

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7640901号
(P7640901)

(45)発行日 令和7年3月6日(2025.3.6)

(24)登録日 令和7年2月26日(2025.2.26)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 B 10/516(2013.01)

H 0 4 B 10/516

請求項の数 9 (全39頁)

(21)出願番号	特願2023-503817(P2023-503817)	(73)特許権者	000004226
(86)(22)出願日	令和4年2月28日(2022.2.28)		日本電信電話株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/008272		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(87)国際公開番号	WO2022/186130	(74)代理人	110001634
(87)国際公開日	令和4年9月9日(2022.9.9)		弁理士法人志賀国際特許事務所
審査請求日	令和5年6月23日(2023.6.23)	(72)発明者	深田 陽一
(31)優先権主張番号	PCT/JP2021/007862		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(32)優先日	令和3年3月2日(2021.3.2)		日本電信電話株式会社内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	下羽 利明
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	田邊 暁弘
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	宮武 遼
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光送信装置及び送信方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の電気信号入力部に入力された第1の電気信号に基づいて、第1のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第1の光位相変調器と、

第2の電気信号入力部に入力された第2の電気信号に基づいて、第2のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第2の光位相変調器と、

第3の電気信号入力部に入力された第3の電気信号を、第4の電気信号と第5の電気信号とに分配する分配器と、

前記第3の電気信号入力部に入力された前記第3の電気信号を、微分処理を行って前記分配器へ出力する微分回路と、

前記第5の電気信号を180度移相する移相器と、

前記第1の光位相変調器からの出力光と、前記第2の光位相変調器からの出力光と、を合波する光合波器と、

前記光合波器からの出力光をヘテロダイン検波信号に変換するフォトダイオードと、

前記フォトダイオードから出力される前記ヘテロダイン検波信号に基づいて第3のレーザダイオードからの出力光を強度変調する光強度変調器と、

を備え、

前記分配器から出力された前記第4の電気信号は、前記第1のレーザダイオードの駆動電流入力端子に入力され、

前記移相器から出力された前記第5の電気信号は、前記第2のレーザダイオードの駆動電

流入力端子に入力される

光送信装置。

【請求項 2】

第 1 の電気信号入力部に入力された第 1 の電気信号に基づいて、第 1 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 1 の光位相変調器と、

第 2 の電気信号入力部に入力された第 2 の電気信号に基づいて、第 2 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 2 の光位相変調器と、

第 3 の電気信号入力部に入力された第 3 の電気信号を、第 4 の電気信号と第 5 の電気信号とに分配する分配器と、

前記分配器から出力された前記第 4 の電気信号を、微分処理を行って前記第 1 のレーザダイオードへ出力する第 1 の微分回路と、

前記第 5 の電気信号を 180 度移相する移相器と、

前記分配器から出力された前記第 5 の電気信号を、微分処理を行って前記移相器へ出力する第 2 の微分回路と、

前記第 1 の光位相変調器からの出力光と、前記第 2 の光位相変調器からの出力光と、を合波する光合波器と、

前記光合波器からの出力光をヘテロダイン検波信号に変換するフォトダイオードと、

前記フォトダイオードから出力される前記ヘテロダイン検波信号に基づいて第 3 のレーザダイオードからの出力光を強度変調する光強度変調器と、

を備え、

前記第 1 の微分回路から出力された前記第 4 の電気信号は、前記第 1 のレーザダイオードの駆動電流入力端子に入力され、

前記移相器から出力された前記第 5 の電気信号は、前記第 2 のレーザダイオードの駆動電流入力端子に入力される

光送信装置。

【請求項 3】

第 1 の電気信号入力部に入力された第 1 の電気信号に基づいて、第 1 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 1 の光位相変調器と、

第 2 の電気信号入力部に入力された第 2 の電気信号に基づいて、第 2 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 2 の光位相変調器と、

第 3 の電気信号入力部に入力された第 3 の電気信号を、第 4 の電気信号と第 5 の電気信号とに分配する分配器と、

前記分配器から出力された前記第 4 の電気信号を、微分処理を行って前記第 1 のレーザダイオードへ出力する第 1 の微分回路と、

前記第 5 の電気信号を 180 度移相する移相器と、

前記移相器から出力された前記第 5 の電気信号を、微分処理を行って前記第 1 のレーザダイオードへ出力する第 2 の微分回路と、

前記第 1 の光位相変調器からの出力光と、前記第 2 の光位相変調器からの出力光と、を合波する光合波器と、

前記光合波器からの出力光をヘテロダイン検波信号に変換するフォトダイオードと、

前記フォトダイオードから出力される前記ヘテロダイン検波信号に基づいて第 3 のレーザダイオードからの出力光を強度変調する光強度変調器と、

を備え、

前記第 1 の微分回路から出力された前記第 4 の電気信号は、前記第 1 のレーザダイオードの駆動電流入力端子に入力され、

前記第 2 の微分回路から出力された前記第 5 の電気信号は、前記第 2 のレーザダイオードの駆動電流入力端子に入力される

光送信装置。

【請求項 4】

前記第 1 の電気信号と前記第 2 の電気信号と前記第 3 の電気信号とは、互いに周波数が

10

20

30

40

50

重複しない電気信号である

請求項 1 から 3 のうちいずれか一項に記載の光送信装置。

【請求項 5】

前記光合波器は、

第 1 のフォトダイオードに接続される出力端と、

第 2 のフォトダイオードに接続される出力端と、

を備え、

前記第 1 の光位相変調器からの出力光と前記第 2 の光位相変調器からの出力光とを合波した後に、合波された光を分波し、分波された前記光を前記第 1 のフォトダイオードと前記第 2 のフォトダイオードとへそれぞれ出力し、

前記フォトダイオードは、

第 1 のフォトダイオードと、

前記第 1 のフォトダイオードのアノードに対してカソードが接続された第 2 のフォトダイオードと、

を含み、

前記第 1 のフォトダイオードと前記第 2 のフォトダイオードとの接続点から前記光強度変調器へ前記ヘテロダイン検波信号を出力する

請求項 1 から 4 のうちいずれか一項に記載の光送信装置。

【請求項 6】

第 1 の電気信号入力部に入力された第 1 の電気信号に基づいて、第 1 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 1 の光位相変調ステップと、

第 2 の電気信号入力部に入力された第 2 の電気信号に基づいて、第 2 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 2 の光位相変調ステップと、

第 3 の電気信号入力部に入力された第 3 の電気信号に微分処理を行う微分ステップと、

前記微分ステップによって前記微分処理がなされた前記第 3 の電気信号を、第 4 の電気信号と第 5 の電気信号とに分配する分配ステップと、

前記第 5 の電気信号を 180 度移相する移相ステップと、

前記分配ステップによって分配された前記第 4 の電気信号を、前記第 1 のレーザダイオードの駆動電流入力端子に入力する第 1 の入力ステップと、

前記移相ステップによって 180 度移相された前記第 5 の電気信号を、前記第 2 のレーザダイオードの駆動電流入力端子に入力する第 2 の入力ステップと、

前記第 1 の光位相変調ステップによって位相変調された出力光と、前記第 2 の光位相変調ステップによって位相変調された出力光と、を合波する光合波ステップと、

前記光合波ステップによって合波された出力光をヘテロダイン検波信号に変換する変換ステップと、

前記ヘテロダイン検波信号に基づいて第 3 のレーザダイオードからの出力光を強度変調する光強度変調ステップと、

を有する送信方法。

【請求項 7】

第 1 の電気信号入力部に入力された第 1 の電気信号に基づいて、第 1 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 1 の光位相変調ステップと、

第 2 の電気信号入力部に入力された第 2 の電気信号に基づいて、第 2 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 2 の光位相変調ステップと、

第 3 の電気信号入力部に入力された第 3 の電気信号を、第 4 の電気信号と第 5 の電気信号とに分配する分配ステップと、

前記分配ステップによって分配された前記第 4 の電気信号を、微分処理を行って前記第 1 のレーザダイオードの駆動電流入力端子へ出力する第 1 の微分ステップと、

前記分配ステップによって分配された前記第 5 の電気信号を、微分処理を行って出力する第 2 の微分ステップと、

第 2 の微分ステップによって前記微分処理がなされた前記第 5 の電気信号を 180 度移相

10

20

30

40

50

し、前記第 2 のレーザダイオードの駆動電流入力端子へ出力する移相ステップと、
 前記第 1 の光位相変調ステップによって位相変調された出力光と、前記第 2 の光位相変調
 ステップによって位相変調された出力光と、を合波する光合波ステップと、
 前記光合波ステップによって合波された出力光をヘテロダイン検波信号に変換する変換ス
 テップと、
 前記ヘテロダイン検波信号に基づいて第 3 のレーザダイオードからの出力光を強度変調す
 る光強度変調ステップと、
 を有する送信方法。

【請求項 8】

第 1 の電気信号入力部に入力された第 1 の電気信号に基づいて、第 1 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 1 の光位相変調ステップと、
 第 2 の電気信号入力部に入力された第 2 の電気信号に基づいて、第 2 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第 2 の光位相変調ステップと、
 第 3 の電気信号入力部に入力された第 3 の電気信号を、第 4 の電気信号と第 5 の電気信号とに分配する分配ステップと、
 前記分配ステップによって分配された前記第 4 の電気信号を、微分処理を行って前記第 1 のレーザダイオードの駆動電流入力端子へ出力する第 1 の微分ステップと、
 前記第 5 の電気信号を 180 度移相する移相ステップと、
 前記移相ステップによって 180 度移相された前記第 5 の電気信号を、微分処理を行って前記第 2 のレーザダイオードの駆動電流入力端子へ出力する第 2 の微分ステップと、
 前記第 1 の光位相変調ステップによって位相変調された出力光と、前記第 2 の光位相変調ステップによって位相変調された出力光と、を合波する光合波ステップと、
 前記光合波ステップによって合波された出力光をヘテロダイン検波信号に変換する変換ステップと、
 前記ヘテロダイン検波信号に基づいて第 3 のレーザダイオードからの出力光を強度変調する光強度変調ステップと、
 を有する送信方法。

【請求項 9】

前記光合波ステップでは、前記第 1 の光位相変調ステップによって位相変調された出力光と前記第 2 の光位相変調ステップによって位相変調された出力光とを合波した後に、合波された光を分波し、分波された前記光を第 1 のフォトダイオードと前記第 1 のフォトダイオードのアノードに対してカソードが接続された第 2 のフォトダイオードとへそれぞれ出力し、
 前記変換ステップでは、前記第 1 のフォトダイオードと前記第 2 のフォトダイオードとの接続点から前記ヘテロダイン検波信号を出力する
 請求項 6 から 8 のうちいずれか一項に記載の送信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光送信装置及び送信方法に関する。

本願は、2021年3月2日に、日本に出願された PCT / JP 2021 / 007862 号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

【背景技術】

【0002】

加入者宅へ映像を配信するネットワークシステムとして、例えば F T T H (Fiber to the Home) 型 C A T V (Cable Television) システムが知られている。図 11 に、従来の F T T H 型 C A T V システム 1 のネットワーク構成の一例を示す。図 11 に示されるように、F T T H 型 C A T V システム 1 は、例えば、ヘッドエンド 100 (Head-End) と、光送信装置 200 (Tx) と、増幅器 300 (V-OLT) と、各々の加入者宅等に設置される光受信装置 400 (V-ONU) と、を含んで構成される。

【 0 0 0 3 】

ヘッドエンド 1 0 0 は、放送局から送信される映像信号を乗せた電波を地上の送信塔や人工衛星等を介して受信し、受信した電波に対して増幅等の調整を行う。そして、ヘッドエンド 1 0 0 は、当該映像信号に基づく電気信号を光送信装置 2 0 0 へ出力する。光送信装置 2 0 0 は、取得した電気信号を光信号に変換し、当該光信号を光ファイバで構築された光伝送路へ送出する。光伝送路は、中継ネットワーク 5 0 0 の区間とアクセスネットワーク 6 0 0 の区間とに分けられる。

【 0 0 0 4 】

中継ネットワーク 5 0 0 は、光送信装置 2 0 0 とアクセスネットワーク 6 0 0 との間をつなぐ通信ネットワークである。中継ネットワーク 5 0 0 では、伝送距離が長距離に及ぶ場合等において、中継用アンプとして機能する増幅器 3 0 0 が多段構成される。各々の増幅器 3 0 0 (V-OLT) は、増幅した光信号を、後段の他の増幅器 3 0 0 へ送出したり、アクセスネットワーク 6 0 0 の区間内の例えば光受信装置 4 0 0 (V-ONU) 等の機器へ送出したり、あるいは、光カプラによって光信号を分岐させて後段の他の増幅器 3 0 0 及びアクセスネットワーク 6 0 0 の区間内の機器の双方へ送出したりする。

10

【 0 0 0 5 】

一方、アクセスネットワーク 6 0 0 は、中継ネットワーク 5 0 0 と光信号を終端する各光受信装置 4 0 0 との間をつなぐ通信ネットワークである。アクセスネットワーク 6 0 0 では、中継ネットワーク 5 0 0 から出力された光信号を複数の加入者宅に設置された光受信装置 4 0 0 へ分配するために、一般的に、PON (Passive Optical Network; 受動光ネットワーク) 構成が適用される。更に、図 1 1 に示されるように、PON 構成による光信号の分配に伴う損失及び増幅器 3 0 0 による光信号の分岐に伴う損失等の補償を目的として、アクセスネットワーク 6 0 0 にも不図示の増幅器 (アクセス用アンプ) が用いられる場合がある。

20

【 0 0 0 6 】

上記のようなネットワーク構成を有する従来の F T T H 型 C A T V システム 1 では、光伝送方式として、例えば F M (Frequency Modulation; 周波数変調) 一括変換方式が用いられる (例えば、非特許文献 1 参照)。この F M 一括変換方式では、光送信装置 2 0 0 は、ヘッドエンド 1 0 0 から出力された、周波数多重された多チャンネル映像の電気信号を受信し、当該電気信号を一括して 1 チャンネルの広帯域な周波数変調 (F M) 信号に変換する。更に、光送信装置 2 0 0 は、変換された F M 信号を、強度変調によって光信号に変換し、光伝送路へ送出する。一方、光受信装置 4 0 0 は、光伝送路から光信号を受光すると、当該光信号を電気的な F M 信号へ変換し、更に復調する。これにより、光受信装置 4 0 0 は、周波数多重された多チャンネル映像の電気信号を取り出すことができる。

30

【 0 0 0 7 】

ここで、従来の光送信装置 2 0 0 の構成の一例について説明する。図 1 2 は、非特許文献 2 によって開示されている光送信装置 2 0 0 (Tx) の構成である。周波数多重された多チャンネルの電気信号は、帯域毎に別々に光送信装置 2 0 0 に入力される。ここでは、電気信号 A が電気信号入力端子 1 1 に入力され、電気信号 C が電気信号入力端子 1 3 に入力される。電気信号 A は、レーザダイオード 2 1 (LD) の後段に接続された光位相変調器 3 1 に入力され、光信号を位相変調する。一方、電気信号 C は、分配器 8 によって 2 分岐されたあと、レーザダイオード 2 1 及びレーザダイオード 2 2 にて光信号を直接変調する。光信号が入力信号によって直接変調されることによって、周波数チャープングが生じる (すなわち、周波数変調が行われる)。このとき、図 1 2 に示されるように、分配器 8 によって分岐された電気信号 C の一方に移相器 9 を用いることで、互いに逆位相となる電気信号をレーザダイオード 2 1 及びレーザダイオード 2 2 へそれぞれ入力させるようにすることができる。これにより、残留する強度変調成分が抑圧される。

40

【 0 0 0 8 】

レーザダイオード 2 1 及びレーザダイオード 2 2 から出力された光信号は光合波器 4 によって合波され、フォトダイオード 5 (PD) に入力される。フォトダイオード 5 では光

50

ヘテロダイン検波が行われ、レーザダイオード 2 1 及びレーザダイオード 2 2 の発振周波数差に等しい周波数を中心とする F M 信号がフォトダイオード 5 から出力される。F M 信号は、光強度変調器 6 に入力され、伝送用のレーザダイオード 2 3 からの出力光を強度変調する。強度変調によって生成された信号光は、伝送ファイバによって光受信装置 4 0 0 へ伝送される。

【 0 0 0 9 】

このように、光送信装置 2 0 0 に入力される段階で帯域を分離して電気信号が入力される構成である場合、光送信装置 2 0 0 の設計が簡易になるという利点がある。例えば、電気信号 A が低周波、電気信号 C が高周波である場合を考える。この場合、電気信号 A と電気信号 C とが分離されずに光送信装置 2 0 0 に入力される構成であるならば、光送信装置 2 0 0 内の処理回路（例えば、電氣的な増幅器等）は、電気信号 A 及び電気信号 C の双方の帯域について処理可能な処理回路である必要がある。そのため、光送信装置 2 0 0 の設計が複雑となる。一方、電気信号 A と電気信号 C とが分離されて光送信装置 2 0 0 に入力される構成であるならば、電気信号 A の帯域について処理を行う処理回路と電気信号 C の帯域について処理を行う処理回路とが別個に用意されるだけでよい。そのため、光送信装置 2 0 0 の設計が簡易となる。

【 0 0 1 0 】

ここで、電気信号 A を変調する際のレーザダイオード 2 1、レーザダイオード 2 2 の役割について説明する。図 1 3 は、従来の光送信装置 2 0 0 の構成の一例を示すブロック図である。但し、電気信号 A の変調に直接関係しない構成要素については記載を省略している。

【 0 0 1 1 】

フォトダイオード 5 の入力端における、光位相変調器 3 1 からの出力光の電界 $E_1(t)$ 、及びレーザダイオード 2 2 からの出力光の電界 $E_2(t)$ は、それぞれ以下の (1) 式及び (2) 式によって表すことができる。

【 0 0 1 2 】

【数 1】

$$E_1(t) = E_1 \cos(\omega_1 t + m\phi_1(t)) \quad \dots (1)$$

【 0 0 1 3 】

【数 2】

$$E_2(t) = E_2 \cos(\omega_2 t) \quad \dots (2)$$

【 0 0 1 4 】

ここで、 t は、時刻である。 $E_1(t)$ 及び $E_2(t)$ は、時刻 t における電界の瞬間値である。 E_1 及び E_2 は、電界の最大値である。 ω_1 及び ω_2 は、無変調時の電界の角周波数である。電気信号 $\phi_1(t)$ は、電気信号入力端子 1 1 から入力される電気信号である（但し、この電気信号は、電気信号入力端子 1 1 と光位相変調器 3 1 との間において損失や移相変化がないため、光位相変調器 3 1 に入力される電気信号と同じものである）。 m は、光位相変調器 3 1 の変調効率を表す定数である。

【 0 0 1 5 】

これらの光入力に基づいて、フォトダイオード 5 においてヘテロダイン検波が行われる。この結果、出力される電気信号（ヘテロダイン検波信号）の電流 $I(t)$ は、以下の (3) 式によって表される。

【 0 0 1 6 】

【数 3】

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 I(t) &\propto \left\langle (E_1(t) + E_2(t))^2 \right\rangle \\
 &= \langle E_1(t)^2 \rangle + \langle 2E_1(t) \cdot E_2(t) \rangle + \langle E_2(t)^2 \rangle \\
 &= \frac{1}{2} E_1^2 + \frac{1}{2} E_2^2 + E_1 E_2 \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t + m\phi_1(t)\} \\
 &\quad \dots (3)
 \end{aligned}$$

【0017】

10

ここで、“...”は、フォトダイオード5の帯域に応じた平均化処理を行う演算子である。すなわち、この演算子は、 ω_1 又は ω_2 以上の角周波数で変動する成分に対し、平均化した値を与えるものである。

【0018】

ここで、上記の(1)式から明らかなように、レーザダイオード21の役割は、電気信号 $\omega_1(t)$ 重畳用のキャリア光の出力である。また、上記の(2)式から明かなように、レーザダイオード22の役割は、その電気信号 $\omega_1(t)$ をコヒーレント受信するための局発光の出力である。

【0019】

上記の(3)式に示されるように、ヘテロダイン検波の結果として出力される電流 $I(t)$ においては、光位相変調器31に入力される電気信号 $\omega_1(t)$ に比例する値で位相変調を行う形となっている。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0020】

【文献】"ITU-T J.185: Transmission equipment for transferring multi-channel television signals over optical access networks by frequency modulation conversion," International Telecommunication Union, June 2012.

【文献】下羽利明，他，「FM一括変換方式を用いた光映像配信技術」，電子情報通信学会，信学技報，CS2019-84，IE2019-64，2019年12月

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

しかしながら、上述の光送信装置200(Tx)では、帯域が分離された電気信号(電気信号A及び電気信号C)のそれぞれに対する処理の構成が異なることから、電気信号Aと電気信号Cに対する処理を行う処理回路の設計、開発、及び生産手段の共通化が困難であるという課題がある。すなわち、電気信号Aについては位相変調を最適化すること、電気信号Cについては2個のレーザダイオード(レーザダイオード21及びレーザダイオード22)による逆位相での強度変調を最適化すること、という異なる要件が求められる。そのため、帯域が分離された電気信号に対する処理をそれぞれ行う処理回路の設計、開発、及び生産に掛かる手間がより大きくなるという課題がある。

40

【0022】

本発明は、上記のような技術的背景に鑑みてなされたものであり、互いに異なる帯域に対する処理をそれぞれ行う複数の処理回路の設計・開発・生産手段を共通化することができる技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0023】

本発明の一態様は、第1の電気信号入力部に入力された第1の電気信号に基づいて、第1のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第1の光位相変調器と、第2の電気信号入力部に入力された第2の電気信号に基づいて、第2のレーザダイオードからの出力光

50

を位相変調する第2の光位相変調器と、前記第1の光位相変調器からの出力光と、前記第2の光位相変調器からの出力光と、を合波する光合波器と、前記光合波器からの出力光をヘテロダイン検波信号に変換するフォトダイオードと、前記フォトダイオードから出力される前記ヘテロダイン検波信号に基づいて第3のレーザダイオードからの出力光を強度変調する光強度変調器と、を備える光送信装置である。

【0024】

本発明の一態様は、第1の電気信号入力部に入力された第1の電気信号に基づいて、第1のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第1の光位相変調ステップと、第2の電気信号入力部に入力された第2の電気信号に基づいて、第2のレーザダイオードからの出力光を位相変調する第2の光位相変調ステップと、前記第1の光位相変調ステップに位相変調された出力光と、前記第2の光位相変調ステップによって位相変調された出力光と、を合波する光合波ステップと、前記光合波ステップによって合波された出力光をヘテロダイン検波信号に変換する変換ステップと、前記ヘテロダイン検波信号に基づいて第3のレーザダイオードからの出力光を強度変調する光強度変調ステップと、を有する送信方法である。

10

【発明の効果】

【0025】

本発明により、互いに異なる帯域に対する処理をそれぞれ行う複数の処理回路の設計・開発・生産手段を共通化することができる。

【図面の簡単な説明】

20

【0026】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る光送信装置200aの構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る電気信号の帯域の関係を表す図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る光送信装置200aの動作を示すフローチャートである。

【図4】本発明の第2の実施形態に係る光送信装置200bの構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第2の実施形態に係る電気信号の帯域の関係を表す図である。

【図6】本発明の第3の実施形態に係る光送信装置200cの構成を示すブロック図である。

30

【図7】本発明の第4の実施形態に係る光送信装置200dの構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の第5の実施形態に係る光送信装置200eの構成を示すブロック図である。

【図9】本発明の第6の実施形態に係る光送信装置200fの構成を示すブロック図である。

【図10】本発明の第7の実施形態に係る光送信装置200gの構成を示すブロック図である。

【図11】F T T H型C A T Vシステムのネットワーク構成の一例を示すブロック図である。

40

【図12】従来の光送信装置200の構成の一例を示すブロック図である。

【図13】従来の光送信装置200の構成の一例を示すブロック図である。

【図14】本発明の第8の実施形態に係る光送信装置200hの構成を示すブロック図である。

【図15】本発明の第8の実施形態に係るバランスド受信器の構成を示す図である。

【図16】本発明の第9の実施形態に係る光送信装置200iの構成を示すブロック図である。

【図17】本発明の第10の実施形態に係る光送信装置200jの構成を示すブロック図である。

50

【図 1 8】本発明の第 1 1 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 k の構成を示すブロック図である。

【図 1 9】本発明の第 1 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 l の構成を示すブロック図である。

【図 2 0】本発明の第 1 3 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 m の構成を示すブロック図である。

【図 2 1】本発明の第 1 4 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 n の構成を示すブロック図である。

【図 2 2】2 入力 2 出力の光合波器 4 1 における 2 つの出力光の間の位相関係を説明するための図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0 0 2 7】

以下、本発明の実施形態について説明する。なお、以下に説明する各実施形態におけるネットワークシステムのシステム構成は、前述の図 1 1 に示される従来の F T T H 型 C A T V システム 1 のネットワーク構成と同様であるため、説明を省略する。

【0 0 2 8】

< 第 1 の実施形態 >

以下、本発明の第 1 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0 0 2 9】

[光送信装置の構成]

20

以下、本発明の第 1 の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 a の構成を示すブロック図である。

【0 0 3 0】

図 1 に示されるように、光送信装置 2 0 0 a は、2 つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 1 1 ~ 1 2 ）と、3 つのレーザダイオード（レーザダイオード 2 1 ~ 2 3 ）（L D ）と、2 つの光位相変調器（光位相変調器 3 1 ~ 3 2 ）と、光合波器 4 と、フォトダイオード 5 （P D ）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、を含んで構成される。

【0 0 3 1】

電気信号 A が、電気信号入力端子 1 1 から光送信装置 2 0 0 a の内部に取り込まれ、光位相変調器 3 1 の入力端子に入力される。また、電気信号 B が、電気信号入力端子 1 2 から光送信装置 2 0 0 a の内部に取り込まれ、光位相変調器 3 2 の入力端子に入力される。

30

【0 0 3 2】

レーザダイオード 2 1 から出力された光は、光位相変調器 3 1 において、電気信号 A によって位相変調される。また、レーザダイオード 2 2 から出力された光は、光位相変調器 3 2 において、電気信号 B によって位相変調される。これらの位相変調された光は、光合波器 4 によって合波され、フォトダイオード 5 に入力される。

【0 0 3 3】

フォトダイオード 5 ではヘテロダイン検波が行われる。フォトダイオード 5 から出力される電気信号（ヘテロダイン検波信号）は、光強度変調器 6 の入力端子に入力される。一方、レーザダイオード 2 3 から出力された光は、光強度変調器 6 において、フォトダイオード 5 から出力される電気信号によって強度変調される。強度変調された信号光は、光信号出力端子 7 から光送信装置 2 0 0 a の外部へ出力される。

40

【0 0 3 4】

なお、光送信装置 2 0 0 a は、光位相変調器 3 1 及び光位相変調器 3 2、あるいは、光強度変調器 6 が駆動する際に、各電気信号入力端子からそれぞれ入力される電気信号の振幅、あるいは、バイアスを調整し、変調量を制御することがある。そのため、光送信装置 2 0 0 a に、増幅器、減衰器、及びバイアスティーが用いられる場合がある。

【0 0 3 5】

フォトダイオード 5 の入力端における、光位相変調器 3 1 の出力光の電界 $E_1(t)$ 、及び光位相変調器 3 2 の出力光の電界 $E_2(t)$ は、それぞれ以下の (4) 式及び (5)

50

式によって表すことができる。

【 0 0 3 6 】

【 数 4 】

$$E_1(t) = E_1 \cos(\omega_1 t + m\phi_1(t)) \quad \dots (4)$$

【 0 0 3 7 】

【 数 5 】

$$E_2(t) = E_2 \cos(\omega_2 t + m\phi_2(t)) \quad \dots (5)$$

10

【 0 0 3 8 】

ここで、 t は、時刻である。 $E_1(t)$ 及び $E_2(t)$ は、時刻 t における電界の瞬間値である。 E_1 及び E_2 は、電界の最大値である。 ω_1 及び ω_2 は、無変調時の電界の角周波数である。電気信号 $\phi_1(t)$ 及び電気信号 $\phi_2(t)$ は、電気信号入力端子 1 1 及び電気信号入力端子 1 2 からそれぞれ入力される電気信号である（但し、この電気信号は、電気信号入力端子 1 1 と光位相変調器 3 1 との間において損失や移相変化がないため、光位相変調器 3 1 に入力される電気信号と同じものである）。 m は、光位相変調器 3 1 及び光位相変調器 3 2 の変調効率を表す定数である。

【 0 0 3 9 】

20

これらの光入力に基づいて、フォトダイオード 5 においてヘテロダイン検波が行われる。この結果、出力されるヘテロダイン検波信号の電流 $I(t)$ は、以下の (6) 式によって表される。

【 0 0 4 0 】

【 数 6 】

$$\begin{aligned} I(t) &\propto \left\langle (E_1(t) + E_2(t))^2 \right\rangle \\ &= \langle E_1(t)^2 \rangle + \langle 2E_1(t) \cdot E_2(t) \rangle + \langle E_2(t)^2 \rangle \\ &= \frac{1}{2} E_1^2 + \frac{1}{2} E_2^2 + E_1 E_2 \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t))\} \\ &\quad \dots (6) \end{aligned}$$

30

【 0 0 4 1 】

ここで、“ \dots ” は、フォトダイオード 5 の帯域に応じた平均化処理を行う演算子である。すなわち、この演算子は、 ω_1 又は ω_2 以上の角周波数で変動する成分に対し、平均化した値を与えるものである。

【 0 0 4 2 】

ここで、上記の (4) 式及び (5) 式から明らかなように、レーザダイオード 2 1 の役割は電気信号 $\phi_1(t)$ 重畳用のキャリア光の出力であり、レーザダイオード 2 2 の役割は及び電気信号 $\phi_2(t)$ 重畳用のキャリア光の出力である。そして、レーザダイオード 2 1 から出力されたキャリア光に重畳された電気信号 $\phi_1(t)$ は、電気信号 $\phi_2(t)$ が重畳されたレーザダイオード 2 2 から出力されたキャリア光を用いてコヒーレント受信されている。同様に、レーザダイオード 2 2 から出力されたキャリア光に重畳された電気信号 $\phi_2(t)$ は、電気信号 $\phi_1(t)$ が重畳されたレーザダイオード 2 1 から出力されたキャリア光を用いてコヒーレント受信されている。

40

【 0 0 4 3 】

このように、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 a の構成は、図 1 3 及び (1) ~ (2) 式に示される従来の光送信装置 2 0 0 の構成とは異なる。にもかかわらず、上記の (6)

50

式に示される、ヘテロダイン検波の結果として出力される電流 $I(t)$ においては、光位相変調器 31 に入力される電気信号 $1(t)$ 、及び光位相変調器 32 に入力される電気信号 $2(t)$ は、線形和された上で位相変調が行われる形となっている。したがって、位相変調は、従来の光送信装置 200 の構成と同様に行われていることが分かる。

【0044】

但しここで、電気信号 $1(t)$ 及び電気信号 $2(t)$ は、周波数が互いに重複しないように設定される必要がある。このように設定がなされることで、これらの電気信号間における干渉を無くすることができる。また、このように設定がなされることで、これらの電気信号の線形和（すなわち、上記の（6）式における $m(1(t) - 2(t))$ の分離が容易になる。このように設定された電気信号 $1(t)$ 及び電気信号 $2(t)$ の、周波数軸上における 2 つの配置例を、図 2 に示す。

10

【0045】

[光送信装置の動作]

以下、本発明の第 1 の実施形態に係る光送信装置の動作の一例について説明する。図 3 は、本発明の第 1 の実施形態に係る光送信装置 200 a の動作を示すフローチャートである。

【0046】

本フローチャートが示す光送信装置 200 a の動作は、電気信号 A が電気信号入力端子 11 に入力され、電気信号 B が電気信号入力端子 12 に入力された際に開始する。電気信号入力端子 11 は、電気信号 A を光位相変調器 31 に入力する。電気信号入力端子 12 は、電気信号 B を光位相変調器 32 に入力する（ステップ S01）。

20

【0047】

光位相変調器 31 は、レーザダイオード 21 が出力した光を電気信号 A によって位相変調する。光位相変調器 32 は、レーザダイオード 22 が出力した光を電気信号 B によって位相変調する（ステップ S02）。

【0048】

光合波器 4 は、光位相変調器 31 からの出力光と、光位相変調器 32 からの出力光とを合波する（ステップ S03）。フォトダイオード 5 は、光合波器 4 によって合波された光に対しヘテロダイン検波を行う（ステップ S04）。

【0049】

光強度変調器 6 は、レーザダイオード 23 が出力した光を、フォトダイオード 5 から出力された電気信号によって強度変調する（ステップ S05）。光信号出力端子 7 は、強度変調された信号光を中継ネットワーク 500 へ出力する。以上で、図 3 のフローチャートが示す光送信装置 200 の動作が終了する。

30

【0050】

以上説明したように、第 1 の実施形態に係る光送信装置 200 a は、電気信号 $1(t)$ に対して信号処理を行うレーザダイオード 21 及び光位相変調器 31 と、電気信号 $2(t)$ に対して信号処理を行うレーザダイオード 22 及び光位相変調器 32 とを、それぞれ備える。このような構成を備えることで、第 1 の実施形態に係る光送信装置 200 a によれば、電気信号 $1(t)$ に対する信号処理の構成、及び電気信号 $2(t)$ に対する信号処理の構成を、いずれも従来の光送信装置 200 の信号処理の構成と同一にすることができる。各電気信号に対する信号処理の構成が同一となることによって、光送信装置 200 a の、各電気信号に対する処理回路の設計、開発、及び生産手段の共通化が可能となる。

40

【0051】

< 第 2 の実施形態 >

以下、本発明の第 2 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0052】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第 2 の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図 4 は、本

50

発明の第 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 b の構成を示すブロック図である。

【 0 0 5 3 】

図 4 に示されるように、光送信装置 2 0 0 b は、3 つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 1 1 ~ 1 3 ）と、3 つのレーザダイオード（レーザダイオード 2 1 ~ 2 3 ）（L D ）と、2 つの光位相変調器（光位相変調器 3 1 ~ 3 2 ）と、光合波器 4 と、フォトダイオード 5 （P D ）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、分配器 8 と、入力信号を 1 8 0 度移相する移相器 9 と、を含んで構成される。

【 0 0 5 4 】

電気信号 A が、電気信号入力端子 1 1 から光送信装置 2 0 0 b の内部に取り込まれ、光位相変調器 3 1 の入力端子に入力される。また、電気信号 B が、電気信号入力端子 1 2 から光送信装置 2 0 0 b の内部に取り込まれ、光位相変調器 3 2 の入力端子に入力される。

10

【 0 0 5 5 】

また、電気信号 C は、電気信号入力端子 1 3 から光送信装置 2 0 0 b の内部に取り込まれ、分配器 8 で 2 分割される。2 分割された電気信号 C の一方は、レーザダイオード 2 1 の駆動電流入力端子に入力され直接変調される。2 分割された電気信号 C のもう一方は、移相器 9 を透過した後にレーザダイオード 2 2 の駆動電流入力端子に入力され直接変調される。

【 0 0 5 6 】

レーザダイオード 2 1 から出力された光は、光位相変調器 3 1 において、電気信号 A によって位相変調される。また、レーザダイオード 2 2 から出力された光は、光位相変調器 3 2 において、電気信号 B によって位相変調される。これらの位相変調された光は、光合波器 4 によって合波され、フォトダイオード 5 に入力される。

20

【 0 0 5 7 】

フォトダイオード 5 ではヘテロダイン検波が行われる。フォトダイオード 5 から出力される電気信号は、光強度変調器 6 の入力端子に入力される。一方、レーザダイオード 2 3 から出力された光は、光強度変調器 6 において、フォトダイオード 5 から出力される電気信号によって強度変調される。強度変調された信号光は、光信号出力端子 7 から光送信装置 2 0 0 b の外部へ出力される。

【 0 0 5 8 】

なお、光送信装置 2 0 0 b は、光位相変調器 3 1 及び光位相変調器 3 2 、あるいは、光強度変調器 6 が駆動する際に、各電気信号入力端子からそれぞれ入力される電気信号の振幅、あるいは、バイアスを調整し、変調量を制御することがある。そのため、光送信装置 2 0 0 b に、増幅器、減衰器、及びバイアスティーを用いられる場合がある。

30

【 0 0 5 9 】

フォトダイオード 5 の入力端における、光位相変調器 3 1 の出力光の電界 $E_1(t)$ 、及び光位相変調器 3 2 の出力光の電界 $E_2(t)$ は、それぞれ以下の (7) 式及び (8) 式によって表すことができる。

【 0 0 6 0 】

【数 7 】

$$E_1(t) = E_1 \cos \left(\omega_1 t + m \phi_1(t) + \frac{M}{2} \int_0^t dt \phi_3(t) \right) \quad \dots (7)$$

40

【 0 0 6 1 】

【数 8 】

$$E_2(t) = E_2 \cos \left(\omega_2 t + m \phi_2(t) - \frac{M}{2} \int_0^t dt \phi_3(t) \right) \quad \dots (8)$$

50

【 0 0 6 2 】

ここで、 t は、時刻である。 $E_1(t)$ 及び $E_2(t)$ は、時刻 t における電界の瞬間値である。 E_1 及び E_2 は、電界の最大値である。 ω_1 及び ω_2 は、無変調時の電界の角周波数である。電気信号 $\phi_1(t)$ 及び電気信号 $\phi_2(t)$ は、電気信号入力端子 1 1 及び電気信号入力端子 1 2 からそれぞれ入力される電気信号である（但し、この電気信号は、電気信号入力端子 1 1 と光位相変調器 3 1 との間において損失や移相変化がないため、光位相変調器 3 1 に入力される電気信号と同じものである）。電気信号 $\phi_3(t)$ は、電気信号入力端子 1 3 から入力される電気信号である。 m は、光位相変調器 3 1 及び光位相変調器 3 2 の変調効率を表す定数である。 $M/2$ は、レーザダイオード 2 1 及びレーザダイオード 2 2 の変調効率を表す定数を、分配器 8 の分岐損で減じた値である。

10

【 0 0 6 3 】

なお、上記の通り、(7) 式及び (8) 式の右辺の演算子 $\cos(\cdot)$ 内において、周波数変調の効果を表す第 3 項は積分によって表される（参考文献：守倉正博 編著、「OH M 大学テキスト 通信方式」、オーム社、ISBN978-4-274-21473-8、pp.76-77、2013 年 11 月）。また、第 3 項の前に付与される符号は、移相器 9 を含む経路側では「+」となり、移相器 9 を含まない経路側では「-」となる。

【 0 0 6 4 】

これらの光入力に基づいて、フォトダイオード 5 においてヘテロダイン検波が行われる。この結果、出力されるヘテロダイン検波信号の電流 $I(t)$ は、以下の (9) 式によって表される。

20

【 0 0 6 5 】

【 数 9 】

$$\begin{aligned}
 I(t) &\propto \left\langle (E_1(t) + E_2(t))^2 \right\rangle \\
 &= \langle E_1(t)^2 \rangle + \langle 2E_1(t) \cdot E_2(t) \rangle + \langle E_2(t)^2 \rangle \\
 &= \frac{1}{2} E_1^2 + \frac{1}{2} E_2^2 \\
 &\quad + E_1 E_2 \cos \left\{ (\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t)) + M \int_0^t dt \phi_3(t) \right\} \\
 &\quad \dots (9)
 \end{aligned}$$

30

【 0 0 6 6 】

ここで、“ \dots ” は、フォトダイオード 5 の帯域に応じた平均化処理を行う演算子である。すなわち、この演算子は、 ω_1 又は ω_2 以上の角周波数で変動する成分に対し、平均化した値を与えるものである。

【 0 0 6 7 】

上記の (9) 式に示されるように、ヘテロダイン検波の結果として出力される電流 $I(t)$ においては、光位相変調器 3 1 及び光位相変調器 3 2 に入力される電気信号 $\phi_1(t)$ 及び電気信号 $\phi_2(t)$ と、分配器 8 に入力される電気信号 $\phi_3(t)$ の積分値 $\int_0^t dt \phi_3(t)$ は、線形和した上で位相変調を行う形となっている。したがって、電気信号 $\phi_1(t)$ と電気信号 $\phi_2(t)$ と電気信号 $\phi_3(t)$ とが互いに周波数が重複しないように設定がなされることで、これらの電気信号間における干渉を無くすることができる。また、このように設定がなされることで、これらの電気信号の分離が容易になる。このように設定された電気信号 $\phi_1(t)$ 、電気信号 $\phi_2(t)$ 、及び電気信号 $\phi_3(t)$ の、周波数軸上における 6 つの配置例を、図 5 に示す。

40

【 0 0 6 8 】

以上説明したように、第 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 b によれば、電気信号 $\phi_1(t)$ に対する信号処理の構成、及び電気信号 $\phi_2(t)$ に対する信号処理の構成を、

50

いずれも従来の光送信装置 200 の信号処理の構成と同一にすることができる。各電気信号に対する信号処理の構成が同一となることによって、光送信装置 200 a の、各電気信号に対する処理回路の設計、開発、及び生産手段の共通化が可能となる。また、第 3 の電気信号 $\phi_3(t)$ に対しては、従来の信号処理の構成とは異なるものの、多重することができる。すなわち、第 2 の実施形態に係る光送信装置 200 b によれば、従来の光送信装置 200 に比べて、電気信号の多重数を増加させることが可能になる。

【0069】

< 第 3 の実施形態 >

以下、本発明の第 3 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0070】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第 3 の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図 6 は、本発明の第 3 の実施形態に係る光送信装置 200 c の構成を示すブロック図である。

【0071】

図 6 に示されるように、光送信装置 200 c は、2 つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 11 ~ 12）と、3 つのレーザダイオード（レーザダイオード 21 ~ 23）（LD）と、2 つの光位相変調器（光位相変調器 31 ~ 32）と、光合波器 4 と、フォトダイオード 5（PD）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、2 つの積分回路（積分回路 101 ~ 102）と、を含んで構成される。

【0072】

図 6 に示されるように、本実施形態に係る光送信装置 200 c は、図 4 に示される第 1 の実施形態に係る光送信装置 200 a に対し、積分回路 101 と積分回路 102 とが追加された構成である。

【0073】

電気信号 A が、電気信号入力端子 11 から光送信装置 200 c の内部に取り込まれ、積分回路 101 の入力端子に入力される。また、電気信号 B が、電気信号入力端子 12 から光送信装置 200 c の内部に取り込まれ、積分回路 102 の入力端子に入力される。積分回路 101 は、電気信号入力端子 11 と光位相変調器 31 との間に配置される。また、積分回路 102 は、電気信号入力端子 12 と光位相変調器 32 との間に配置される。

【0074】

一般的に、電気信号 A（ $\phi_1(t)$ ）を時間で積分した値によって位相変調を行った場合、電気信号 $\phi_1(t)$ で周波数変調した場合と同じ FM 信号が得られ、電気信号 B（ $\phi_2(t)$ ）を時間で積分した値によって位相変調を行った場合、電気信号 $\phi_2(t)$ で周波数変調した場合と同じ FM 信号が得られる（上記の参考文献を参照）。したがって、電気信号 $\phi_1(t)$ を積分回路 101 で積分した値 $\int_0^t dt \phi_1(t)$ にて位相変調を行い、電気信号 $\phi_2(t)$ を積分回路 102 で積分した値 $\int_0^t dt \phi_2(t)$ にて位相変調を行う本構成では、フォトダイオード 5 から出力される電流 $I(t)$ は、以下の (10) 式によって表される。

【0075】

【数 10】

$$I(t) = \frac{1}{2}E_1^2 + \frac{1}{2}E_2^2 + E_1E_2 \cos \left\{ (\omega_1 - \omega_2)t + m \int_0^t dt \phi_1(t) - m \int_0^t dt \phi_2(t) \right\} \cdots (10)$$

【0076】

ここで、 t は、時刻である。 $E_1(t)$ 及び $E_2(t)$ は、時刻 t における電界の瞬間

10

20

30

40

50

値である。 E_1 及び E_2 は、電界の最大値である。 ω_1 及び ω_2 は、無変調時の電界の角周波数である。電気信号 $x_1(t)$ 及び電気信号 $x_2(t)$ は、電気信号入力端子 11 及び電気信号入力端子 12 からそれぞれ入力される電気信号である。 m は、光位相変調器 31 及び光位相変調器 32 の変調効率を表す定数である。

【0077】

以上説明したように、第3の実施形態に係る光送信装置 200c によれば、電気信号 $x_1(t)$ 及び電気信号 $x_2(t)$ の入力に対し、光送信装置 200c からの出力時の光信号の変調形式を周波数変調に変更することが可能となる。これにより、本実施形態に係る光送信装置 200c は、周波数変調の復調形式に対応する光受信装置が用いられるネットワークシステムに適用することができる。また、変調形式が統一されることで、周波数変調の復調形式に対応する光受信装置のみを用意すればよいため、装置コスト等のコストが削減される。

【0078】

< 第4の実施形態 >

以下、本発明の第4の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0079】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第4の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図7は、本発明の第4の実施形態に係る光送信装置 200d の構成を示すブロック図である。

【0080】

図7に示されるように、光送信装置 200d は、3つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 11 ~ 13）と、3つのレーザダイオード（レーザダイオード 21 ~ 23）（LD）と、2つの光位相変調器（光位相変調器 31 ~ 32）と、光合波器 4 と、フォトダイオード 5（PD）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、分配器 8 と、移相器 9 と、2つの積分回路（積分回路 101 ~ 102）と、を含んで構成される。

【0081】

図7に示されるように、本実施形態に係る光送信装置 200d は、図4に示される第2の実施形態に係る光送信装置 200b に対し、積分回路 101 と積分回路 102 とが追加された構成である。

【0082】

電気信号 A が、電気信号入力端子 11 から光送信装置 200d の内部に取り込まれ、積分回路 101 の入力端子に入力される。また、電気信号 B が、電気信号入力端子 12 から光送信装置 200c の内部に取り込まれ、積分回路 102 の入力端子に入力される。積分回路 101 は、電気信号入力端子 11 と光位相変調器 31 との間に配置される。また、積分回路 102 は、電気信号入力端子 12 と光位相変調器 32 との間に配置される。また、電気信号 C が、電気信号入力端子 13 から光送信装置 200d の内部に取り込まれ、分配器 8 の入力端子に入力される。

【0083】

一般的に、電気信号 A ($x_1(t)$) を時間で積分した値によって位相変調を行った場合、電気信号 $x_1(t)$ で周波数変調した場合と同じ FM 信号が得られ、電気信号 B ($x_2(t)$) を時間で積分した値によって位相変調を行った場合、電気信号 $x_2(t)$ で周波数変調した場合と同じ FM 信号が得られる（上記の参考文献を参照）。したがって、電気信号 $x_1(t)$ を積分回路 101 で積分した値 $\int_0^t x_1(t) dt$ にて位相変調を行い、電気信号 $x_2(t)$ を積分回路 102 で積分した値 $\int_0^t x_2(t) dt$ にて位相変調を行う本構成では、フォトダイオード 5 から出力されるヘテロダイン検波信号の電流 $I(t)$ は、以下の (11) 式によって表される。

【0084】

【数 11】

10

20

30

40

50

$$I(t) = \frac{1}{2}E_1^2 + \frac{1}{2}E_2^2 + E_1E_2 \cos \left\{ (\omega_1 - \omega_2)t + m \int_0^t dt\phi_1(t) - m \int_0^t dt\phi_2(t) + M \int_0^t dt\phi_3(t) \right\} \cdots (11)$$

【 0 0 8 5 】

ここで、 t は、時刻である。 $E_1(t)$ 及び $E_2(t)$ は、時刻 t における電界の瞬間値である。 E_1 及び E_2 は、電界の最大値である。 ω_1 及び ω_2 は、無変調時の電界の角周波数である。電気信号 $\phi_1(t)$ 、電気信号 $\phi_2(t)$ 及び電気信号 $\phi_3(t)$ は、電気信号入力端子11、電気信号入力端子12、及び電気信号入力端子13からそれぞれ入力される電気信号である。 m は、光位相変調器31及び光位相変調器32の変調効率を表す定数である。

10

【 0 0 8 6 】

以上説明したように、第4の実施形態に係る光送信装置200dによれば、3つの電気信号（電気信号 $\phi_1(t)$ 、電気信号 $\phi_2(t)$ 、及び電気信号 $\phi_3(t)$ ）に対し、光送信装置200dからの出力時の光信号の変調形式を周波数変調に変更することが可能となる。これにより、本実施形態に係る光送信装置200dは、周波数変調の復調形式に対応する光受信装置が用いられるネットワークシステムに適用することができる。また、変調形式が統一されることで、周波数変調の復調形式に対応する光受信装置のみを用意すればよい。そのため、装置コスト等のコストが削減される。

20

【 0 0 8 7 】

< 第5の実施形態 >

以下、本発明の第5の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【 0 0 8 8 】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第5の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図8は、本発明の第5の実施形態に係る光送信装置200eの構成を示すブロック図である。

30

【 0 0 8 9 】

図8に示されるように、光送信装置200eは、3つの電気信号入力端子（電気信号入力端子11～13）と、3つのレーザダイオード（レーザダイオード21～23）（LD）と、2つの光位相変調器（光位相変調器31～32）と、光合波器4と、フォトダイオード5（PD）と、光強度変調器6と、光信号出力端子7と、分配器8と、移相器9と、微分回路111と、を含んで構成される。

【 0 0 9 0 】

図8に示されるように、本実施形態に係る光送信装置200eは、図4に示される第2の実施形態に係る光送信装置200bに対し、微分回路111が追加された構成である。

【 0 0 9 1 】

40

電気信号Aが、電気信号入力端子11から光送信装置200eの内部に取り込まれ、光位相変調器31の入力端子に入力される。また、電気信号Bが、電気信号入力端子12から光送信装置200eの内部に取り込まれ、光位相変調器32の入力端子に入力される。また、電気信号Cが、電気信号入力端子13から光送信装置200eの内部に取り込まれ、微分回路111の入力端子に入力される。微分回路111は、電気信号入力端子13と分配器8との間に配置される。

【 0 0 9 2 】

一般的に、電気信号C（ $\phi_3(t)$ ）を時間で微分した値によって周波数変調を行った場合、電気信号 $\phi_3(t)$ で位相変調した場合と同じ位相変調（PM）信号が得られる（上記の参考文献を参照）。したがって、電気信号 $\phi_3(t)$ を微分回路111で微分した

50

値 $(d/dt)\phi_3(t)$ にて周波数変調を行う本構成では、(以下の(12)式によって表される処理を行うことになるため)フォトダイオード5から出力されるヘテロダイン検波信号の電流 $I(t)$ は、以下の(13)式によって表される。

【0093】

【数12】

$$\int_0^t dt \left\{ \frac{d}{dt} \phi_3(t) \right\} = \phi_3(t) \quad \dots (12)$$

10

【0094】

【数13】

$$I(t) = \frac{1}{2} E_1^2 + \frac{1}{2} E_2^2 + E_1 E_2 \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t)) + M\phi_3(t)\} \quad \dots (13)$$

【0095】

20

ここで、 t は、時刻である。 $E_1(t)$ 及び $E_2(t)$ は、時刻 t における電界の瞬間値である。 E_1 及び E_2 は、電界の最大値である。 ω_1 及び ω_2 は、無変調時の電界の角周波数である。電気信号 $\phi_1(t)$ 、電気信号 $\phi_2(t)$ 及び電気信号 $\phi_3(t)$ は、電気信号入力端子11、電気信号入力端子12、及び電気信号入力端子13からそれぞれ入力される電気信号である。 m は、光位相変調器31及び光位相変調器32の変調効率を表す定数である。

【0096】

以上説明したように、第5の実施形態に係る光送信装置200eによれば、3つの電気信号(電気信号 $\phi_1(t)$ 、電気信号 $\phi_2(t)$ 、及び電気信号 $\phi_3(t)$)に対し、光送信装置200eからの出力時の光信号の変調形式を位相変調に統一することが可能となる。変調形式が統一されることで、位相変調の復調形式に対応する光受信装置のみを用意すればよくなるため、装置コスト等のコストが削減される。

30

【0097】

<第6の実施形態>

以下、本発明の第6の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0098】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第6の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図9は、本発明の第6の実施形態に係る光送信装置200fの構成を示すブロック図である。

【0099】

40

図9に示されるように、光送信装置200fは、3つの電気信号入力端子(電気信号入力端子11~13)と、3つのレーザダイオード(レーザダイオード21~23)(LD)と、2つの光位相変調器(光位相変調器31~32)と、光合波器4と、フォトダイオード5(PD)と、光強度変調器6と、光信号出力端子7と、分配器8と、移相器9と、2つの微分回路(微分回路111~112)と、を含んで構成される。

【0100】

図9に示されるように、本実施形態に係る光送信装置200fは、図4に示される第2の実施形態に係る光送信装置200bに対し、微分回路111と微分回路112とが追加された構成である。

【0101】

50

電気信号 A が、電気信号入力端子 1 1 から光送信装置 2 0 0 f の内部に取り込まれ、光位相変調器 3 1 の入力端子に入力される。また、電気信号 B が、電気信号入力端子 1 2 から光送信装置 2 0 0 f の内部に取り込まれ、光位相変調器 3 2 の入力端子に入力される。また、電気信号 C が、電気信号入力端子 1 3 から光送信装置 2 0 0 f の内部に取り込まれ、分配器 8 の入力端子に入力される。微分回路 1 1 1 は、分配器 8 とレーザダイオード 2 1 との間に配置される。また、微分回路 1 1 2 は、分配器 8 と移相器 9 との間に配置される。

【 0 1 0 2 】

前述の図 8 に示される第 5 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 e が電気信号 C を微分処理した後に分配するのに対し、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 f は、電気信号 C を分配した後に微分処理を行う。第 5 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 e の構成と本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 f の構成との差異は、上記の点のみである。

10

【 0 1 0 3 】

以上説明したように、第 6 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 f によれば、前述の第 5 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 e と同様に、3 つの電気信号（電気信号 $1(t)$ 、電気信号 $2(t)$ 、及び電気信号 $3(t)$ ）に対し、光送信装置 2 0 0 f からの出力時の光信号の変調形式を位相変調に統一することが可能となる。変調形式が統一されることで、位相変調の復調形式に対応する光受信装置のみを用意すればよくなるため、装置コスト等のコストが削減される。

【 0 1 0 4 】

20

< 第 7 の実施形態 >

以下、本発明の第 7 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【 0 1 0 5 】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第 7 の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図 1 0 は、本発明の第 7 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 g の構成を示すブロック図である。

【 0 1 0 6 】

図 1 0 に示されるように、光送信装置 2 0 0 g は、3 つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 1 1 ~ 1 3）と、3 つのレーザダイオード（レーザダイオード 2 1 ~ 2 3）（LD）と、2 つの光位相変調器（光位相変調器 3 1 ~ 3 2）と、光合波器 4 と、フォトダイオード 5（PD）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、分配器 8 と、移相器 9 と、2 つの微分回路（微分回路 1 1 1 ~ 1 1 2）と、を含んで構成される。

30

【 0 1 0 7 】

図 1 0 に示されるように、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 g は、図 4 に示される第 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 b に対し、微分回路 1 1 1 と微分回路 1 1 2 とが追加された構成である。

【 0 1 0 8 】

電気信号 A が、電気信号入力端子 1 1 から光送信装置 2 0 0 g の内部に取り込まれ、光位相変調器 3 1 の入力端子に入力される。また、電気信号 B が、電気信号入力端子 1 2 から光送信装置 2 0 0 g の内部に取り込まれ、光位相変調器 3 2 の入力端子に入力される。また、電気信号 C が、電気信号入力端子 1 3 から光送信装置 2 0 0 g の内部に取り込まれ、分配器 8 の入力端子に入力される。微分回路 1 1 1 は、分配器 8 とレーザダイオード 2 1 との間に配置される。また、微分回路 1 1 2 は、移相器 9 とレーザダイオード 2 2 との間に配置される。

40

【 0 1 0 9 】

前述の図 8 に示される第 5 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 e が電気信号 C を微分処理した後に分配するのに対し、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 g は、電気信号 C を分配した後に微分処理を行う。第 5 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 e の構成と本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 g の構成との差異は、上記の点のみである。

【 0 1 1 0 】

50

以上説明したように、第 7 の実施形態に係る光送信装置 200 g によれば、前述の第 5 の実施形態に係る光送信装置 200 e 及び第 6 の実施形態に係る光送信装置 200 f と同様に、3 つの電気信号（電気信号 $i_1(t)$ 、電気信号 $i_2(t)$ 、及び電気信号 $i_3(t)$ ）に対し、光送信装置 200 g からの出力時の光信号の変調形式を位相変調に統一することが可能となる。変調形式が統一されることで、位相変調の復調形式に対応する光受信装置のみを用意すればよくなるため、装置コスト等のコストが削減される。

【0111】

以上説明したように、上述した各実施形態に係る光送信装置（光送信装置 200 a ~ 200 g）によれば、電気信号 $i_1(t)$ に対する信号処理の構成と、電気信号 $i_2(t)$ に対する信号処理の構成とを、同一にすることができる。各電気信号に対する信号処理の構成が同一となることによって、光送信装置の、各電気信号に対する処理回路の設計、開発、及び生産手段の共通化が可能となる。

10

【0112】

また、上述した各実施形態に係る光送信装置（光送信装置 200 a ~ 200 g）によれば、出力時の光信号の変調形式を周波数変調又は位相変調に統一することが可能となる。変調形式が統一されることで、周波数変調又は位相変調のいずれか一方の復調形式に対応する光受信装置のみを用意すればよくなるため、装置コスト等のコストが削減される。

【0113】

< 第 8 の実施形態 >

以下、本発明の第 8 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

20

【0114】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第 8 の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図 14 は、本発明の第 8 の実施形態に係る光送信装置 200 h の構成を示すブロック図である。

【0115】

図 14 に示されるように、光送信装置 200 h は、2 つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 11 ~ 12）と、3 つのレーザダイオード（レーザダイオード 21 ~ 23）（LD）と、2 つの光位相変調器（光位相変調器 31 ~ 32）と、光合波器 41 と、2 つのフォトダイオード（フォトダイオード 51 ~ 52）（PD）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、を含んで構成される。

30

【0116】

図 14 に示されるように、本実施形態に係る光送信装置 200 h は、図 1 に示される第 1 の実施形態に係る光送信装置 200 a に対し、2 入力 1 出力の光合波器 4 が 2 入力 2 出力の光合波器 41 となっている点、1 つのフォトダイオード 5 が 2 つのフォトダイオード 51 及びフォトダイオード 52 となっている点、フォトダイオード 51 及びフォトダイオード 52 が光合波器 41 の 2 つの出力端子にそれぞれ接続されている点、及び、フォトダイオード 51 とフォトダイオード 52 との接続点から光強度変調器 6 へ電気信号（ヘテロダイン検波信号）が出力される点異なる構成である。

【0117】

電気信号 A が、電気信号入力端子 11 から光送信装置 200 h の内部に取り込まれ、光位相変調器 31 の入力端子に入力される。また、電気信号 B が、電気信号入力端子 12 から光送信装置 200 h の内部に取り込まれ、光位相変調器 32 の入力端子に入力される。

40

【0118】

レーザダイオード 21 から出力された光は、光位相変調器 31 において、電気信号 A によって位相変調される。また、レーザダイオード 22 から出力された光は、光位相変調器 32 において、電気信号 B によって位相変調される。これらの位相変調された光は、2 入力 2 出力の光合波器 41 によって合波された後に分波され、フォトダイオード 51 及びフォトダイオード 52 にそれぞれ入力される。

【0119】

図 15 は、本発明の第 8 の実施形態に係るバランスド受信器の構成を示す図である。上

50

記の２つのフォトダイオード５１及びフォトダイオード５２は、バランス受信器を構成している。バランス受信器を構成する方法として、例えば図１５の（ａ）に示されるように、フォトダイオード５１のアノードとフォトダイオード５２のカソードとを接続し、その接続点から電流を出力する方法がある（なお、フォトダイオード５１のカソードとフォトダイオード５２のアノードに接続される、定電圧源、あるいは、グランド等は、図１５（ａ）では不図示としている）。

【０１２０】

また、バランス受信器を構成する他の方法として、例えば図１５の（ｂ）に示されるように、フォトダイオード５１のカソードとフォトダイオード５２のアノードとを接続し、その接続点から電流を出力する方法がある（なお、フォトダイオード５１のアノードとフォトダイオード５２のカソードに接続される、定電圧源、あるいは、グランド等は、図１５（ｂ）では不図示としている）。

【０１２１】

フォトダイオード５１及びフォトダイオード５２ではヘテロダイン検波がそれぞれ行われる。フォトダイオード５１及びフォトダイオード５２からそれぞれ出力される電気信号（ヘテロダイン検波信号）は、結合された後に、光強度変調器６の入力端子に入力される。一方、レーザダイオード２３から出力された光は、光強度変調器６において、フォトダイオード５１及びフォトダイオード５２からそれぞれ出力される電気信号によって強度変調される。強度変調された信号光は、光信号出力端子７から光送信装置２００ｈの外部へ出力される。

【０１２２】

なお、光送信装置２００ｈは、光位相変調器３１及び光位相変調器３２、あるいは、光強度変調器６が駆動する際に、各電気信号入力端子からそれぞれ入力される電気信号の振幅、あるいは、バイアスを調整し、変調量を制御することがある。そのため、光送信装置２００ｈに、増幅器、減衰器、及びバイアスティーが用いられる場合がある。

【０１２３】

光合波器４１の入力端における、光位相変調器３１の出力光の電界 $E'_1(t)$ 、及び光位相変調器３２の出力光の電界 $E'_2(t)$ は、それぞれ以下の（１４）式及び（１５）式によって表すことができる（詳細は後述される補遺にて説明）。

【０１２４】

【数１４】

$$E'_1(t) = \left(\sqrt{2}E_1 + \sqrt{2}e_1(t) \right) \cos(\omega_1 t + m\phi_1(t)) \quad \dots (14)$$

【０１２５】

【数１５】

$$E'_2(t) = - \left(\sqrt{2}E_2 + \sqrt{2}e_2(t) \right) \sin(\omega_2 t + m\phi_2(t)) \quad \dots (15)$$

【０１２６】

ここで、 t は、時刻である。 $E'_1(t)$ 及び $E'_2(t)$ は、時刻 t における電界の瞬間値である。 $(\sqrt{2} \cdot E_1 + \sqrt{2} \cdot e_1(t))$ 及び $(\sqrt{2} \cdot E_2 + \sqrt{2} \cdot e_2(t))$ は、電界の振幅である。このうち、 $\sqrt{2} \cdot E_1$ 及び $\sqrt{2} \cdot E_2$ はレーザダイオード２１及びレーザダイオード２２の出力電界振幅を表す定数である。

【０１２７】

一方、 $\sqrt{2} \cdot e_1(t)$ 及び $\sqrt{2} \cdot e_2(t)$ は時刻 t におけるレーザダイオード２１及びレーザダイオード２２の出力電界振幅の揺らぎを表す変数である。なお、これらの揺らぎは、本来は前述の第１～７の実施形態における光送信装置でも存在しているが、説明

10

20

30

40

50

の便宜上、そちらでは省略している。

【 0 1 2 8 】

ω_1 及び ω_2 は、無変調時の電界の角周波数である。電気信号 $e_1(t)$ 及び電気信号 $e_2(t)$ は、電気信号入力端子 1 1 及び電気信号入力端子 1 2 からそれぞれ入力される電気信号である。但し、この電気信号は、電気信号入力端子 1 1 と光位相変調器 3 1 との間において損失や移相変化がないことから、光位相変調器 3 1 に入力される電気信号と同じものである。m は、光位相変調器 3 1 及び光位相変調器 3 2 の変調効率を表す定数である。

【 0 1 2 9 】

光合波器 4 1 では、一般に、端子 a (あるいは端子 b) から入力された光が分波されて端子 A 及び端子 B から出力される場合、出力光どうしの位相は相対的に 90° 差を持つことになる。

10

【 0 1 3 0 】

このため、光合波器 4 1 を透過し端子 A から出力される光のフォトダイオード 5 1 の入力端における電界は、光位相変調器 3 1 由来成分 $E_{A1}(t)$ 及び光位相変調器 3 2 由来成分 $E_{A2}(t)$ ごとに、それぞれ以下の (16) 式及び (17) 式によって表すことができる (詳細は後述される補遺にて説明)。

【 0 1 3 1 】

【数 1 6】

$$E_{A1}(t) = (E_1 + e_1(t))\cos(\omega_1 t + m\phi_1(t)) \quad \dots (16)$$

20

【 0 1 3 2 】

【数 1 7】

$$E_{A2}(t) = (E_2 + e_2(t))\cos(\omega_2 t + m\phi_2(t)) \quad \dots (17)$$

【 0 1 3 3 】

出力光どうしの位相は相対的に 90° 差を持った結果、端子 a から端子 A に透過する光の電界の位相は変化せず ((14) 式における \cos (16) 式における \cos)、端子 b から端子 A に透過する光の電界の位相は 90° 変化している ((15) 式における \sin (17) 式における \cos)。

30

【 0 1 3 4 】

同様に、光合波器 4 1 を透過し端子 B から出力される光のフォトダイオード 5 2 の入力端における電界は、光位相変調器 3 1 由来成分 $E_{B1}(t)$ 及び光位相変調器 3 2 由来成分 $E_{B2}(t)$ ごとに、それぞれ以下の (18) 式及び (19) 式によって表すことができる。

【 0 1 3 5 】

【数 1 8】

$$E_{B1}(t) = (E_1 + e_1(t))\sin(\omega_1 t + m\phi_1(t)) \quad \dots (18)$$

40

【 0 1 3 6 】

【数 1 9】

$$E_{B2}(t) = -(E_2 + e_2(t))\sin(\omega_2 t + m\phi_2(t)) \quad \dots (19)$$

【 0 1 3 7 】

出力光どうしの位相は相対的に 90° 差を持った結果、端子 a から端子 B に透過する光の電界の位相は 90° 変化し ((14) 式における \cos (18) 式における \sin)

50

、端子 b から端子 B に透過する光の電界の位相は変化していない（（１５）式における - \sin （１９）式における - \sin ）。

【０１３８】

ここで、フォトダイオード５１では、（１６）式及び（１７）式で表される光の入力に基づいて、ヘテロダイン検波が行われる。この結果、出力されるヘテロダイン検波信号の電流 $I_A(t)$ は、（１６）式及び（１７）式を用い、以下の（２０）式によって表される。

【０１３９】

【数２０】

$$\begin{aligned} I_A(t) &\propto \left\langle (E_{A1}(t) + E_{A2}(t))^2 \right\rangle \\ &= \langle E_1(t)^2 \rangle + \langle 2E_1(t) \cdot E_2(t) \rangle + \langle E_2(t)^2 \rangle \\ &= \frac{1}{2} E_1^2 + E_1 e_1(t) + \frac{1}{2} E_2^2 + E_2 e_2(t) \\ &\quad + (E_1 E_2 + E_1 e_2(t) + E_2 e_1(t)) \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t))\} \\ &\quad \dots (20) \end{aligned}$$

10

【０１４０】

ここで、“ \dots ” は、フォトダイオード５１の帯域に応じた平均化処理を行う演算子である。すなわち、この演算子は、 ω_1 又は ω_2 以上の角周波数で変動する成分に対し、平均化した値を与えるものである。なお、 $e_1(t)$ 及び $e_2(t)$ は微小であることから、 $e_1(t)^2$ 、 $e_2(t)^2$ 、及び、 $e_1(t)e_2(t)$ の値は 0 とした。

【０１４１】

同様に、フォトダイオード５２では、（１８）式及び（１９）式で表される光の入力に基づいて、ヘテロダイン検波が行われる。この結果、出力されるヘテロダイン検波信号の電流 $I_B(t)$ は、（１８）式及び（１９）式を用い、以下の（２１）式によって表される。

【０１４２】

【数２１】

$$\begin{aligned} I_B(t) &\propto \left\langle (E_{B1}(t) + E_{B2}(t))^2 \right\rangle \\ &= \langle E_1(t)^2 \rangle + \langle 2E_1(t) \cdot E_2(t) \rangle + \langle E_2(t)^2 \rangle \\ &= \frac{1}{2} E_1^2 + E_1 e_1(t) + \frac{1}{2} E_2^2 + E_2 e_2(t) \\ &\quad - (E_1 E_2 + E_1 e_2(t) + E_2 e_1(t)) \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t))\} \\ &\quad \dots (21) \end{aligned}$$

30

40

【０１４３】

ここで、“ \dots ” は、フォトダイオード５２の帯域に応じた平均化処理を行う演算子である。すなわち、この演算子は、 ω_1 又は ω_2 以上の角周波数で変動する成分に対し、平均化した値を与えるものである。なお、 $e_1(t)$ 及び $e_2(t)$ は微小であることから、 $e_1(t)^2$ 、 $e_2(t)^2$ 、及び、 $e_1(t)e_2(t)$ の値は 0 とした。

【０１４４】

フォトダイオード５１及びフォトダイオード５２それぞれから出力された電流 $I_A(t)$ 及び $I_B(t)$ は、上述の通り結合され電流 $I(t)$ の電気信号になった後、光強度変調器６に入力される。この電流 $I(t)$ （ヘテロダイン検波信号）は、以下の（２２）式

50

によって表される。

【 0 1 4 5 】

【 数 2 2 】

$$\begin{aligned} I(t) &\propto -I_A(t) + I_B(t) \\ &= -2(E_1 E_2 + E_1 e_1(t) + E_2 e_2(t)) \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t))\} \\ &\quad \dots (22) \end{aligned}$$

【 0 1 4 6 】

なお、ここで、 $I_A(t)$ と $I_B(t)$ とが互いに逆符号で合成されるのは、フォトダイオード51及びフォトダイオード52がバランス受信器構成をとっているためである。

10

【 0 1 4 7 】

上記の(20)式、(21)式及び(22)式の比較から明らかなように、フォトダイオードが1つだけの構成に対し、フォトダイオードが2つでバランス受信器とする構成によって、出力電気信号から、直流成分 E_1^2 、 E_2^2 や揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ が消失する。特に、揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ は雑音として信号劣化要因となる。そのため、第8の実施形態に係る光送信装置200hによれば、成分 $E_1 e_1(t)$ 及び $E_2 e_2(t)$ が消失することによって信号の品質(CNR; Carrier-to-Noise Ratio)が向上するという効果がある。

【 0 1 4 8 】

20

なお、バランス受信器を用いた先行技術として、光合分波器で1つの信号光と1つの局部発振光(無変調光)を合分波し、局部発振光から発生する雑音(相対強度雑音)を除去しながら検波する構成が知られている(参考文献: 岩下克, 「コヒーレント光通信技術の進展」, 日本光学会会誌38巻5号, p.239, 2009年5月)。しかしながら、この参考文献には、第8の実施形態における光送信装置200hのように、2つの信号光を合分波し、2つの信号光双方から発生する雑音($E_1 e_1(t)$ 、及び、 $E_2 e_2(t)$)を除去しながら検波する構成は開示されておらず、当該構成や効果についての示唆もない。

【 0 1 4 9 】

< 第9の実施形態 >

以下、本発明の第9の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

30

【 0 1 5 0 】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第9の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図16は、本発明の第9の実施形態に係る光送信装置200iの構成を示すブロック図である。

【 0 1 5 1 】

図16に示されるように、光送信装置200iは、3つの電気信号入力端子(電気信号入力端子11~13)と、3つのレーザダイオード(レーザダイオード21~23)(LD)と、2つの光位相変調器(光位相変調器31~32)と、光合波器41と、2つのフォトダイオード(フォトダイオード51~52)(PD)と、光強度変調器6と、光信号出力端子7と、分配器8と、入力信号を180度移相する移相器9と、を含んで構成される。

40

【 0 1 5 2 】

図16に示されるように、本実施形態に係る光送信装置200iは、図4に示される第2の実施形態に係る光送信装置200bに対し、2入力1出力の光合波器4が2入力2出力の光合波器41となっている点、1つのフォトダイオード5が2つのフォトダイオード51及びフォトダイオード52となっている点、フォトダイオード51及びフォトダイオード52が光合波器41の2つの出力端子にそれぞれ接続されている点、及び、フォトダイオード51とフォトダイオード52との接続点から光強度変調器6へ電気信号(ヘテロダイン検波信号)が出力される点が異なる構成である。

【 0 1 5 3 】

50

前述の第 2 の実施形態における数式展開と前述の第 8 の実施形態における数式展開との組み合わせにより、フォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 からそれぞれ出力されるヘテロダイン検波信号の電流 $I_A(t)$ 及び $I_B(t)$ は、以下の (23) 式及び (24) 式によって表される。

【 0 1 5 4 】

【数 2 3 】

$$\begin{aligned}
 I_A(t) &\propto \left\langle \left(E_{A1}(t) + E_{A2}(t) \right)^2 \right\rangle \\
 &= \langle E_1(t)^2 \rangle + \langle 2E_1(t) \cdot E_2(t) \rangle + \langle E_2(t)^2 \rangle \\
 &= \frac{1}{2} E_1^2 + E_1 e_1(t) + \frac{1}{2} E_2^2 + E_2 e_2(t) \\
 &\quad + (E_1 E_2 + E_1 e_2(t) + E_2 e_1(t)) \cos \left\{ (\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t)) + M \int_0^t dt \phi_3(t) \right\} \\
 &\quad \dots (23)
 \end{aligned}$$

10

【 0 1 5 5 】

【数 2 4 】

$$\begin{aligned}
 I_B(t) &\propto \left\langle \left(E_{B1}(t) + E_{B2}(t) \right)^2 \right\rangle \\
 &= \langle E_1(t)^2 \rangle + \langle 2E_1(t) \cdot E_2(t) \rangle + \langle E_2(t)^2 \rangle \\
 &= \frac{1}{2} E_1^2 + E_1 e_1(t) + \frac{1}{2} E_2^2 + E_2 e_2(t) \\
 &\quad + (E_1 E_2 + E_1 e_2(t) + E_2 e_1(t)) \cos \left\{ (\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t)) + M \int_0^t dt \phi_3(t) \right\} \\
 &\quad \dots (24)
 \end{aligned}$$

20

【 0 1 5 6 】

フォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 からそれぞれ出力された電流 $I_A(t)$ 及び $I_B(t)$ は、結合されて電流 $I(t)$ の電気信号になった後、光強度変調器 6 に入力される。この電流 $I(t)$ (ヘテロダイン検波信号) は、以下の (25) 式によって表される。

30

【 0 1 5 7 】

【数 2 5 】

$$\begin{aligned}
 I(t) &\propto -I_A(t) + I_B(t) \\
 &= -2(E_1 E_2 + E_1 e_1(t) + E_2 e_2(t)) \cos \left\{ (\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t)) + M \int_0^t dt \phi_3(t) \right\} \\
 &\quad \dots (25)
 \end{aligned}$$

40

【 0 1 5 8 】

なお、ここで、 $I_A(t)$ と $I_B(t)$ が互いに逆符号で合成されるのは、フォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 がバランス受信器構成をとっているためである。

【 0 1 5 9 】

上記の (23) 式、(24) 式及び (25) 式の比較から明らかなように、フォトダイオードが 1 つだけの構成に対し、フォトダイオードが 2 つでバランス受信器とする構成によって、出力電気信号から、直流成分 E_1^2 、 E_2^2 や揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ が消失する。特に、揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ は雑音として信号劣化要因となる。そのため、第 9 の実施形態に係る光送信装置 200 i に

50

よれば、成分 $E_1 e_1(t)$ 及び $E_2 e_2(t)$ が消失することによって信号の品質 (CNR) が向上するという効果がある。

【0160】

< 第10の実施形態 >

以下、本発明の第10の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0161】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第10の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図17は、本発明の第10の実施形態に係る光送信装置200jの構成を示すブロック図である。

【0162】

図17に示されるように、光送信装置200jは、2つの電気信号入力端子（電気信号入力端子11～12）と、3つのレーザダイオード（レーザダイオード21～23）（LD）と、2つの光位相変調器（光位相変調器31～32）と、光合波器41と、2つのフォトダイオード（フォトダイオード51～52）（PD）と、光強度変調器6と、光信号出力端子7と、2つの積分回路（積分回路101～102）と、を含んで構成される。

【0163】

図17に示されるように、本実施形態における光送信装置200jは、図6に示される第3の実施形態に係る光送信装置200cに対し、2入力1出力の光合波器4が2入力2出力の光合波器41となっている点、1つのフォトダイオード5が2つのフォトダイオード51及びフォトダイオード52となっている点、フォトダイオード51及びフォトダイオード52が光合波器41の2つの出力端子にそれぞれ接続されている点、及び、フォトダイオード51とフォトダイオード52との接続点から光強度変調器6へ電気信号（ヘテロダイン検波信号）が出力される点異なる構成である。

【0164】

フォトダイオード51及びフォトダイオード52からそれぞれ出力された電流 $I_A(t)$ 及び $I_B(t)$ は、結合されて電流 $I(t)$ の電気信号になった後、光強度変調器6に入力される。この電流 $I(t)$ （ヘテロダイン検波信号）は、前述の第3の実施形態の数式展開と前述の第8の実施形態の数式展開との組み合わせにより、以下の(26)式によって表される。

【0165】

【数26】

$$I(t) \propto -2(E_1 E_2 + E_1 e_1(t) + E_2 e_2(t)) \cos \left\{ (\omega_1 - \omega_2)t + m \int_0^t dt \phi_1(t) - m \int_0^t dt \phi_2(t) \right\} \quad \dots (26)$$

【0166】

ここで、上記の(26)式から明らかなように、フォトダイオードが2つでバランスド受信器とする構成によって、出力電気信号から、直流成分 E_1^2 、 E_2^2 や揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ が消失する。特に、揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ は雑音として信号劣化要因となる。そのため、第10の実施形態に係る光送信装置200jによれば、成分 $E_1 e_1(t)$ 及び $E_2 e_2(t)$ が消失することによって信号の品質 (CNR) が向上するという効果がある。

【0167】

< 第11の実施形態 >

以下、本発明の第11の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0168】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第11の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図18は

、本発明の第 11 の実施形態に係る光送信装置 200k の構成を示すブロック図である。

【0169】

図 18 に示されるように、光送信装置 200k は、3つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 11～13）と、3つのレーザダイオード（レーザダイオード 21～23）（LD）と、2つの光位相変調器（光位相変調器 31～32）と、光合波器 41 と、2つのフォトダイオード（フォトダイオード 51～52）（PD）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、分配器 8 と、移相器 9 と、2つの積分回路（積分回路 101～102）と、を含んで構成される。

【0170】

図 18 に示されるように、本実施形態に係る光送信装置 200k は、図 7 に示される第 4 の実施形態に係る光送信装置 200d に対し、2入力1出力の光合波器 4 が 2入力2出力の光合波器 41 となっている点、1つのフォトダイオード 5 が 2つのフォトダイオード 51 及びフォトダイオード 52 となっている点、フォトダイオード 51 及びフォトダイオード 52 が光合波器 41 の 2つの出力端子にそれぞれ接続されている点、及び、フォトダイオード 51 とフォトダイオード 52 との接続点から光強度変調器 6 へ電気信号（ヘテロダイン検波信号）が出力される点が異なる構成である。

【0171】

フォトダイオード 51 及びフォトダイオード 52 からそれぞれ出力された電流 $I_A(t)$ 及び $I_B(t)$ は、結合されて電流 $I(t)$ の電気信号になった後、光強度変調器 6 に入力される。この電流 $I(t)$ （ヘテロダイン検波信号）は、前述の第 4 の実施形態の数式展開と前述の第 8 の実施形態の数式展開との組み合わせにより、以下の（27）式によって表される。

【0172】

【数 27】

$$I(t) \propto -2(E_1 E_2 + E_1 e_1(t) + E_2 e_2(t)) \cos \left\{ (\omega_1 - \omega_2)t + m \int_0^t dt \phi_1(t) - m \int_0^t dt \phi_2(t) + M \int_0^t dt \phi_3(t) \right\} \dots (27)$$

【0173】

ここで、上記の（27）式から明らかなように、フォトダイオードが 2つでバランスド受信器とする構成によって、出力電気信号から、直流成分 E_1^2 、 E_2^2 や揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ が消失する。特に、揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ は雑音として信号劣化要因となる。そのため、第 11 の実施形態に係る光送信装置 200k によれば、成分 $E_1 e_1(t)$ 及び $E_2 e_2(t)$ が消失することによって信号の品質（CNR）が向上するという効果がある。

【0174】

< 第 12 の実施形態 >

以下、本発明の第 12 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0175】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第 12 の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図 19 は、本発明の第 12 の実施形態に係る光送信装置 2001 の構成を示すブロック図である。

【0176】

図 19 に示されるように、光送信装置 2001 は、3つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 11～13）と、3つのレーザダイオード（レーザダイオード 21～23）（LD）と、2つの光位相変調器（光位相変調器 31～32）と、光合波器 41 と、2つのフ

10

20

30

40

50

フォトダイオード（フォトダイオード 5 1 ~ 5 2）（PD）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、分配器 8 と、移相器 9 と、微分回路 1 1 1 と、を含んで構成される。

【 0 1 7 7 】

図 1 9 に示されるように、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 1 は、図 8 に示される第 5 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 e に対し、2 入力 1 出力の光合波器 4 が 2 入力 2 出力の光合波器 4 1 となっている点、1 つのフォトダイオード 5 が 2 つのフォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 となっている点、フォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 が光合波器 4 1 の 2 つの出力端子にそれぞれ接続されている点、及び、フォトダイオード 5 1 とフォトダイオード 5 2 との接続点から光強度変調器 6 へ電気信号（ヘテロダイン検波信号）が出力される点が異なる構成である。

10

【 0 1 7 8 】

フォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 からそれぞれ出力された電流 $I_A(t)$ 及び $I_B(t)$ は、結合されて電流 $I(t)$ の電気信号になった後、光強度変調器 6 に入力される。この電流 $I(t)$ （ヘテロダイン検波信号）は、前述の第 5 の実施形態の数式展開と前述の第 8 の実施形態の数式展開との組み合わせにより、以下の（28）式で表される。

【 0 1 7 9 】

【数 2 8】

$$I(t) \propto -2(E_1 E_2 + E_1 e_1(t) + E_2 e_2(t)) \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t + m(\phi_1(t) - \phi_2(t)) + M\phi_3(t)\} \dots (28)$$

20

【 0 1 8 0 】

ここで、上記の（28）式から明らかなように、フォトダイオードが 2 つでバランスド受信器とする構成によって、出力電気信号から、直流成分 E_1^2 、 E_2^2 や揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ が消失する。特に、揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ は雑音として信号劣化要因となる。そのため、第 1 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 1 によれば、成分 $E_1 e_1(t)$ 及び $E_2 e_2(t)$ が消失することによって信号の品質（CNR）が向上するという効果がある。

30

【 0 1 8 1 】

< 第 1 3 の実施形態 >

以下、本発明の第 1 3 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【 0 1 8 2 】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第 1 3 の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図 2 0 は、本発明の第 1 3 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 m の構成を示すブロック図である。

【 0 1 8 3 】

図 2 0 に示されるように、光送信装置 2 0 0 m は、3 つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 1 1 ~ 1 3）と、3 つのレーザダイオード（レーザダイオード 2 1 ~ 2 3）（LD）と、2 つの光位相変調器（光位相変調器 3 1 ~ 3 2）と、光合波器 4 1 と、2 つのフォトダイオード（フォトダイオード 5 1 ~ 5 2）（PD）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、分配器 8 と、移相器 9 と、2 つの微分回路（微分回路 1 1 1 ~ 1 1 2）と、を含んで構成される。

40

【 0 1 8 4 】

図 2 0 に示されるように、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 m は、図 9 に示される第 6 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 f に対し、2 入力 1 出力の光合波器 4 が 2 入力 2 出力の光合波器 4 1 となっている点、1 つのフォトダイオード 5 が 2 つのフォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 となっている点、フォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 が光合波器 4 1 の 2 つの出力端子にそれぞれ接続されている点、及び、フォトダ

50

イオード 5 1 とフォトダイオード 5 2 との接続点から光強度変調器 6 へ電気信号（ヘテロダイン検波信号）が出力される点が異なる構成である。

【0185】

また、前述の図 1 9 に示される第 1 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 1 が電気信号 C を微分処理した後に分配するのに対し、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 m は、電気信号 C を分配した後に微分処理を行う。第 1 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 1 の構成と本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 m の構成との差異は、上記の点のみである。

【0186】

したがって、第 1 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 1 と同様に、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 m においても、フォトダイオードが 2 つでバランス受信器とする構成によって、出力電気信号から、直流成分 E_1^2 、 E_2^2 や揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ が消失する。特に、揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ は雑音として信号劣化要因となる。そのため、第 1 3 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 m によれば、成分 $E_1 e_1(t)$ 及び $E_2 e_2(t)$ が消失することによって信号の品質（CNR）が向上するという効果がある。

【0187】

< 第 1 4 の実施形態 >

以下、本発明の第 1 4 の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0188】

[光送信装置の構成]

以下、本発明の第 1 4 の実施形態に係る光送信装置の構成について説明する。図 2 1 は、本発明の第 1 4 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 n の構成を示すブロック図である。

【0189】

図 2 1 に示されるように、光送信装置 2 0 0 n は、3 つの電気信号入力端子（電気信号入力端子 1 1 ~ 1 3 ）と、3 つのレーザダイオード（レーザダイオード 2 1 ~ 2 3 ）（LD）と、2 つの光位相変調器（光位相変調器 3 1 ~ 3 2 ）と、光合波器 4 1 と、2 つのフォトダイオード（フォトダイオード 5 1 ~ 5 2 ）（PD）と、光強度変調器 6 と、光信号出力端子 7 と、分配器 8 と、移相器 9 と、2 つの微分回路（微分回路 1 1 1 ~ 1 1 2 ）と、を含んで構成される。

【0190】

図 2 1 に示されるように、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 n は、図 1 0 に示される第 7 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 g に対し、2 入力 1 出力の光合波器 4 が 2 入力 2 出力の光合波器 4 1 となっている点、1 つのフォトダイオード 5 が 2 つのフォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 となっている点、フォトダイオード 5 1 及びフォトダイオード 5 2 が光合波器 4 1 の 2 つの出力端子にそれぞれ接続されている点、及び、フォトダイオード 5 1 とフォトダイオード 5 2 との接続点から光強度変調器 6 へ電気信号（ヘテロダイン検波信号）が出力される点が異なる構成である。

【0191】

また、前述の図 1 9 に示される第 1 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 1 が電気信号 C を微分処理した後に分配するのに対し、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 n は、電気信号 C を分配した後に微分処理を行う。第 1 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 1 の構成と本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 n の構成との差異は、上記の点のみである。

【0192】

したがって、第 1 2 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 1 と同様に、本実施形態に係る光送信装置 2 0 0 n においても、フォトダイオードが 2 つでバランス受信器とする構成によって、出力電気信号から、直流成分 E_1^2 、 E_2^2 や揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ が消失する。特に、揺らぎに起因する成分 $E_1 e_1(t)$ 、 $E_2 e_2(t)$ は雑音として信号劣化要因となる。そのため、第 1 4 の実施形態に係る光送信装置 2 0 0 n によれば、成分 $E_1 e_1(t)$ 及び $E_2 e_2(t)$ が消失することによって信号の品質（CNR）が向上するという効果がある。

【 0 1 9 3 】

< 補遺 >

以下、2入力2出力の光合波器41における、2つの出力光の間の位相関係について、図22を参照しながら説明する。図22は、2入力2出力の光合波器41における2つの出力光の間の位相関係を説明するための図である。

【 0 1 9 4 】

光合波器41の2つの入力光と2つの出力光の電界及び位相の関係を表す伝達関数をTとする。ここで、対称性から、「端子aから端子Aへ」透過する際の電界及び位相の変化と、「端子bから端子Bへ」透過する際の電界及び位相の変化とは、同じとなる。同様に、「端子aから端子Bへ」透過する際の電界及び位相の変化と、「端子bから端子Aへ」透過する際の電界及び位相の変化とは、同じとなる。したがって、伝達関数Tは、以下の(29)式によって表されるような対称性を持つ。

10

【 0 1 9 5 】

【数29】

$$T = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \beta & \alpha \end{pmatrix} \quad \dots (29)$$

【 0 1 9 6 】

次に、図22の左から右に向かい、光を送信することを考える。ここで、地点1において光合波器41-1の端子a及び端子bの各々への入力光電界を1及び0とすれば、地点1における電界は、以下の(30)式によって表される。

20

【 0 1 9 7 】

【数30】

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \dots (30)$$

【 0 1 9 8 】

さらに、光合波器41-1の端子A及び端子Bの各々からの出力光電界(地点2)、及び、光合波器41-2の端子A及び端子Bの各々からの出力光電界(地点3)は、上記の(29)式(30)式に基づいて、以下の(31)式及び(32)式のように表される。

30

【 0 1 9 9 】

【数31】

$$T \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \beta & \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \quad \dots (31)$$

【 0 2 0 0 】

【数32】

40

$$T^2 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \beta & \alpha \end{pmatrix}^2 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha^2 + \beta^2 \\ 2\alpha\beta \end{pmatrix} \quad \dots (32)$$

【 0 2 0 1 】

ここで、光合波器41-1及び光合波器41-2において損失がないとすれば、(30)~(32)式の各々によって計算される電力は同じとなるため、以下の(33)式及び(34)式が成り立つ。

【 0 2 0 2 】

50

【数 3 3】

$$1 = \alpha^* \alpha + \beta^* \beta \quad \dots (33)$$

【0 2 0 3】

【数 3 4】

$$1 = (\alpha^{*2} + \beta^{*2})(\alpha^2 + \beta^2) + 4\alpha^* \alpha \beta^* \beta = \alpha^{*2} \alpha^2 + \beta^{*2} \beta^2 + \alpha^{*2} \beta^2 + \alpha^2 \beta^{*2} + 4\alpha^* \alpha \beta^* \beta \quad \dots (34)$$

10

【0 2 0 4】

上記(33)式の両辺を二乗したものを(34)式から減算することにより、以下の(36)式を得る。

【0 2 0 5】

【数 3 5】

$$0 = \alpha^{*2} \beta^2 + \alpha^2 \beta^{*2} + 2\alpha^* \alpha \beta^* \beta = (\alpha^* \beta + \alpha \beta^*)^2 \quad \dots (35)$$

【0 2 0 6】

【数 3 6】

$$\alpha^* \beta = -\alpha \beta^* \quad \dots (36)$$

20

【0 2 0 7】

ここで、 $\alpha = |\alpha| \exp(i\theta_\alpha)$ 、 $\beta = |\beta| \exp(i\theta_\beta)$ と置くことにより、上記の(36)式は以下の(37)式のように変形される。

【0 2 0 8】

【数 3 7】

$$\exp[i(-\theta_\alpha + \theta_\beta)] = -\exp[i(+\theta_\alpha - \theta_\beta)] \quad \dots (37)$$

30

【0 2 0 9】

この結果、端子 A 及び端子 B からの出力光電界の位相関係が、以下の(38)式のように導出される。

【0 2 1 0】

【数 3 8】

$$\theta_\beta = \theta_\alpha + \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi \quad (n: \text{任意の整数}) \quad \dots (38)$$

40

【0 2 1 1】

以上、第 8 の実施形態～第 14 の実施形態における光送信装置において、光の位相が光合波器 41 の入出力端に依存する理由について説明した。

【0 2 1 2】

以上説明したように、上述した各実施形態に係る光送信装置(光送信装置 200h～200n)は、位相変調された 2 つの光信号を光合波器 41 によって合波された後に分波し、バランス受信器の構成によって電気信号に変換する。このような構成を備えることで、光送信装置(光送信装置 200h～200n)は、レーザダイオードの出力電解振幅の揺らぎに起因する雑音を除去することができ、信号の品質(CNR)を向上させることができる。

50

【 0 2 1 3 】

また、上述した各実施形態に係る光送信装置（光送信装置 2 0 0 h ~ 2 0 0 n）によれば、電気信号 $\varphi_1(t)$ に対する信号処理の構成と、電気信号 $\varphi_2(t)$ に対する信号処理の構成とを、同一にすることができる。各電気信号に対する信号処理の構成が同一となることによって、光送信装置の、各電気信号に対する処理回路の設計、開発、及び生産手段の共通化が可能となる。

【 0 2 1 4 】

また、上述した各実施形態に係る光送信装置（光送信装置 2 0 0 h ~ 2 0 0 n）によれば、出力時の光信号の変調形式を周波数変調又は位相変調に統一することが可能となる。変調形式が統一されることで、周波数変調又は位相変調のいずれか一方の復調形式に対応する光受信装置のみを用意すればよくなるため、装置コスト等のコストが削減される。

10

【 0 2 1 5 】

上述した実施形態によれば、光送信装置は、第 1 の光位相変調器と、第 2 の光位相変調器と、光合波器と、フォトダイオードと、光強度変調器とを備える。例えば、第 1 の光位相変調器は、実施形態における光位相変調器 3 1 であり、第 2 の光位相変調器は、実施形態における光位相変調器 3 2 である。第 1 の光位相変調器は、第 1 の電気信号入力部に入力された第 1 の電気信号に基づいて、第 1 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する。例えば、第 1 の電気信号入力部は、実施形態における電気信号入力端子 1 1 であり、第 1 の電気信号は、実施形態における電気信号 A であり、第 1 のレーザダイオードは、実施形態におけるレーザダイオード 2 1 である。第 2 の光位相変調器は、第 2 の電気信号入力部に入力された第 2 の電気信号に基づいて、第 2 のレーザダイオードからの出力光を位相変調する。例えば、第 2 の電気信号入力部は、実施形態における電気信号入力端子 1 2 であり、第 2 の電気信号は、実施形態における電気信号 B であり、第 2 のレーザダイオードは、実施形態におけるレーザダイオード 2 2 である。光合波器は、第 1 の光位相変調器からの出力光と、第 2 の光位相変調器からの出力光とを合波する。フォトダイオードは、光合波器からの出力光をヘテロダイン検波信号に変換する。光強度変調器は、フォトダイオードから出力されるヘテロダイン検波信号に基づいて第 3 のレーザダイオードからの出力光を強度変調する。例えば、第 3 のレーザダイオードは、実施形態におけるレーザダイオード 2 3 である。

20

【 0 2 1 6 】

なお、光送信装置は、分配器と、移相器とをさらに備えていてもよい。この場合、分配器は、第 3 の電気信号入力部に入力された第 3 の電気信号を、第 4 の電気信号と第 5 の電気信号とに分配する。例えば、第 3 の電気信号入力部は、実施形態における電気信号入力端子 1 3 であり、第 3 の電気信号は、実施形態における電気信号 C であり、第 4 の電気信号及び第 5 の電気信号は、実施形態における分配器 8 によって分配された電気信号 C である。移相器は、第 5 の電気信号を 1 8 0 度移相する。分配器から出力された第 4 の電気信号は、第 1 のレーザダイオードの駆動電流入力端子に入力される。移相器から出力された第 5 の電気信号は、第 2 のレーザダイオードの駆動電流入力端子に入力される。

30

【 0 2 1 7 】

なお、光送信装置は、第 1 の積分回路と、第 2 の積分回路とをさらに備えていてもよい。例えば、第 1 の積分回路は、実施形態における積分回路 1 0 1 であり、第 2 の積分回路は、実施形態における積分回路 1 0 2 である。この場合、第 1 の積分回路は、第 1 の電気信号入力部に入力された第 1 の電気信号を、積分処理を行って第 1 の光位相変調器へ出力する。第 2 の積分回路は、第 2 の電気信号入力部に入力された第 2 の電気信号を、積分処理を行って第 2 の光位相変調器へ出力する。

40

【 0 2 1 8 】

なお、光送信装置は、微分回路をさらに備えていてもよい。この場合、微分回路は、第 3 の電気信号入力部に入力された第 3 の電気信号を、微分処理を行って分配器へ出力する。

【 0 2 1 9 】

なお、光送信装置は、第 1 の微分回路と、第 2 の微分回路とをさらに備えていてもよい

50

。例えば、第１の微分回路は、実施形態における微分回路１１１であり、第２の微分回路は、実施形態における微分回路１１２である。この場合、第１の微分回路は、分配器から出力された第４の電気信号を、微分処理を行って第１のレーザダイオードへ出力する。第２の微分回路は、分配器から出力された第５の電気信号を、微分処理を行って移相器へ出力する。

【０２２０】

なお、第１の電気信号と第２の電気信号と第３の電気信号とは、互いに周波数が重複しない電気信号である。

【０２２１】

なお、光合波器は、第１のフォトダイオードに接続される出力端と第２のフォトダイオードに接続される出力端とを備え、第１の光位相変調器からの出力光と第２の光位相変調器からの出力光とを合波した後に、合波された光を分波し、分波された光を第１のフォトダイオードと第２のフォトダイオードとへそれぞれ出力するようにしてもよい。例えば、第１のフォトダイオードは、実施形態におけるフォトダイオード５１（又はフォトダイオード５２）であり、第２のフォトダイオードは、実施形態におけるフォトダイオード５２（又はフォトダイオード５１）である。フォトダイオードは、第１のフォトダイオードと当該第１のフォトダイオードのアノードに対してカソードが接続された第２のフォトダイオードとを含み、第１のフォトダイオードと第２のフォトダイオードとの接続点から光強度変調器へヘテロダイン検波信号を出力するようにしてもよい。

【０２２２】

上述した各実施形態における光送信装置２００ａ～２００ｎの一部又は全部をコンピュータで実現するようにしてもよい。その場合、この機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって実現してもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、ＯＳや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭ等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間の間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含んでもよい。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよく、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよく、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）等のプログラマブルロジックデバイスを用いて実現されるものであってもよい。

【０２２３】

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

【符号の説明】

【０２２４】

１…ＦＴＴＨ型ＣＡＴＶシステム、４、４１…光合波器、５、５１、５２…フォトダイオード、６…光強度変調器、７…光信号出力端子、８…分配器、９…移相器、１１、１２、１３…電気信号入力端子、２１、２２、２３…レーザダイオード、３１、３２…光位相変調器、１００…ヘッドエンド、１０１、１０２…積分回路、１１１、１１２…微分回路、２００、２００ａ～ｇ…光送信装置、３００…増幅器、４００…光受信装置、５００…中継ネットワーク、６００…アクセスネットワーク

10

20

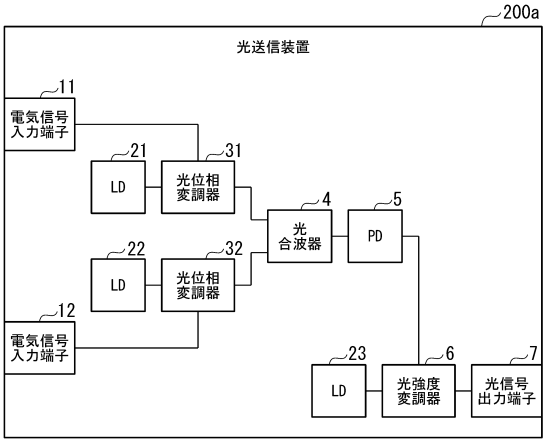
30

40

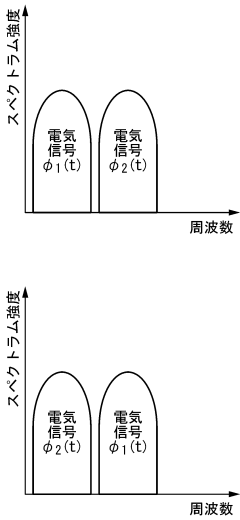
50

【図面】

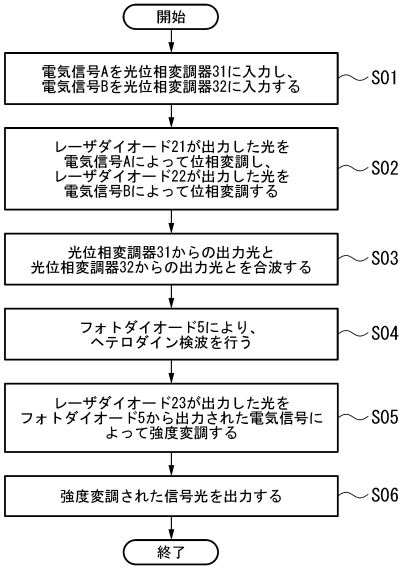
【図 1】



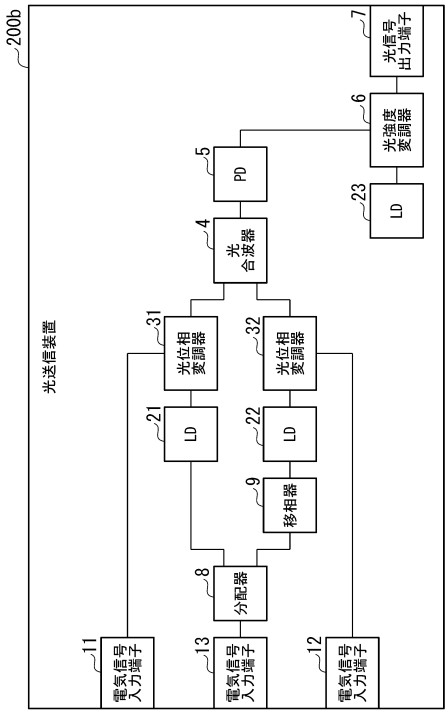
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

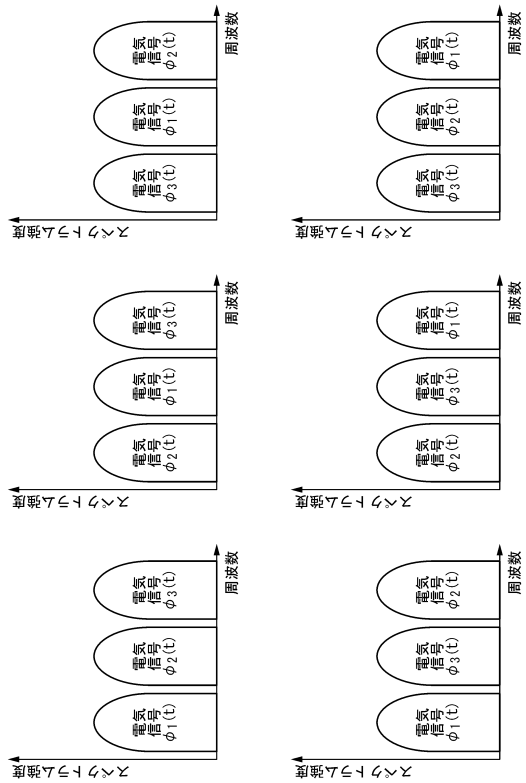
20

30

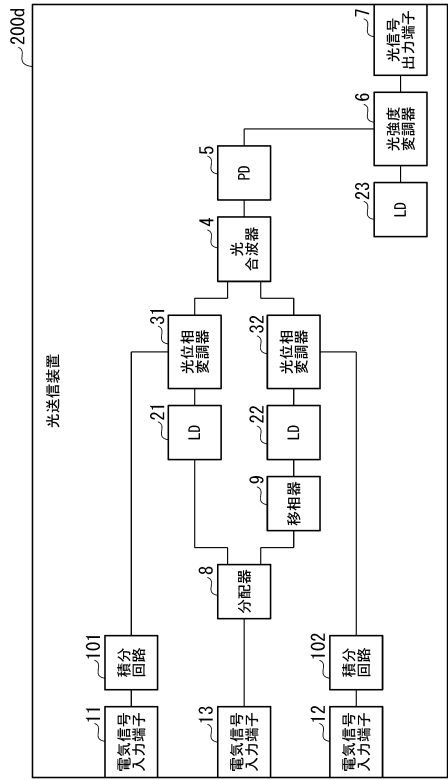
40

50

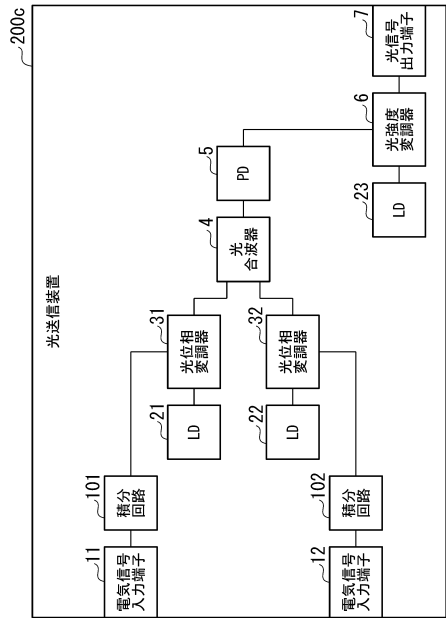
【図 5】



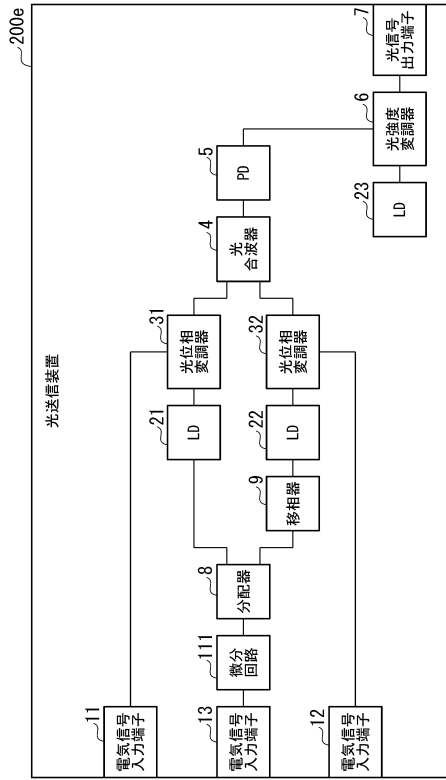
【図 7】



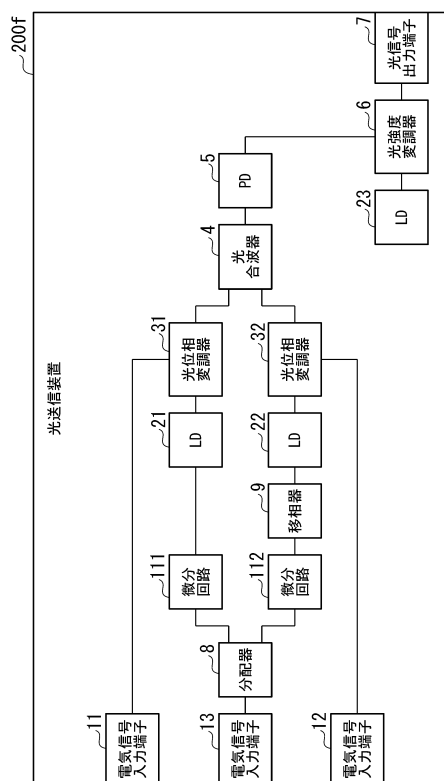
【図 6】



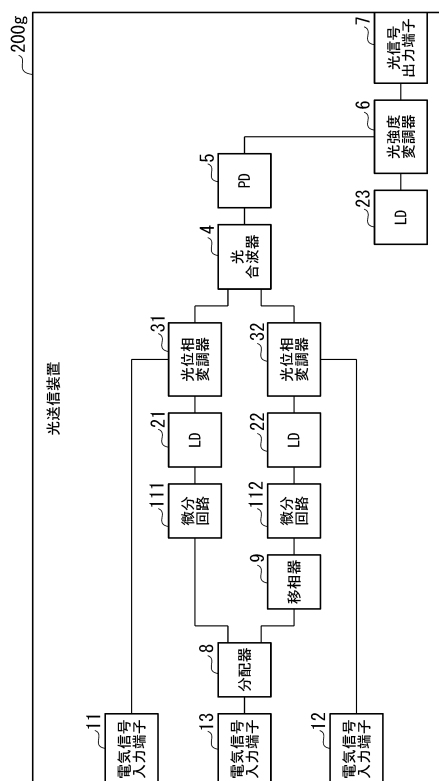
【図 8】



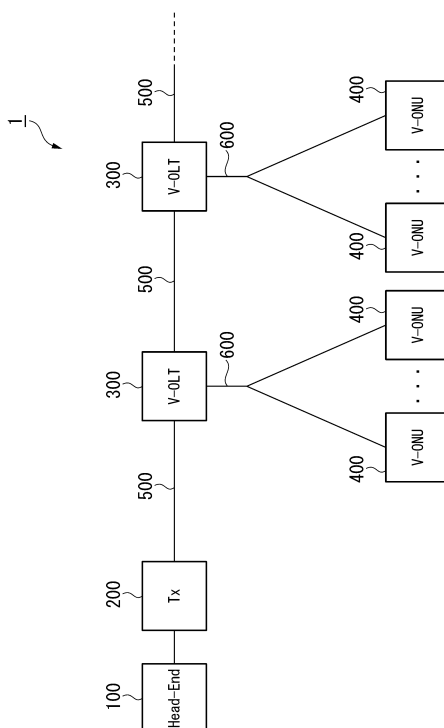
【图 9】



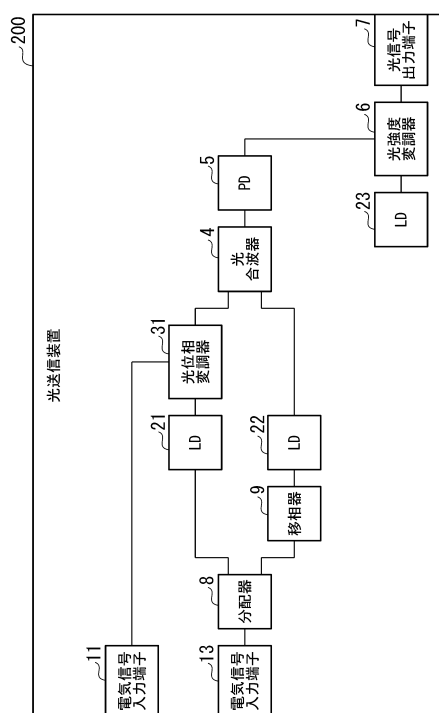
【 図 1 0 】



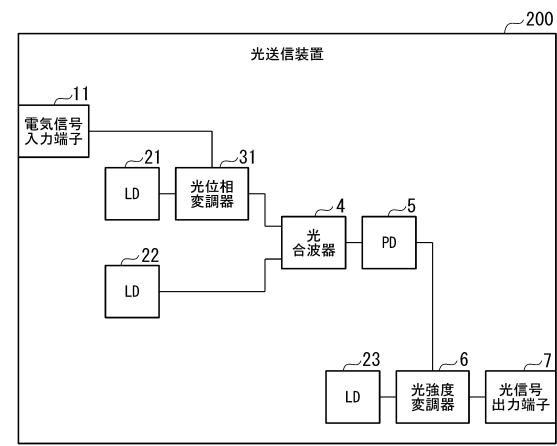
【 図 1 1 】



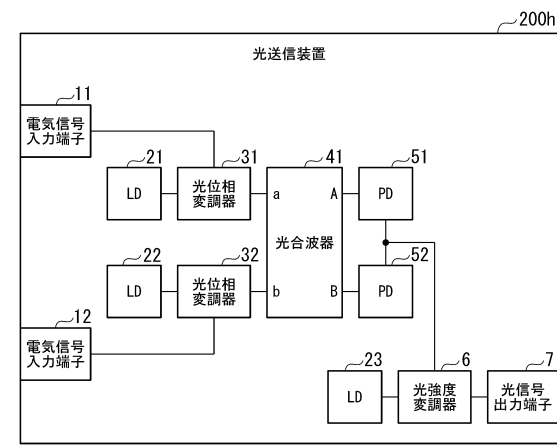
【 図 1 2 】



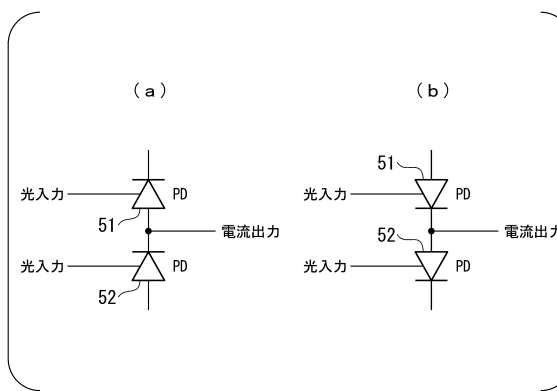
【図 1 3】



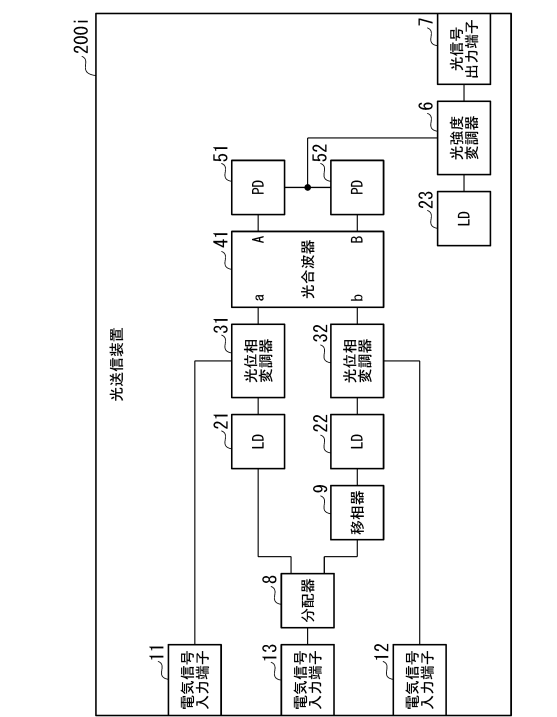
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

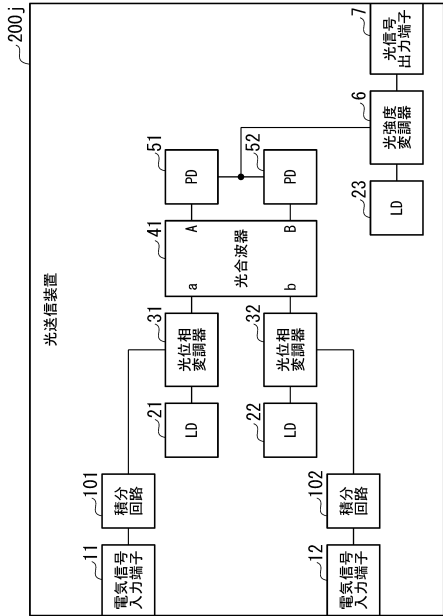
20

30

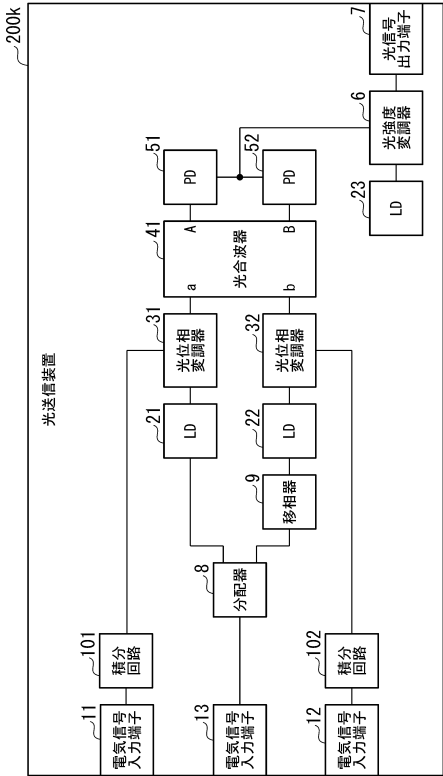
40

50

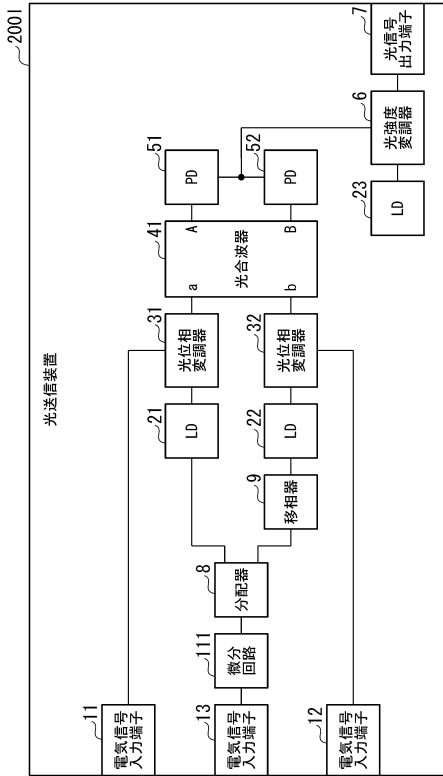
【図 17】



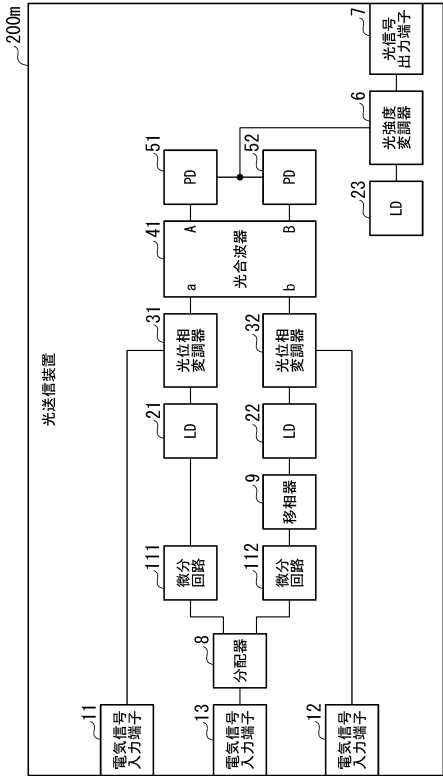
【図 18】



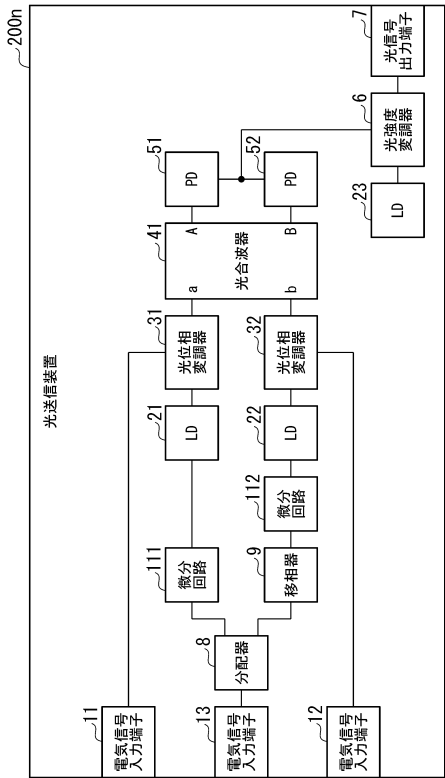
【図 19】



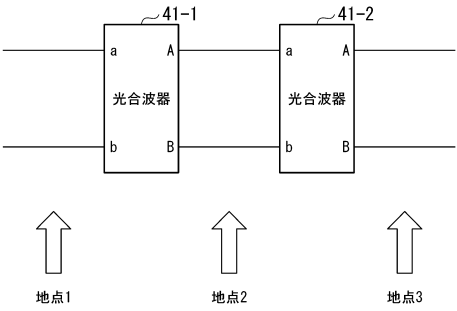
【図 20】



【図 2 1】



【図 2 2】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都千代田区大手町一丁目 5 番 1 号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 吉田 智暁

東京都千代田区大手町一丁目 5 番 1 号 日本電信電話株式会社内

審査官 対馬 英明

(56)参考文献 特開 2 0 0 6 - 0 4 9 9 7 7 (J P , A)

特開平 0 9 - 2 1 4 4 3 6 (J P , A)

特開平 1 0 - 0 1 3 3 5 4 (J P , A)

特開 2 0 0 6 - 2 8 7 4 1 0 (J P , A)

特開平 0 9 - 3 2 6 7 6 9 (J P , A)

特開平 1 0 - 1 2 6 3 3 9 (J P , A)

下羽 利明、他、F M一括変換方式を用いた光映像配信技術、電子情報通信学会技術研究報告、日本、一般社団法人電子情報通信学会、2019年、pages 97-101、CS2019-84、IE2019-64

(58)調査した分野 (Int.Cl.、D B 名)

H 0 4 B 1 0 / 0 0 - 1 0 / 9 0

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