RZ光信号から、DQPSK変調された光信号(RZ-DQPSK変調光信号)を生成し出力する。

【0077】

この場合においては、光カプラ5d、フォトダイオード5e、TIA5fおよび同期検波部5gにより、DQPSK変調部2Aから出力された光信号から所定周波数f0の成分を抽出する抽出部を構成する。尚、上記構成以外の構成については、前述の図1に示すものと基本的に同様であり、図11中、図1と同一の符号はほぼ同様の部分を示している。

したがって、第2実施形態にかかる光変調装置1Aにおいても、前述の第1実施形態の場合と同様の利点を得ることができる。

【0078】

〔C〕第3実施形態の説明

図12は本発明の第3実施形態にかかる光変調装置1Bを示す図である。この図12に示す光変調装置1Bは、前述の第1実施形態における光変調装置1に比して、レベル比制御部5Bとしての構成が異なっている。尚、その他の構成については前述の第1実施形態の場合と基本的に同様であり、図12中、図1と同一の符号は、ほぼ同様の部分を示している。

【0079】

ここで、光変調装置1Bにおけるレベル比制御部5Bは、前述の第1実施形態の場合と異なる波形整形部4B-1、4B-2、乗算器5j-1、5j-2および遅延制御回路5kをそなえるとともに、バイアスT回路5m-1、5m-2および抵抗5n-1、5n-2をそなえている。

波形整形部4B-1、4B-2は、前述の第1実施形態におけるもの(図1の符号4-1、4-2参照)と同様に、入力されるクロック信号の基準レベル(リファレンスレベル)との大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形されたデータ信号を出力するものであるが、第1実施形態の場合と異なり、リファレンスレベルとしては固定的に「0」とし、切片値が調整されたクロック信号を入力されるようになっている。即ち、第3実施形態における波形整形部4B-1、4B-2においては、切片値が調整されたクロック信号を受けることによって、クロック信号の振幅レベルに対する基準レベルの相対的レベル比を可変制御することができるようになる。

【0080】

このため、遅延制御回路5kは、前述の第1実施形態の場合と同様の切り替え部5h-1をそなえるとともに、調整部5k-2をそなえている。調整部5k-2は、抽出部をなす同期検波部5gで抽出される周波数f0の成分が最小となるように、各波形整形部4B-1、4B-2へのクロック信号の切片成分(直流成分)の調整値を出力するものである。

【0081】

また、乗算器5j-1は、発振回路5aからの周波数信号f0と、調整部5k-2からの波形整形部4B-1への切片成分調整値と、を乗算するものである。更に、乗算器5j-2は、切り替え部5h-1で動作状態が切り替え制御された論理反転回路5bからの周波数信号f0と、調整部5k-2からの波形整形部4B-2への切片成分調整値と、を乗算し、切片成分信号として出力するものである。

【0082】

さらに、抵抗5n-1、5n-2はそれぞれ、クロック信号源6からのクロック信号について直流成分を除去するものである。バイアスT回路5m-1、5m-2は、クロック信号源6から抵抗5n-1、5n-2を介して入力されたクロック信号について、乗算器5j-1、5j-2からの切片成分信号を重畳するものである。

波形整形部4B-1、4B-2においては、入力されるクロック信号CLKの立ち上がりまたは立ち下がりのタイミングに合わせてデータ信号の識別を行なう。具体的には、クロック信号CLKの立ち上がりまたは立ち下がりを判断するため、「0」に固定されたり

10

20

30

40

50

ファレンス電位を用いる。このとき、例えば図13に示すように、乗算器 $5j-1$ 、 $5j-2$ およびバイアスT回路 $5m-1$ 、 $5m-2$ を通じて入力されるクロック信号の切片成分信号により、クロック信号波形が上下するので、リファレンス電位に対する立ち上がり（又は立ち下がり）のタイミングについては、クロック信号波形における切片成分に応じて、時間軸上前後に調整させることができるようになる。

【0083】

たとえば、図13に示すように、切片成分電位（直流成分、 $S1$ ）を0よりも大きい上限値とすることにより、リファレンス電位「0」に基づくクロック信号 $a1$ の立ち上がりタイミングを時点 $t1$ 、 $t2$ とすることができる。一方、切片成分電位を0よりも小さい下限値とすることにより（ $S2$ ）、リファレンス電位「0」に基づくクロック信号 $a2$ の立ち上がりタイミングを時点 $t11$ 、 $t12$ とすることができる。この図13に示すように、切片成分電位を $S1$ と $S2$ との間で変動させることとすれば、波形整形部 $4B-1$ 、 $4B-2$ からのデータ信号の出力タイミングを図中Gの範囲内で可変することができる。

【0084】

第3実施形態においても、発振回路 $5a$ にて発生する周波数信号 $f0$ に基づいて、クロック信号の切片成分を周波数 $f0$ で上下させることができるようになる。従って、上述の発振回路 $5a$ 、論理反転回路 $5b$ 、乗算器 $5j-1$ 、 $5j-2$ 、バイアスT回路 $5m-1$ 、 $5m-2$ および抵抗 $5n-1$ 、 $5n-2$ により、クロック信号の振幅レベルに対する基準レベル（リファレンス電位）の相対的レベル比を所定周波数 $f0$ で変動させる変動部を構成する。

【0085】

また、調整部 $5k-2$ において、同期検波部 $5g$ で抽出される周波数 $f0$ の成分が最小（0）となるように、各波形整形部 $4B-1$ 、 $4B-2$ へのクロック信号の切片成分（直流成分）の調整値を出力する。換言すれば、調整部 $5h-2$ で出力する切片成分の調整値は、周波数 $f0$ で周期的に変動される相対的レベル比の中心を定めるものである。

上述のごとく構成される光変調装置1Bにおいても、IQアーム間位相差を補償する場合においては、切り替え部 $5h-1$ による切り替え制御を通じて、論理反転回路 $5b$ により波形整形部（DEC） $4B-2$ に重畳する周波数信号 $f0$ の位相を、波形整形部（DEC） $4B-1$ への周波数信号 $f0$ の位相と反転させる。又、データ信号ークロック信号間位相差を補償する場合においては、切り替え部 $5h-1$ による切り替え制御を通じて、論理反転回路 $5b$ により波形整形部（DEC） $4-2$ に重畳する周波数信号 $f0$ の位相を、波形整形部（DEC） $4-1$ への周波数信号 $f0$ の位相と同位相とする。

【0086】

そして、調整部 $5j-2$ により、同期検波部 $5g$ で抽出される周波数 $f0$ の成分が最小（0）となるように、各波形整形部 $4B-1$ 、 $4B-2$ へのクロック信号の切片成分（直流成分）を調整することにより、IQアーム間位相差又はデータ信号ークロック信号間位相差を最適に補償することができるようになる。

このように、本発明の第3実施形態においても、前述の第1実施形態の場合と同様の利点を得ることができる。

【0087】

なお、第3実施形態にかかるレベル比制御部 $5B$ は、クロック信号の切片成分を調整することにより、周波数 $f0$ で変動する相対的レベル比の中心を調整しているが、このような相対的レベル比の中心を調整する態様としては、上述の図12に示す態様に限定されるものではない。

たとえば、図14に示す波形整形部 $4B'-1$ （ $4B'-2$ ）のように、識別タイミングを定めるクロック信号の立ち上がり又は立ち下がり判断のためのリファレンス電位としては図12の場合と同様に電位「0」を用いる一方、クロック信号入力を正転（CLKP）および反転（CLKN）の差動入力とするとともに、クロック信号の正転入力としてクロック信号源6からのクロック信号（交流成分）を入力されるとともに、反転入力として上述の乗算器 $5j-1$ （ $5j-2$ ）からの切片成分信号を入力されるようにすること

により、例えば図15に示すように、波形整形部4B'-1(4B'-2)としてのデータ信号の出力タイミングを調整することができるようになる。

【0088】

すなわち、この図15に示すように、反転入力される切片成分電位(直流成分、CLKN1)を上限值とすることにより、リファレンス電位「0」に基づくクロック信号(CLKP-CLKN1)の立ち上がりタイミングを時点t1、t2とすることができる。一方、切片成分電位を0よりも小さい下限値(CLKN2)とすることにより、リファレンス電位「0」に基づくクロック信号(CLKP-CLKN2)の立ち上がりタイミングを時点t11、t12とすることができる。この図14に示すように、反転入力される切片成分電位をCLKN1およびCLKN2の範囲で変動させると、波形整形部4B'-1、4B'-2からのデータ信号の出力タイミングを図中Gの範囲内で可変することができる。

10

【0089】

また、上述の第2実施形態の場合と同様に、RZ変調部とDQPSK変調部との光伝搬方向についての配列順序を逆にするとしてもよい。

〔D〕その他

上述した実施形態にかかわらず、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々変形して実施することができる。

【0090】

たとえば、上述の各実施形態においては、クロック信号源6から入力されるクロック信号を正弦波信号としているが、本発明によればこれに限定されず、例えば図16に示すような三角波信号としたり、図17に示すような鋸波信号としたりすることができる。クロック信号を、図16に示す三角波信号として20GHzの周波数を有するものとする場合には、波形整形部4-1、4-2(4B-1、4B-2)で識別可能なリファレンス信号電位を振幅値に対する10~90パーセントとすると、20psの遅延可変幅を得ることができる。又、図17に示す鋸波信号として20GHzの周波数を有するものとする場合には、波形整形部4-1、4-2(4B-1、4B-2)で識別可能なリファレンス信号電位を振幅値に対する10~90パーセントとすると、40psの遅延可変幅を得ることができる。従って、クロック信号として三角波信号又は鋸波信号とすると、20GHzの正弦波信号の遅延可変幅(15ps)と比べて、遅延可変幅を大きくすることが可能である。

20

30

【0091】

また、上述の本実施形態においては、多値位相変調部としてDQPSK変調部を適用しているが、本発明によればこれに限定されるものではなく、4値よりも多値の位相変調を行なう構成に適用したり、又はQPSK変調等の差動位相偏移変調以外の位相変調を行なう構成に適用したりすることも、もちろん可能である。

さらに、上述の実施形態においては多値位相変調部としてのDQPSK変調部2(2A)とRZ変調部3(3A)とがそなえられた装置構成において、位相差を補償する構成について詳述したが、少なくとも多値位相変調部がそなえられたものにおいて、上述のIQアーム間位相差のごとき位相差を補償するため、本発明を適用することが可能である。

【0092】

40

また、上述の第1実施形態においては、リファレンス信号に周波数信号f0を重畳するとともに、調整部5h-2では、同期検波部5gで検出する周波数f0の成分が最小(0)となるように、リファレンス信号の直流成分をリファレンス調整値により調整して相対的レベル比を調整しているが、本発明によれば、第1実施形態の調整部5h-2を第3実施形態の調整部5k-2に置き換えて、クロック信号の切片成分(直流成分)を調整するようにしてもよい。

【0093】

さらに、第3実施形態においては、クロック信号の切片成分に周波数信号f0を重畳するとともに、調整部5k-2では、同期検波部5gで検出する周波数f0の成分が最小(0)となるように、クロック信号の切片成分を調整して相対的レベル比を調整しているが

50

、本発明によれば、第3実施形態の調整部5k-2を第1実施形態の調整部5h-2に置き換えて、リファレンス信号の電位を調整するようにしてもよい。

【0094】

また、上述した実施形態の開示により、当業者であれば本発明の装置を製造することは可能である。

〔E〕付記

(付記1)

入力される複数のデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の基準レベルとの大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する複数の波形整形部と、

該複数の波形整形部にて波形整形された前記複数のデータ信号によって、多値位相変調された光信号を生成し出力する多値位相変調部と、

該多値位相変調部から出力された光信号に基づいて、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を可変制御するレベル比制御部と、をそなえたことを特徴とする、光変調装置。

【0095】

(付記2)

該レベル比制御部は、

前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させる変動部と、

該多値位相変調部から出力された光信号から前記所定周波数成分を抽出する抽出部と、

該抽出部で抽出された前記所定周波数成分に基づいて、該変動部で周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を調整する調整部と、をそなえたことを特徴とする、付記1記載の光変調装置。

【0096】

(付記3)

該変動部は、

前記所定周波数の信号を発生する発振回路と、

該発振回路から出力される前記所定周波数の信号を、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号か、又は、前記基準レベルを該複数の波形整形部に与える基準レベル信号に重畳して、前記複数の波形整形部に供給する周波数成分重畳部と、をそなえたことを特徴とする、付記2記載の光変調装置。

【0097】

(付記4)

該調整部においては、該抽出部で抽出される前記所定周波数成分が最小となるように、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号波形の切片成分を調整することにより、前記相対的レベル比の中心を調整することを特徴とする、付記3記載の光変調装置。

(付記5)

該調整部においては、該抽出部で抽出される前記所定周波数成分が最小となるように、前記基準レベル信号を調整して該複数の波形整形部に供給することにより、該波形整形部に入力される前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比の中心を調整することを特徴とする、付記3記載の光変調装置。

【0098】

(付記6)

該複数の波形整形部は、入力される2つのデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の基準レベルとの大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する2つの波形整形部として構成されるとともに、

前記クロック信号か又は前記基準レベル信号への重畳を通じて該複数の波形整形部へ供給される前記所定周波数の信号の一方について反転させる信号反転部を更にそなえたことを特徴とする、付記3記載の光変調装置。

【0099】

(付記7)

該抽出部は、該発振回路から出力される前記所定周波数の信号に基づいて、前記光信号から前記所定周波数成分を抽出することを特徴とする、付記2記載の光変調装置。

(付記8)

該多値位相変調部から出力された光信号を、前記クロック信号に基づいてRZ (Return to Zero) 変調を行なう第1RZ変調部を更にそなえ、

該レベル比制御部は、該第1RZ変調部から出力された第1RZ光信号に基づいて、該複数の波形整形部に入力される前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を可変制御することを特徴とする、付記1記載の光変調装置。

10

【0100】

(付記9)

前記クロック信号に基づいてRZ変調された第2RZ光信号を生成し出力する第2RZ変調部を更にそなえ、

該多値位相変調部は、該第2RZ変調部からの第2RZ光信号から、前記多値位相変調された光信号を生成し出力するように構成されたことを特徴とする、付記1記載の光変調装置。

【0101】

(付記10)

該複数の波形整形部は、入力される2つのデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の基準レベルとの大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する2つの波形整形部として構成されるとともに、

20

該レベル比制御部は、

前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させる変動部と、

該第1RZ変調部又は該多値位相変調部から出力された光信号から前記所定周波数成分を抽出する抽出部と、

該抽出部で抽出された前記所定周波数成分に基づいて、該変動部で周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を調整する調整部と、をそなえ、

該変動部は、

30

前記所定周波数の信号を発生する発振回路と、

該発振回路から出力される前記所定周波数の信号を、該2つの波形整形部に入力される前記クロック信号か、又は、前記基準レベルを該複数の波形整形部に与える基準レベル信号に重畳して、該2つの波形整形部に供給する周波数成分重畳部と、をそなえ、

かつ、該発振回路にて発振され、該周波数成分重畳部による前記クロック信号か又は前記基準レベル信号への重畳を通じて該複数の波形整形部へ供給される前記所定周波数の信号の一方について反転させる信号反転部を更にそなえたことを特徴とする、付記8又は9記載の光変調装置。

【0102】

(付記11)

40

該信号反転部の前記所定周波数の信号の反転／非反転を切り替える切り替え部を更にそなえたことを特徴とする、付記10記載の光変調装置。

(付記12)

該抽出部は、

該第1RZ変調部又は該多値位相変調部から出力された光信号の一部を分岐する分岐部と、

該分岐部で分岐された前記一部の光信号を受光して電気信号に変換する受光部と、

該受光部からの前記電気信号に含まれる前記所定周波数成分を、該発振回路からの前記所定周波数の信号に基づいて同期検波により抽出する同期検波部と、をそなえたことを特徴とする、付記10記載の光変調装置。

50

【0103】

(付記13)

該複数の波形整形部は、入力される2つのデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の基準レベルとの大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形する2つの波形整形部として構成されるときともに、

該多値位相変調部は、該2つの波形整形部にて波形整形された前記2つのデータ信号によって、DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) 変調を行なうことを特徴とする、付記1～12のいずれか1項記載の光変調装置。

【0104】

(付記14)

該複数の波形整形部の少なくとも1つに供給される前記クロック信号に固定的な位相シフトを与える位相シフタをそなえたことを特徴とする、付記1～13のいずれか1項記載の光変調装置。

(付記15)

該複数の波形整形部および該第1RZ変調部の少なくとも1つに供給される前記クロック信号に固定的な位相シフトを与える位相シフタをそなえたことを特徴とする、付記8記載の光変調装置。

【0105】

(付記16)

該複数の波形整形部および該第2RZ変調部の少なくとも1つに供給される前記クロック信号に固定的な位相シフトを与える位相シフタをそなえたことを特徴とする、付記9記載の光変調装置。

(付記17)

前記クロック信号を発生するクロック信号源を更にそなえたことを特徴とする、付記1～14のいずれか1項記載の光変調装置。

【0106】

(付記18)

該クロック信号源は、前記クロック信号として正弦波信号を出力することを特徴とする、付記17記載の光変調装置。

(付記19)

該クロック信号源は、前記クロック信号として三角波信号を出力することを特徴とする、付記17記載の光変調装置。

【0107】

(付記20)

該クロック信号源は、前記クロック信号として鋸波信号を出力することを特徴とする、付記17記載の光変調装置。

(付記21)

付記1～20のいずれか1項記載の光変調装置が搭載された光送信装置。

【0108】

(付記22)

入力される複数のデータ信号を、それぞれ、入力されるクロック信号の基準レベルとの大小に基づく立ち上がり又は立ち下がりタイミングに同期して波形整形し、

前記波形整形された前記複数のデータ信号によって、多値位相変調された光信号を生成し出力する一方、

前記複数のデータ信号について波形整形を行なうタイミングを定める基準となる、前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を、前記多値位相変調された光信号に基づいて可変制御することを特徴とする、光変調方法。

【0109】

(付記23)

前記相対的レベル比を可変制御する際に、

10

20

30

40

50

前記波形整形を行なう際の前記クロック信号の振幅レベルに対する前記基準レベルの相対的レベル比を所定周波数で変動させ、

該多値位相変調された光信号から前記所定周波数成分を抽出し、

前記抽出した前記所定周波数成分に基づいて、前記周期的に変動させる前記相対的レベル比の中心を調整することを特徴とする、付記 2 2 記載の光変調方法。

【図面の簡単な説明】

【0 1 1 0】

【図 1】本発明の第 1 実施形態にかかる光変調装置を示す図である。

【図 2】本発明の第 1 実施形態における波形整形部の構成例を示す図である。

【図 3】本発明の第 1 実施形態における波形整形部の動作について説明するための図である。 10

【図 4】(a) ~ (d) は、本発明の第 1 実施形態における波形整形部の動作について説明するための図である。

【図 5】(a) ~ (c) は、第 1 実施形態にかかる光変調装置の作用機能について説明するための図である。

【図 6】(a) ~ (c) は、第 1 実施形態にかかる光変調装置の作用機能について説明するための図である。

【図 7】(a) ~ (c) は、第 1 実施形態にかかる光変調装置の作用機能について説明するための図である。

【図 8】第 1 実施形態にかかる光変調装置 1 において、I Q アーム間位相差を補償する場合の動作を説明するためのフローチャートである。 20

【図 9】第 1 実施形態にかかる光変調装置 1 において、データ信号ークロック信号間位相差を補償する場合の動作を説明するためのフローチャートである。

【図 10】第 1 実施形態にかかる光変調装置の作用機能について説明するための対比構成例を示す図である。

【図 11】本発明の第 2 実施形態にかかる光変調装置を示す図である。

【図 12】本発明の第 3 実施形態にかかる光変調装置を示す図である。

【図 13】第 3 実施形態にかかる光変調装置の作用機能について説明するための図である。

【図 14】第 3 実施形態の変形例における波形整形部の構成例を示す図である。 30

【図 15】第 3 実施形態の変形例における光変調装置の作用機能について説明するための図である。

【図 16】本実施形態の変形例を説明するための図である。

【図 17】本実施形態の変形例を説明するための図である。

【図 18】40 G b p s の R Z - D Q P S K 変調方式を採用した光変調装置の構成例を示す図である。

【図 19】(a) ~ (c) は、I Q アーム間の位相差がそれぞれ 0 p s , - 1 0 p s , + 1 0 p s の場合における D Q P S K 変調器の出力波形を示す図である。

【図 20】(a) ~ (c) は、I Q アーム間の位相差がそれぞれ 0 p s , - 1 0 p s , + 1 0 p s の場合における R Z 変調器の出力波形を示す図である。 40

【図 21】(a) ~ (c) は、I Q アーム間の位相差が 0 p s である場合において、D a t a - C l k 間の位相差がそれぞれ 0 p s , - 5 p s , + 5 p s の場合における R Z 変調器の出力波形を示す図である。

【図 22】光変調装置における I Q アーム間位相差と Q 値ペナルティとの関係とともに、D a t a - C l k 間位相差と Q 値ペナルティとの関係について示す図である。

【符号の説明】

【0 1 1 1】

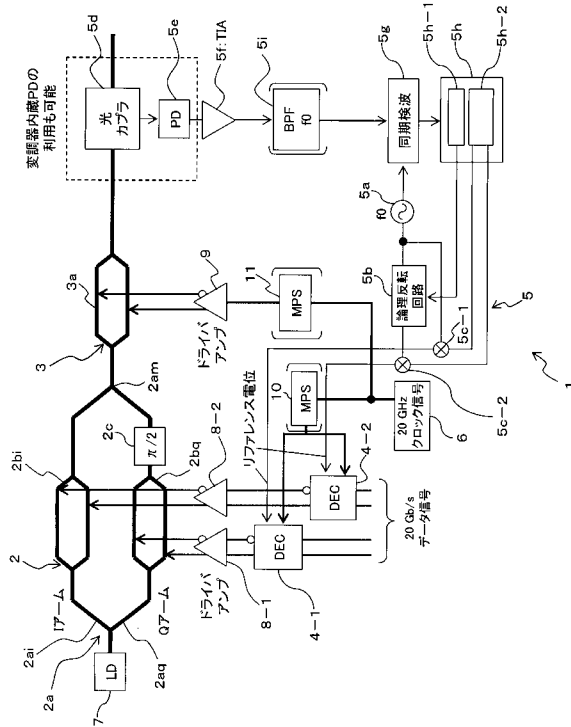
1, 1 A, 1 B 光変調装置

2, 2 A D Q P S K 変調部

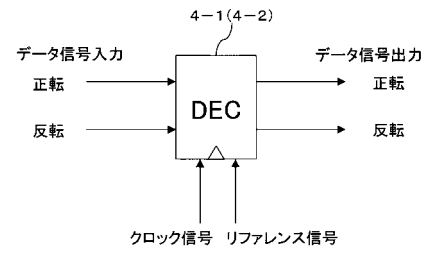
2 a 親マッハツェンダ干渉計

2 a i, 2 a q	アーム部	
2 b i, 2 b q	子マッハツェンダ干渉計	
2 c	移相器	
2 a m	合波導波路部	
3, 3 A	R Z 変調部	
4 - 1, 4 - 2, 4 ' - 1, 4 ' - 2, 4 B ' - 1, 4 B ' - 2	波形整形部	
5, 5 B	レベル比制御部	
5 a	発振回路	
5 b	論理反転回路	
5 c - 1, 5 c - 2, 5 j - 1, 5 j - 2	乗算器	10
5 d	光カプラ	
5 e	フォトダイオード	
5 f	トランスインピーダンスアンプ (T I A)	
5 g	同期検波部	
5 h, 5 k	遅延制御回路	
5 h - 1	切り替え部	
5 h - 2	調整部	
5 i	バンドパスフィルタ (B P F)	
5 m - 1, 5 m - 2	バイアス T 回路	
5 n - 1, 5 n - 2	抵抗	20
6	クロック信号源	
7	光源	
8 - 1, 8 - 2, 9	ドライバアンプ	
1 0, 1 0 ' - 1, 1 0 ' - 2, 1 1	位相シフタ	
1 0 0	光変調装置	
1 0 1	D Q P S K 変調器	
1 0 2	R Z 変調器	
1 0 3	親マッハツェンダ干渉計	
1 0 4 i, 1 0 4 q	子マッハツェンダ干渉計	
1 0 5	L D	30
1 0 6 i, 1 0 6 q	D F F	
1 0 7 i, 1 0 7 q, 1 0 9	ドライバアンプ	
1 0 8 q	移相器	
1 1 0	クロック信号源	

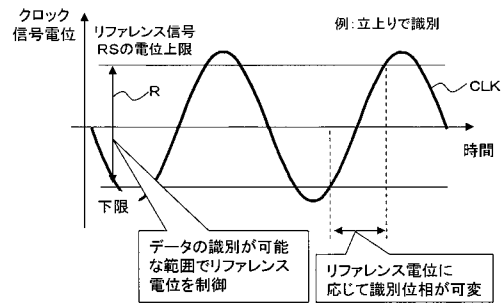
【図 1】



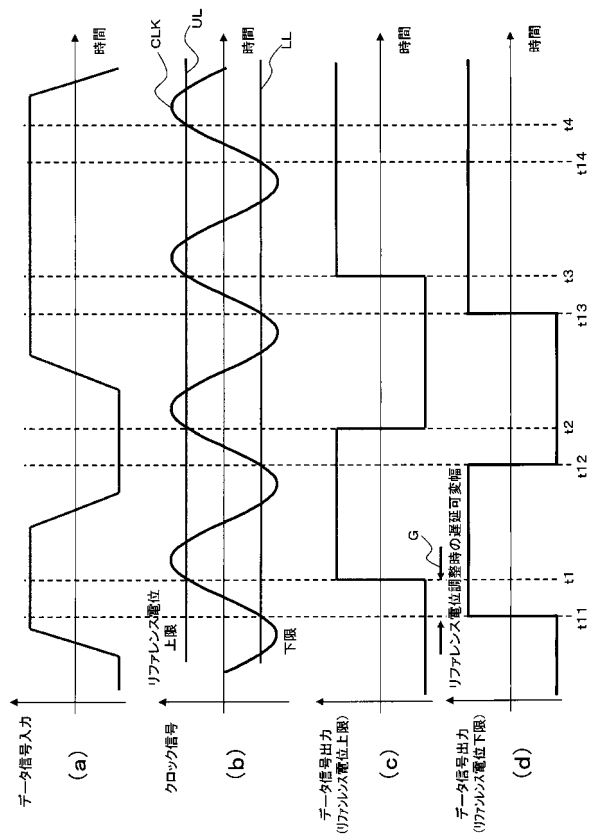
【図 2】



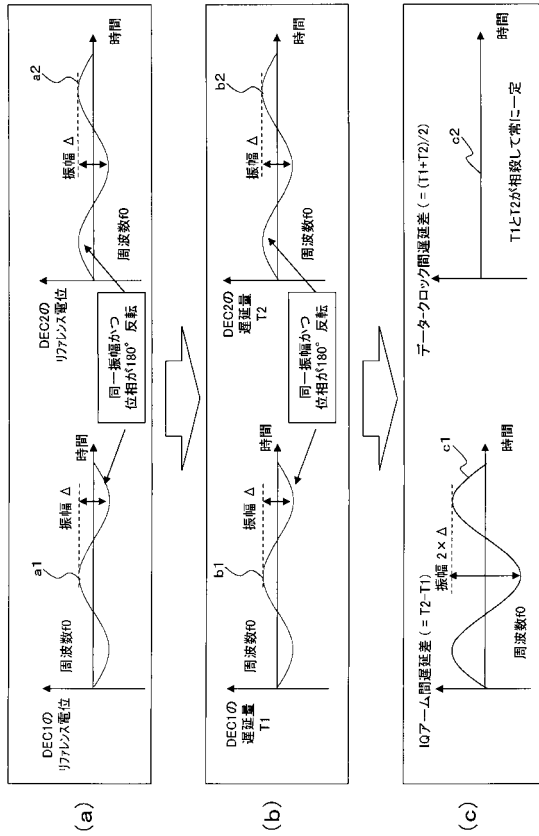
【図 3】



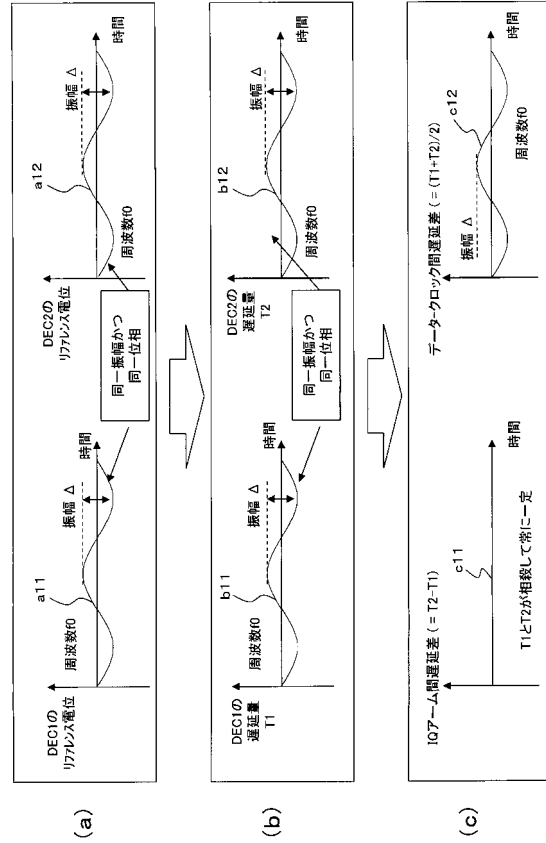
【图 4】



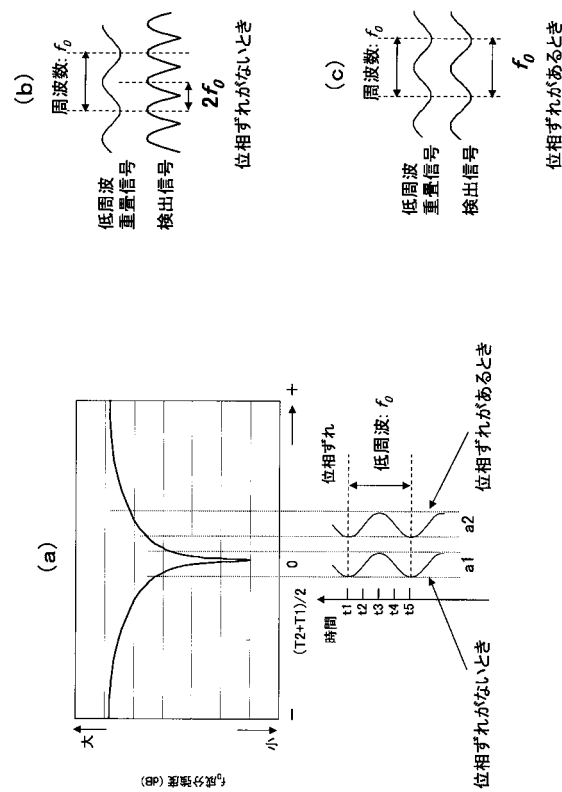
【図5】



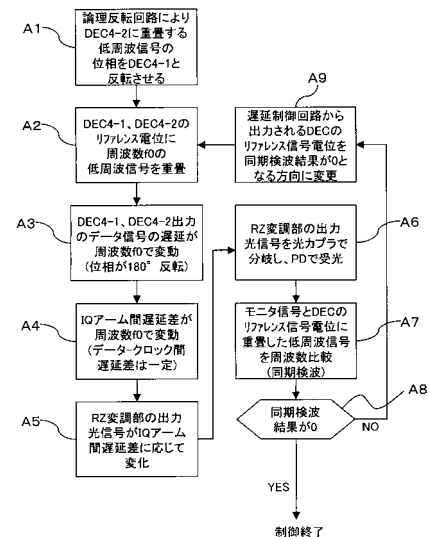
【図6】



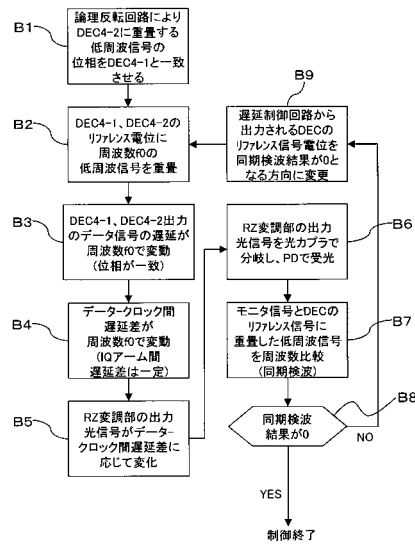
【図7】



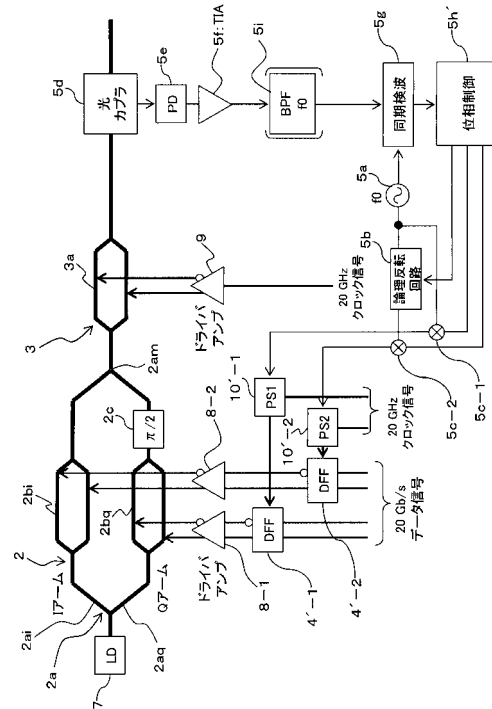
【図8】



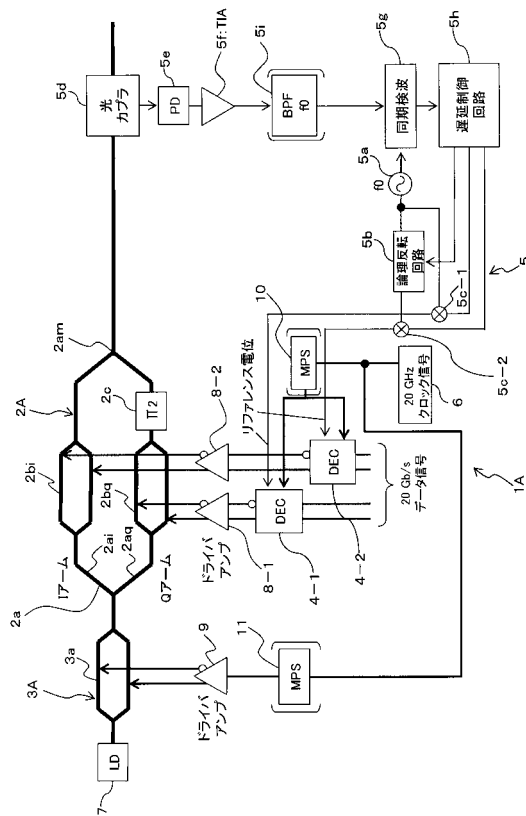
【図 9】



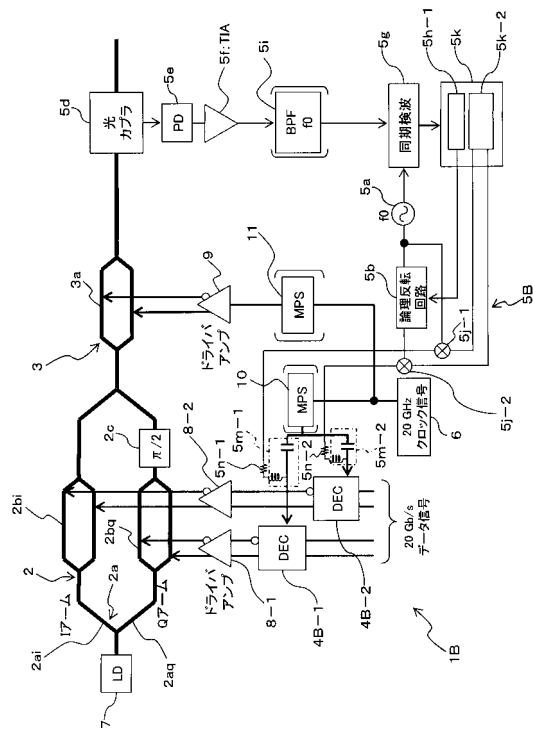
【図 10】



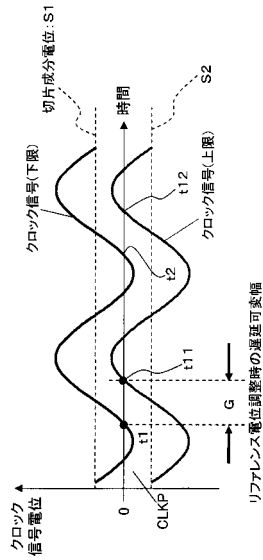
【図 11】



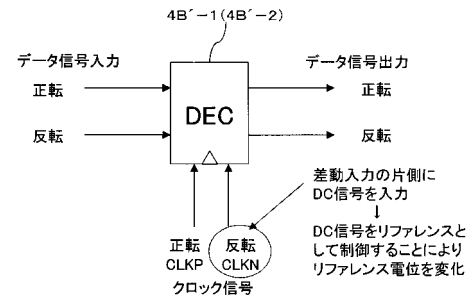
【図 12】



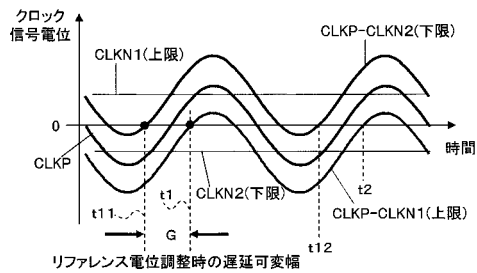
【図 13】



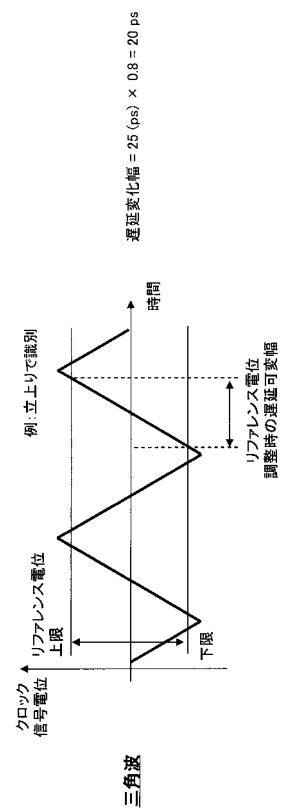
【図 14】



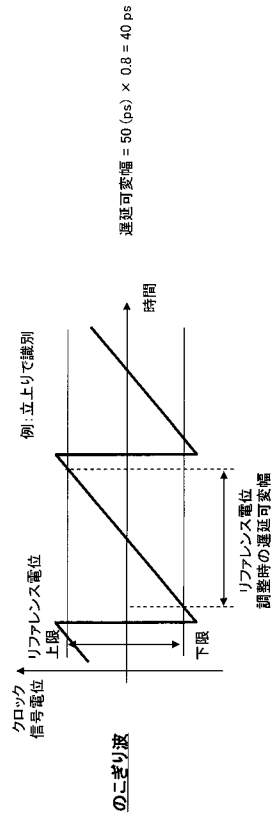
【図 15】



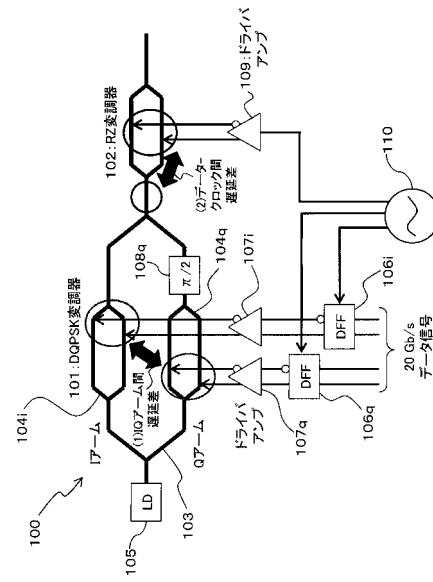
【図 16】



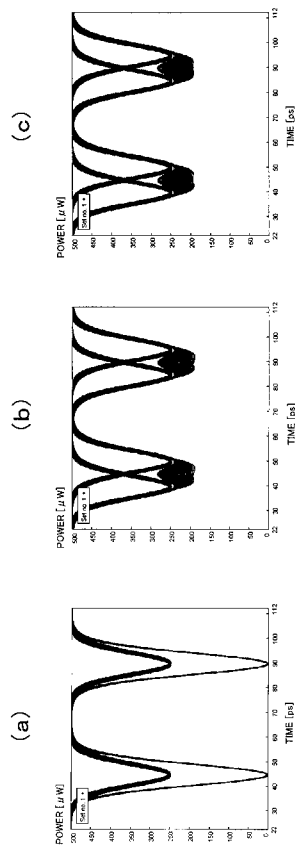
【図 17】



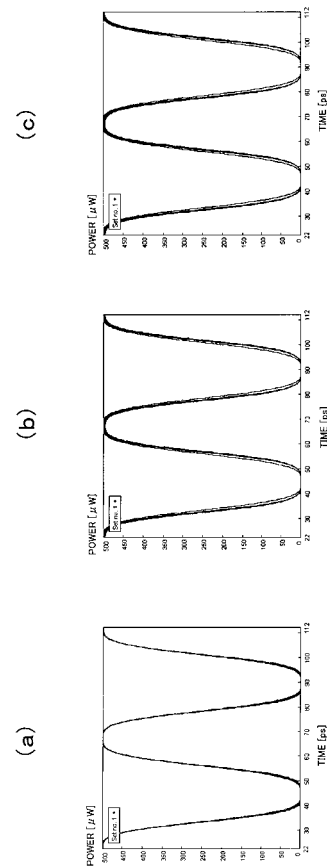
【図 18】



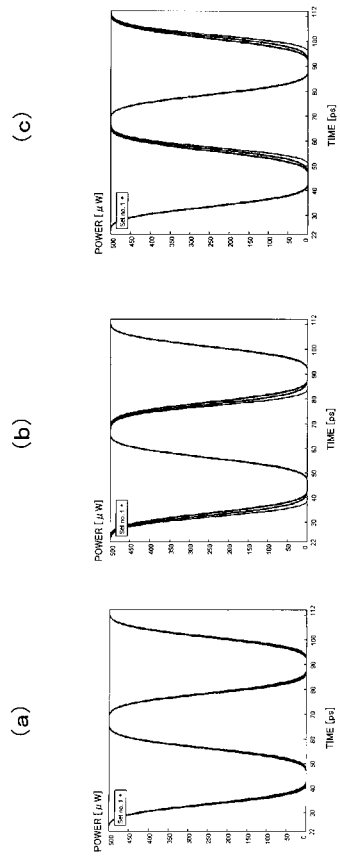
【図 19】



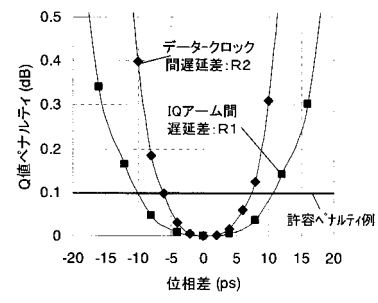
【図 20】



【図 2 1】



【図 2 2】



フロントページの続き

審査官 後澤 瑞征

- (56)参考文献 特開2002-353896 (JP, A)
特開2007-158415 (JP, A)
特開平05-110775 (JP, A)
特開平10-336154 (JP, A)
国際公開第2006/065887 (WO, A1)
特表2008-524655 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04B10/00-10/28
H04J14/00-14/08
G02F 1/01