

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年2月6日(06.02.2020)



(10) 国際公開番号
WO 2020/026347 A1

(51) 国際特許分類:
H04B 10/2507 (2013.01) H04B 10/2575 (2013.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/028679

(22) 国際出願日: 2018年7月31日(31.07.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 西岡 隼也 (NISHIOKA, JUNYA); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 原

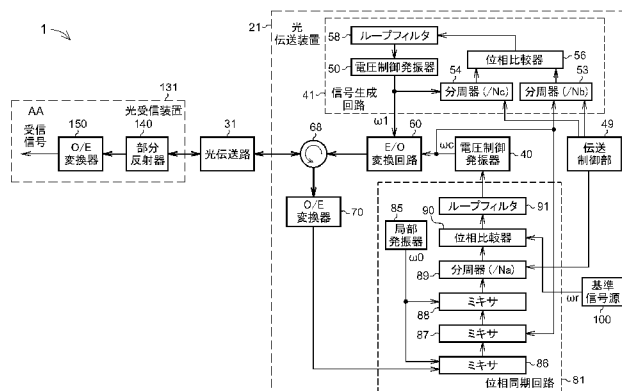
口 英介(HARAGUCHI, Eisuke); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 藤江 彰裕(FUJIE, Akihiro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 安藤 俊行(ANDO, Toshiyuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番4号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

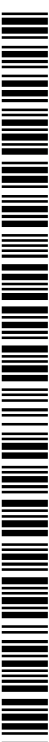
(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION DEVICE AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(54) 発明の名称: 光伝送装置及び光伝送システム



- 21 Optical transmission device
31 Optical transmission path
40, 50 Voltage control oscillator
41 Signal generation circuit
49 Transmission control unit
53 Frequency divider (/Nb)
54 Frequency divider (/Nc)
56, 90 Phase comparator
58, 91 Loop filter
60 E/O conversion circuit
70, 150 O/E converter
81 Phase synchronization circuit
85 Local oscillator
86, 87, 88 Mixer
89 Frequency divider (/Na)
100 Reference signal source
131 Optical reception device
140 Partial reflector
AA Receive signal

(57) Abstract: The optical transmission device (21) is provided with: a control oscillator (40) for outputting a calibration signal having an output frequency corresponding to an oscillation control signal having been input; an electrical/optical conversion circuit (60) for generating an optical transmit signal by superimposing a transmit signal of a high frequency band and the calibration signal on an optical wave; an optical input/output unit (68) for sending out the optical transmit signal to an optical transmission path (31) and receiving a reflected signal constituted by a portion of the optical trans-



WO 2020/026347 A1

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
 DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
 HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
 KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
 MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
 NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
 QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
 SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
 UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

mit signal from an optical reception device; an optical/electrical converter (70) for converting the reflected signal into a high-frequency signal; a phase synchronization circuit (81) for generating the oscillation control signal in such a manner that the high-frequency output of the optical/electrical converter (70) is phase-synchronized with a reference signal input from a reference signal source (100); and a signal generation circuit (41) for generating a high-frequency signal, phase-synchronized with the calibration signal, as the transmit signal.

(57) 要約 : 光伝送装置 (21) は、入力された発振制御信号に応じた出力周波数を有する較正信号を出力する制御発振器 (40) と、高周波帯の送信信号及び前記較正信号を光波に重畳することにより光送信信号を生成する電光変換回路 (60) と、前記光送信信号を光伝送路 (31) に送出し、光受信装置から前記光送信信号の一部である反射信号を受信する光入出力部 (68) と、前記反射信号を高周波信号に変換する光電変換器 (70) と、光電変換器 (70) の高周波出力を基準信号源 (100) から入力された基準信号と位相同期させるように前記発振制御信号を生成する位相同期回路 (81) と、前記較正信号と位相同期した高周波信号を前記送信信号として生成する信号生成回路 (41) とを備える。

明 細 書

発明の名称：光伝送装置及び光伝送システム

技術分野

[0001] 本発明は、マイクロ波帯などの高周波帯の信号を光信号に変換し、当該光信号を光ファイバなどの光伝送路を通じて伝送する信号伝送技術に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、マイクロ波帯などの高周波帯の高周波信号を光信号に変換し、当該光信号を光ファイバなどの光伝送路を通じて伝送する信号伝送技術の研究開発が行われている。RoF (Radio-over-Fiber) と呼ばれる信号伝送技術では、光伝送装置は、高周波帯の信号を光信号に変換し、当該光信号を光受信装置に向けて光ファイバに送出する。光受信装置は、その光伝送装置から受信された光信号を検波して受信信号（高周波信号）を生成することができる。

[0003] そのような信号伝送技術では、光伝送路の特性が劣化すると、受信信号の位相が変動することにより受信信号品質が劣化するという課題がある。たとえば、RoFシステムの光ファイバ中を光波が伝搬する場合に、その光ファイバの周辺温度の変動に伴う光伝搬媒質（光ファイバコア）の伸縮が光路長の変動を生じさせることがある。このような光路長の変動は、受信信号の位相を変動させる要因となる。受信信号の位相を安定化させるためには、光路長の変動を補償することが必要である。

[0004] RoFシステムの光路長の変動を補償するために、たとえば、下記の非特許文献1に開示されている技術が利用可能である。この技術は、光ファイバを往復伝搬した光波の位相誤差を検出する位相検出器 (phase detector) と、当該検出された位相誤差を打ち消すように光ファイバの実長を調整するファイバ・ストレッチャ (fiber stretcher) とを使用して光波の位相変動を抑制している。

[0005] しかしながら、非特許文献1に開示されている技術では、光ファイバの光路長の変動量に対する調整可能範囲は、ファイバ・ストレッチャによる光ファイバの可変長範囲に制限され、ミリメートルのオーダーである。たとえば、光ファイバの遅延時間の温度変動係数を、標準的な光ファイバの参考値 100 ps/km/K と仮定した場合、伝送路長 1 km 及び温度変動 1 K の条件下での調整可能範囲は 33 mm に相当する。このファイバ・ストレッチャの調整可能範囲では、上述の光路長の変動を十分に補償することができるとは限らない。

[0006] 特許文献1（特開2014-216804号公報）は、ファイバ・ストレッチャを使用せずに、光ファイバの光路長の変動を補償することができるRofシステムを開示している。このRofシステムでは、光伝送装置（送信元）は、パルス変調信号または周波数チャープ信号などの変調信号である中間周波数（IF）信号を第1の光信号にE/O変換し、連続（CW）波である局部発振（LO）信号を伝送用LO信号と位相比較用LO信号とに分岐させ、伝送用LO信号を第2の光信号にE/O変換する。光伝送装置は、それら第1の光信号と第2の光信号とを2本の光ファイバにそれぞれ送出し、あるいは、第1の光信号と第2の光信号とを合波して1本の光ファイバに送出する。光受信装置（送信先）は、光伝送装置から受信された第1の光信号を受信IF信号にO/E変換し、光伝送装置から受信された第2の光信号の一部を反射させて光伝送装置に戻すと同時に、その第2の光信号の残部を受信LO信号にO/E変換する。光受信装置は、受信LO信号と受信IF信号とを混合することにより受信IF信号を周波数変換して受信信号を得る。

[0007] 特許文献1に開示されている光伝送装置は、光受信装置から戻ってきた第2の光信号の一部を用いて光ファイバの光路長変動を補償することができる構成を有する。すなわち、光伝送装置は、光受信装置から戻ってきた第2の光信号の一部を高周波信号（以下「往復LO信号」という。）に変換するO/E変換手段と、当該往復LO信号と前記位相比較用LO信号とを混合することにより当該往復LO信号を2週倍するマイクロ波ミキサと、マイクロ波

ミキサの出力信号を分周する分周手段と、分周手段の出力信号と基準信号との間の位相誤差を検出する位相比較手段と、当該検出された位相誤差を示す誤差信号の帯域を制限して制御電圧を生成するループフィルタと、その制御電圧に応じた周波数及び位相を有する発振信号を前記LO信号として出力する電圧制御発振器 (Voltage-Controlled Oscillator, VCO) とを有する。このように光伝送装置は、往復LO信号の位相を基準信号の位相と同期させる位相同期回路を有しているので、光受信装置において、光ファイバの光路長変動に起因する受信LO信号の位相変動を抑制することが可能となる。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開2014-216804号公報（たとえば、図1，2及び段落[0022]～[0028]参照）

非特許文献

- [0009] 非特許文献1：M. Musha, Y. Sato, K. Nakagawa, K. Ueda, A. Ueda, and M. Ishiguro, "Robust and precise length correction of 25-km fiber for distribution of local oscillator," 2005 Digest of LEOS Summer Topical meetings, TuB4.4, pp. 123-124, 2005.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] 特許文献1に開示されている構成では、光受信装置（送信先）における受信LO信号の位相変動を抑制することはできるが、受信IF信号の位相変動を抑制することが難しい。このため、光ファイバでの光伝送距離が長くなるほど、あるいは、環境変動幅が大きくなるほど、受信IF信号の位相変動量が大きくなり、受信信号の品質を劣化させるという課題がある。
- [0011] 上記に鑑みて本発明の目的は、マイクロ波帯などの高周波帯の信号を光信号に変換して当該光信号を光伝送路を通じて伝送する場合に、ファイバ・ス

トレッチャなどの光路長調整部材を使用せずに、当該光伝送路の光路長の変動を高精度に補償することができる光伝送装置及び光伝送システムを提供する点にある。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明の一態様による光伝送装置は、光周波数帯よりも低い高周波帯の伝送信号を前記光周波数帯の光伝送信号に変換し、当該光伝送信号を光受信装置に向けて光伝送路に送出する光伝送装置であって、入力された発振制御信号に応じた出力周波数を有する較正信号を出力する制御発振器と、前記伝送信号及び前記較正信号を光波に重畳することにより前記光伝送信号を生成する電光変換回路と、前記光伝送信号を前記光伝送路に送出し、前記光伝送路から前記光伝送信号の一部である反射信号を受信する光入出力部と、前記反射信号を高周波信号に変換する光電変換器と、前記較正信号を用いて前記光電変換器の出力の周波数をシフトさせて周波数変換信号を生成し、当該周波数変換信号を基準信号源から入力された基準信号と位相同期させるように前記発振制御信号を生成する位相同期回路と、前記較正信号と位相同期した高周波信号を前記伝送信号の全部または一部として生成する信号生成回路とを備える。

発明の効果

[0013] 本発明の一態様によれば、ファイバ・ストレッチャなどの光路長調整部材を使用せずに光伝送路の光路長の変動を高精度に補償することができるという効果が得られる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明に係る実施の形態1の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

[図2]光受信装置の部分反射器の第1の構成例を示す図である。

[図3]光受信装置の部分反射器の第2の構成例を示す図である。

[図4]光受信装置の部分反射器の第3の構成例を示す図である。

[図5]光受信装置の部分反射器の第4の構成例を示す図である。

[図6]実施の形態1における光伝送装置の電光変換器の第1の構成例を示す図である。

[図7]実施の形態1における光伝送装置の電光変換器の第2の構成例を示す図である。

[図8]本発明に係る実施の形態2の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

[図9]本発明に係る実施の形態3の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

[図10]本発明に係る実施の形態4の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

[図11]本発明に係る実施の形態5の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

[図12]本発明に係る実施の形態6の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

[図13]本発明に係る実施の形態7の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

[図14]本発明に係る実施の形態8の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

[図15]本発明に係る実施の形態9の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

[図16]本発明に係る実施の形態10の光伝送システムの概略構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、図面を参照しつつ、本発明に係る種々の実施の形態について詳細に説明する。なお、図面全体において同一符号を付された構成要素は、同一構成及び同一機能を有するものとする。

[0016] 実施の形態1.

図1は、本発明に係る実施の形態1の光伝送システム1の概略構成を示す

ブロック図である。図1に示されるように、光伝送システム1は、光周波数帯よりも低い高周波帯（たとえば、マイクロ波帯）の伝送信号を光周波数帯の光伝送信号に変換し、当該光伝送信号を光受信装置131に向けて光伝送路31に送出する光伝送装置21と、光ファイバなどの光伝送路31と、光伝送装置21から光伝送路31を介して伝送された光信号を受信する光受信装置131とを備えて構成されている。

[0017] 光伝送装置21は、図1に示されるように、入力された発振制御信号に応じた出力周波数 ω_c （角周波数）を有する較正信号を出力する電圧制御発振器（Voltage-controlled oscillator, VCO）40と、高周波帯の伝送信号及び較正信号を光波に重畳することにより光伝送信号を生成する電光変換回路（E/O変換回路）60と、光伝送信号を光伝送路31に送出した後当該光伝送路31から光伝送信号の一部である反射信号を受信する光入出力部として機能する光サーキュレータ68と、当該反射信号を位相同期回路81へのフィードバック信号に変換する光電変換器（O/E変換器）70と、高周波帯の基準信号を供給する基準信号源100と、電圧制御発振器40から供給された較正信号を用いて光電変換器70の出力の周波数をシフトさせて周波数変換信号を生成し、当該周波数変換信号を基準信号と位相同期させるように発振制御信号を生成する位相同期回路81と、電圧制御発振器40から供給された較正信号と位相同期した高周波信号を伝送信号として生成する信号生成回路41と、信号生成回路41及び位相同期回路81の動作を制御する伝送制御部49とを備える。

[0018] 光サーキュレータ68は、光非相反素子の一種である。すなわち、光サーキュレータ68は、電光変換回路60から出力された光伝送信号を光伝送路31に送出するが、当該光伝送信号を光電変換器70に出力しない。また、光サーキュレータ68は、光受信装置131で反射された反射信号（往復信号）を光伝送路31から受信すると、当該反射信号を光電変換器70に出力するが、当該反射信号を電光変換回路60に出力しない。光サーキュレータ68に代えて、他の種類の光非相反素子が使用されてもよい。

- [0019] 光受信装置 131 は、光伝送路 31 から入力された光伝送信号の一部を反射させる部分反射器 140 と、部分反射器 140 を透過した光信号を電気信号すなわち受信信号に変換する光電変換器（O/E 変換器）150 とを含んで構成される。
- [0020] 位相同期回路 81 は、電圧制御発振器 40 から供給された較正信号を用いた周波数変換（自己周波数オフセット）を実行して周波数変換信号を生成する周波数変換回路と、当該周波数変換信号を基準信号と位相同期させるように発振制御信号を生成する制御信号生成回路とを含んでいる。具体的には、図 1 に示されるように、位相同期回路 81 の周波数変換回路は、周波数（角周波数） ω_0 を有する局部発振信号を出力する局部発振器 85 と、局部発振信号を用いて光電変換器 70 の出力周波数 ω_c を周波数 ω_0 だけ低周波数側にシフトさせるダウンコンバータとして機能するミキサ 86 と、較正信号を用いてミキサ 86 の出力周波数を周波数 ω_c だけ高周波数側にシフトさせるアップコンバータとして機能するミキサ 87 と、局部発振信号を用いてミキサ 87 の出力周波数を周波数 ω_0 だけ低周波数側にシフトさせるダウンコンバータとして機能するミキサ 88 とで構成される。
- [0021] また、位相同期回路 81 は、伝送制御部 49 から入力された分周制御信号に応じて可変に定められる分周数 N_a でミキサ 88 の出力（周波数変換信号）を分周する分周器 89 と、分周器 89 の出力と基準信号との間の位相差を検出する位相比較器 90 と、当該検出された位相差を示す誤差信号に基づいて、電圧制御発振器 40 に供給されるべき発振制御信号を生成するループフィルタ 91 とを有する。位相比較器 90 とループフィルタ 91 とによって制御信号生成回路が構成される。
- [0022] なお、位相同期回路 81 において、図 1 では、周波数変換をミキサ 86 ~ 88 の 3 段構成で実現されているが、段数は 3 段に限定されるものではない。何段の構成としてもよく、この場合の各ミキサの周波数変換は、用途（補正したい位相量）に応じてアップコンバージョン（高周波数側に入力周波数をシフトさせる周波数変換）あるいはダウンコンバージョン（低周波数側に

入力周波数をシフトさせる周波数変換)のいずれでもよい。また、位相同期回路81において、図1では周波数変換において局部発振器85を用いた周波数変換が実行されているが、このような周波数変換が実行されない形態もありうる。さらに、位相同期回路81において、図1では分周器89により位相及び周波数の比較前にフィードバック信号の分周が実行されている。このときの分周数 N_a を1として分周なしとしてもよい。

[0023] 次に、信号生成回路41は、たとえば、図1に示すように、伝送制御部49から入力された制御信号に応じた可変周波数を有し、かつ較正信号と位相同期した高周波信号を伝送信号として出力するプログラマブルPLL (Phase Locked Loop) 回路からなる。より具体的には、図1に示されるように、信号生成回路41は、入力された制御電圧に応じた発振周波数を有する高周波信号を伝送信号として出力する電圧制御発振器 (PLL発振源) 50と、当該制御信号に応じて可変に定められる分周数 (第1の可変分周数) N_b で較正信号を分周する分周器53 (第1の分周器) と、当該制御信号に応じて可変に定められる分周数 (第2の可変分周数) N_c で電圧制御発振器50の出力を分周する分周器54 (第2の分周器) と、分周器53, 54の出力間の位相差を検出する位相比較器56と、位相比較器56の出力に基づいて、電圧制御発振器50に供給されるべき制御電圧を生成するループフィルタ58とを含んで構成されている。ここで、分周数 N_c , N_b の一方または双方を1として分周なしとしてもよい。

[0024] 部分反射器140は、光伝送信号に重畳された高周波信号 (たとえば、変調信号) のエネルギーの一部を光信号として反射できる構成を有していればよい。部分反射器140は、たとえば、光反射器により構成可能である。

[0025] 図2は、部分反射器140の構成例を示す図である。図2に示される部分反射器140は、光伝送路31から入力された光伝送信号から、光電変換器150に出力されるべき光波と、光反射器142に出力されるべき光波とを分離する光カップラ141と、光カップラ141から入力された光波を反射させる光反射器142とで構成することができる。光カップラ141は、光反射器

142で反射された光波を光伝送路31に結合する。

[0026] 図3～図5は、部分反射器140の他の構成例を示す図である。図3に示される部分反射器140Aは、光カップラ141と、光伝送路31から入力された光伝送信号を光カップラ141に出力する光サーキュレータ143とを有する。光カップラ141は、光サーキュレータ143から入力された光波から、光電変換器150に出力されるべき光波と、光サーキュレータ143にフィードバックさせるべき光波とを分離する。光サーキュレータ143は、光カップラ141からフィードバックされた光波を光伝送路31に結合する。図4に示される部分反射器140Bは、部分反射器140Aの構成に加えて、さらに光電変換器144及び電光変換器145を有するものである。光電変換器144は、光カップラ141からフィードバックされた光波を電気信号に変換し、当該電気信号を電光変換器145に出力する。電光変換器145は、当該電気信号を光信号に変換し、当該光信号を光サーキュレータ143に出力する。また、図5に示される部分反射器140Cの構成は、図4に示した光サーキュレータ143に代えて波長分割多重 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) カップラ146を有する点を除いて、図4に示した部分反射器140Bの構成と同じである。WDMカップラ146は、光サーキュレータ143から入力された多重波長を有する光波のうち波長 λ_1 の成分を光カップラ141に出力し、電光変換器145から入力された光波のうち波長 λ_2 の成分を光伝送路31に出力する。WDMカップラ146として、高密度波長分割多重 (DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing) カップラが使用されてもよい。

[0027] 図6は、電光変換回路60の構成例を示す図である。電光変換回路60は、図6に示されるように、信号生成回路41から入力された伝送信号を光信号に変換する電光変換器 (第1の電光変換器) 62と、電圧制御発振器40から入力された較正信号を光信号に変換する電光変換器 (第2の電光変換器) 63と、それら光信号を合波して光伝送信号を生成する光カップラ65とを

含んで構成されている。また、図6に示した構成例に代えて、図7に示される構成例を使用してもよい。図7に示される電光変換回路60Aは、信号生成回路41から入力された伝送信号と電圧制御発振器40から入力された較正信号とを合波する合波器66と、合波器66の出力を光伝送信号に変換する電光変換器64とを含んで構成されている。

[0028] また、部分反射器140、140A~140C及び電光変換回路60、60Aに含まれる電光変換器144、145、62、63、64としては、レーザ光源の注入電流を変調する直接変調方式の電光変換器が使用されてもよいし、あるいは、レーザ光源の出力光を、マッハツェンダー型変調器 (Mach-Zehnder Modulator) または電界吸収型光変調器などの変調器で変調する外部変調方式の電光変換器が使用されてもよい。また、複数の電光変換器が集積された集積型波長可変レーザアセンブリ (Integrated Tunable Laser Assembly) が使用されてもよい。

[0029] 光電変換器150、70、144は、たとえば、それぞれフォトダイオードにより構成可能である。

[0030] 次に、本実施の形態の光伝送システム1の動作について説明する。以下、マイクロ波が使用されるものとする。まず、マイクロ波の位相 ϕ と角周波数 ω の間には一般に次の関係式(1)がある。

$$\omega = \frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$
$$\Delta\phi = \int \omega dt$$

[0031] したがって、角周波数 ω の制御により位相変動 $\Delta\phi$ が制御可能である。以下、光ファイバなどの光伝送路31の実長変動以外、光伝送路31は位相安定(すなわち、理想的に瞬時位相変動なし)と仮定して動作説明を行う。また、以下「角周波数」を単に「周波数」と呼ぶことがある。

[0032] 電圧制御発振器40の出力(較正信号)の瞬時周波数を次式(2)のとおりに定義する。

$$\omega c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} \quad (2)$$

ここで、 ωc は、電圧制御発振器40の発振周波数であり、 $\Delta\phi_{c0}$ は、電圧制御発振器40の、位相同期時における出力瞬時周波数の制御位相成分及び位相雑音成分であり、 Δt は微小時間区間である。

[0033] 電圧制御発振器40の出力信号（周波数 ωc ）は、電光変換回路60により光信号に変換され、光サーキュレータ68及び光伝送路31を介して部分反射器140まで伝送される。その後、部分反射器140で反射された光信号は、再度、光伝送路31及び光サーキュレータ68を介して光電変換器70に伝搬し、光電変換器70により電気信号（フィードバック信号）に変換される。ここで、光伝送路31の実長変動による瞬時位相変動を $\Delta\phi_{*F}$ と定義する。瞬時位相変動 $\Delta\phi_{*F}$ は、光信号に重畳する周波数により異なる値である。このとき、光電変換器70により得られた電気信号の瞬時周波数は、光伝送路31の周波数 ωc に対する位相変動成分 $\Delta\phi_{\omega c F}$ の往復分を受けて次式（3）に示す瞬時周波数成分に変化する。

$$\omega c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} + 2\frac{\Delta\phi_{\omega c F}}{\Delta t} \quad (3)$$

ここで、 $\Delta\phi_{\omega c F}$ に係る係数「2」は、光信号の往復分を表す。

[0034] 次に、図1に示される位相同期回路81の構成について、局部発振器85の出力信号（局部発振信号）の瞬時周波数を次式（4）で定義する。

$$\omega 0 + \frac{\Delta\phi_{00}}{\Delta t} \quad (4)$$

ここで、 $\omega 0$ は局部発振器85の周波数、 $\Delta\phi_{00}$ は局部発振器85の位相雑音成分である。

[0035] ミキサ86は、光電変換器70の出力の瞬時周波数を局部発振信号の瞬時周波数だけ低周波数側にシフトさせてダウンコンバージョン成分を生成する。ミキサ86により得られたダウンコンバージョン成分の瞬時周波数は次式（5）となる（ $\omega c > \omega 0$ と仮定する。）。

$$\omega_c - \omega_0 + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} + 2 \frac{\Delta\phi_{\omega c F}}{\Delta t} - \frac{\Delta\phi_{00}}{\Delta t} \quad (5)$$

[0036] さらに、ミキサ87は、ミキサ86の出力の瞬時周波数を較正信号の瞬時周波数だけ高周波数側にシフトさせてアップコンバージョン成分を生成する。ミキサ87において、電圧制御発振器40の出力信号（較正信号）を用いた周波数変換（自己周波数オフセット）により得られたアップコンバージョン成分は次式（6）となる。

$$2\omega_c - \omega_0 + 2 \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} + 2 \frac{\Delta\phi_{\omega c F}}{\Delta t} - \frac{\Delta\phi_{00}}{\Delta t} \quad (6)$$

[0037] さらに、ミキサ88は、ミキサ87の出力の瞬時周波数を局部発振信号の瞬時周波数だけ高周波数側にシフトさせてアップコンバージョン成分を生成する。ミキサ88において、局部発振器85の出力信号を用いた周波数変換により得られたアップコンバージョン成分は次式（7）となる。

$$2\omega_c + 2 \left(\frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} + \frac{\Delta\phi_{\omega c F}}{\Delta t} \right) \quad (7)$$

[0038] 分周器89は、ミキサ88の出力信号をNa分周して（分周数Naで分周して）、次式（8）に示される瞬時周波数成分を生成する。

$$\frac{2}{Na} \left(\omega_c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} + \frac{\Delta\phi_{\omega c F}}{\Delta t} \right) \quad (8)$$

[0039] 基準信号源100により発生される基準信号の瞬時周波数を次式（9）と定義する。

$$\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \quad (9)$$

ここで、 ω_r 、 $\Delta\phi_{r0}$ はそれぞれ、基準信号源100により発生される基準信号の周波数及び位相雑音成分である。

[0040] 位相比較器90は、分周器89の出力信号と基準信号源100の出力信号との位相及び周波数を比較し、その比較結果を示す誤差信号を出力する。ループフィルタ91は、誤差信号を積分して電圧制御発振器40のための制御信号を生成することで位相同期を確立することができる。このとき、式（8

) と (9) の位相及び周波数が比較され、次式 (10) が成立するように位相同期がなされる。

$$\frac{2}{Na} \left(\omega_c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} + \frac{\Delta\phi_{\omega cr}}{\Delta t} \right) = \omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \quad (10)$$

$$\omega_c = \frac{Na}{2} \omega_r, \quad \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} = \frac{Na}{2} \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} - \frac{\Delta\phi_{\omega cr}}{\Delta t}$$

[0041] 次に、信号生成回路 41 は、電圧制御発振器 40 の出力信号を基準信号として動作する。信号生成回路 41 の構成が図 1 に示す構成である場合、電圧制御発振器 40 の出力信号は分周器 53 により分周される。このとき分周器 53 の分周数を Nb とすると、分周器 53 の出力信号の瞬時周波数は次式 (11) となる。

$$\frac{1}{Nb} \left(\omega_c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} \right) \quad (11)$$

[0042] 信号生成回路 41 はプログラマブル PLL 回路として動作する。信号生成回路 41 の発振源である電圧制御発振器 (VCO) 50 の出力信号の瞬時周波数を次式 (12) のように定義する。

$$\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t} \quad (12)$$

[0043] VCO 50 の出力信号は、信号生成回路 41 の構成内でフィードバック信号として分周器 54 に入力される。分周器 54 の分周数を Nc とすると、分周器 54 の出力信号の瞬時周波数は次式 (13) となる。

$$\frac{1}{Nc} \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t} \right) \quad (13)$$

[0044] 位相比較器 56 は、分周器 53 の出力信号と分周器 54 の出力信号との位相及び周波数を比較し、その比較結果を示す誤差信号を出力する。ループフィルタ 58 は、誤差信号を積分して VCO 50 のための制御信号を生成することで信号生成回路 41 の位相同期を確立することができる。このとき、式 (11) と (13) の間で位相及び周波数が比較され、次式 (14) が成立するように位相同期がなされる。

$$\frac{1}{Nb} \left(\omega c + \frac{\Delta \phi_{c0}}{\Delta t} \right) = \frac{1}{Nc} \left(\omega 1 + \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t} \right) \quad (14)$$

$$\omega 1 = \frac{Nc}{Nb} \omega c = \frac{Na \times Nc}{2Nb} \omega r, \quad \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t} = \frac{Nc}{Nb} \frac{\Delta \phi_{c0}}{\Delta t} = \frac{Nc}{Nb} \left(\frac{Na}{2} \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} - \frac{\Delta \phi_{\omega c F}}{\Delta t} \right)$$

[0045] 信号生成回路41から出力された伝送信号は、電光変換回路60により光信号に変換され、電圧制御発振器40の発振周波数を有する較正信号とともに光信号に重畳され、光伝送路31を介して部分反射器140まで伝送される。部分反射器140を透過した光信号は光電変換器150にて電気信号（受信信号）に変換される。このとき、光電変換器150の出力信号のうち、信号生成回路41の出力信号の瞬時周波数 $\omega 1 + \Delta \phi_{10} / \Delta t$ の成分は、光伝送路31における周波数 $\omega 1$ に対する位相変動成分 $\Delta \phi_{\omega 1 F}$ を片道分だけ受けて次式（15）に示す瞬時周波数成分に変化する。

$$\omega 1 + \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t} + \frac{\Delta \phi_{\omega 1 F}}{\Delta t} \quad (15)$$

[0046] ここで、光伝送路31における位相変動成分は、温度変動、振動、あるいは光伝送路31を構成する光ファイバに作用する引っ張りなどによる実長変動 ΔL に起因する成分が主であるため、周波数 ωc 、 $\omega 1$ に対する位相変動成分については次式（16）が成立する。

$$\Delta \phi_{\omega c F} = \omega c \frac{n \Delta L}{c}, \quad (16)$$

$$\Delta \phi_{\omega 1 F} = \omega 1 \frac{n \Delta L}{c} = \frac{\omega 1}{\omega c} \Delta \phi_{\omega c F}$$

[0047] さらに、位相同期により式（14）が成立しているため、式（15）は次式（17）に変形できる。

$$\omega 1 + \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t} + \frac{\omega 1 \Delta \phi_{\omega c F}}{\omega c \Delta t}$$

$$= \frac{Na \times Nc}{2Nb} \omega r + \frac{Nc}{Nb} \left(\frac{Na}{2} \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} - \frac{\Delta \phi_{\omega c F}}{\Delta t} \right) + \frac{Nc}{Nb} \frac{\Delta \phi_{\omega c F}}{\Delta t} \quad (17)$$

$$= \frac{Na \times Nc}{2Nb} \left(\omega r + \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} \right)$$

[0048] したがって、光伝送路31の変動成分を除去した伝送信号を伝送すること

ができることが分かる。伝送信号の周波数は、信号生成回路41の分周数 N_b 、 N_c と発振源である電圧制御発振器50の帯域とで決定することができるので、伝送信号の周波数可変かつ広帯域化が実現可能である。

[0049] 以上に説明したとおり、実施の形態1の光伝送システム1では、位相安定かつ広帯域な周波数可変信号を伝送信号として伝送することができる。ファイバ・ストレッチャなどの光路長調整部材を使用せずに光伝送路31の光路長の変動を高精度に補償することが可能である。また、伝送周波数ごとの位相同期回路81の設計変更が不要であり、設計共通化が可能であるという利点もある。

[0050] また、実施の形態1の構成では、伝送元（光伝送装置21）で周波数可変信号を生成することができるため、伝送先（光受信装置131）で可変周波数を実現するための位相同期回路及び周波数変換回路が不要であり、伝送先の回路構成が簡略化し、光受信装置131の省電力化及び小型化が可能という効果がある。

[0051] 実施の形態2.

次に、本発明に係る実施の形態2について説明する。図8は、本発明に係る実施の形態2の光伝送システム2の概略構成を示すブロック図である。本実施の形態の光伝送システム2は、光伝送装置22、光伝送路31及び光受信装置131を備える。実施の形態2の光伝送システム2の構成は、実施の形態1の光伝送システム1の構成において、信号生成回路41の出力信号からパルス信号を生成するパルス生成器69を光伝送装置22に導入した構成である。

[0052] パルス生成器69は、たとえば、RFスイッチで構成可能である。また、たとえば、パルス生成器69の構成は、ミキサを用いて信号生成回路41の出力を矩形信号と掛け合わせる機能によっても実現可能である。実施の形態1の光伝送システム1の動作と同様にして信号生成回路41を発振させると、信号生成回路41の出力信号（発振信号）がパルス生成器69によりパルス化される。電光変換回路60には、パルス生成器69の出力信号（パルス

信号)が重畳された光信号を光伝送信号として生成する。光伝送信号は、光サーキュレータ68と光伝送路31を介して光電変換器150まで伝送される。

[0053] このように実施の形態2では、周波数可変で位相安定なパルス信号の伝送が可能な光伝送システム2が得られる。実施の形態1では、伝送先でパルス信号を生成するためには、伝送先にパルス化手段を必要とし、パルス化タイミング信号の別途の伝送も必要である。これに対し、実施の形態2の光伝送システム2では、伝送元(光伝送装置22)のパルス生成器69でパルス化処理が実行されるため、伝送先の光受信装置131の構成の簡略化及び小型化が可能である。

[0054] 実施の形態3.

次に、本発明に係る実施の形態3について説明する。図9は、本発明に係る実施の形態3の光伝送システム3の概略構成を示すブロック図である。図9に示されるように、この光伝送システム3は、N個の光伝送装置 $23_1 \sim 23_N$ と、光伝送装置 $23_1 \sim 23_N$ にそれぞれ接続された、光ファイバなどの光伝送路 $31_1 \sim 31_N$ と、光伝送路 $31_1 \sim 31_N$ にそれぞれ接続されたN個の光受信装置 $131_1 \sim 131_N$ と、遅延比較器76とで構成されている。ここで、Nは、2以上の整数である。光受信装置 $131_1 \sim 131_N$ の各々の構成は、実施の形態1の光受信装置131の構成と同じである。

[0055] 実施の形態3の光伝送システム3における光伝送装置 $23_1 \sim 23_N$ の各々の構成は、実施の形態2の光伝送システム2における光伝送装置22の構成に加えて、パルス生成器69のパルス化タイミングを指定するトリガ信号を生成するトリガ生成器75と、光電変換器70から出力されたフィードバック信号のパルス化された信号から、伝送信号周波数 ω_1 の成分と較正信号周波数 ω_c の成分とを分離して、較正信号周波数 ω_c の成分を位相同期回路81に入力させる周波数分離器72と、周波数分離器72により分離された伝送信号周波数 ω_1 の成分の振幅を検波する振幅検波器73と、トリガ生成器75から入力されたトリガ信号の立ち上がりと振幅検波器73により検出さ

れたパルス立ち上がりとから当該光伝送路の伝送遅延時間を検出する遅延検出器74とを備えている。本実施の形態の光伝送システム3では、第1から第Nの光伝送装置23₁~23_NがN系統で並列化されている。

[0056] また、光伝送システム3は、第1から第Nの光伝送装置23₁~23_Nの遅延検出器74、…、74により検出された伝送遅延時間を相互に比較し、その結果得られた遅延時間差に基づいて第1から第Nの光伝送装置23₁~23_N内のトリガ生成器75、…、75におけるタイミング（遅延量）を制御する遅延比較器76を備える。

[0057] たとえば、第1の光伝送装置23₁及び第Nの光伝送装置23_Nのトリガ信号を生成するタイミング（トリガタイミング）を、時刻 t_0 に対してそれぞれ、 t_1 、 t_N と定義する。このとき、遅延比較器76は、トリガタイミング t_1 、 t_N を、遅延比較器76による伝送遅延時間の比較結果に基づいて設定できる。今、第1の光伝送装置23₁におけるパルス生成器69からの出力パルス信号が電光変換回路60により光信号に変換され、光電変換器150まで光伝送路31₁を介して、走行時間 T_1 で伝送するとする。このとき、走行時間 T_1 の主要素においては、光伝送路31₁の長さに起因する遅延量として、光伝送路31₁以外の遅延量が無視できると仮定する。光受信装置131₁内の部分反射器140で反射され、光伝送装置23₁の光電変換器70により電気信号に変換された後に、周波数分離器72で分離されるパルス信号の成分は、振幅検波器73で検波される。振幅検波器73で立ち上がりを検波するタイミングは、光伝送路31₁における光信号の往復分を考慮して、 $t_1 + 2T_1$ となる。したがって、遅延検出器74で検出されるトリガタイミング t_1 に対する伝送遅延時間は $2T_1$ となる。また、光受信装置131₁の光電変換器150によりパルス信号成分が出力されるタイミングは $t_1 + T_1$ となる。

[0058] 同様に、第Nの光伝送装置23_Nに対応する光伝送路31_Nの伝送遅延時間を T_N とすると、第Nの光伝送装置23_Nの遅延検出器74で検出される、トリガタイミング t_N に対する伝送遅延時間は $2T_N$ となり、光受信装置131_Nの光電変換器150によりパルス信号成分が出力されるタイミングは $t_N + T$

t_N となる。

[0059] ここで、遅延比較器 76 は、 $t_1 + T_1 = t_N + T_N$ 、となるように、遅延検出器 74、74 により検出された伝送遅延時間 $2T_1$ 、 $2T_N$ に基づいて、 $t_N = t_1 + T_1 - T_N$ と設定すれば、第 1 の光受信装置 131₁ と第 N の光受信装置 131_N における光電変換器 150、150 からそれぞれ出力されるパルス信号を互いに同タイミングとなるように伝送することができる。

[0060] なお、信号の伝送経路の主な遅延要素を光ファイバなどの光伝送路の伝送遅延時間と仮定されたが、これに限定されるものではない。光伝送路以外の電気回路及び光回路による遅延を考慮する場合は、事前に当該電気回路及び光回路の遅延量を測定しておき、その測定遅延量に基づいてトリガタイミング t_n をオフセット補正することで、パルス化のタイミングをより厳密に管理し制御することができる。

[0061] 以上に説明したように実施の形態 3 では、周波数可変で位相安定かつ伝送先での立ち上がりタイミングを制御できるパルス信号の伝送が可能な光伝送システム 3 が得られる。

[0062] また、同一構成の複数の光伝送装置 23₁ ~ 23_N が並列に配置されている場合、伝送先である光受信装置 131₁ ~ 131_N に同一タイミングで位相安定なパルス信号を伝送することが可能である。光ファイバなどの光伝送路 31₁ ~ 31_N が長距離となる場合、光伝送路 31₁ ~ 31_N の製造誤差による遅延量の個体差が生じるが、同一タイミングのパルス信号伝送が可能となる。

[0063] 実施の形態 4.

次に、本発明に係る実施の形態 4 について説明する。図 10 は、本発明に係る実施の形態 4 の光伝送システム 4 の概略構成を示すブロック図である。図 10 に示されるように、光伝送システム 4 は、光伝送装置 24 と光伝送路 31 と光受信装置 131 とを備えて構成されている。

[0064] 実施の形態 4 の光伝送装置 24 の構成は、実施の形態 1 の光伝送装置 22 の構成に加えて、電圧制御発振器 40 の出力信号をクロック信号（動作クロック）として動作するダイレクト・デジタル・シンセサイザ（DDS）45

と、このDDS45の、振幅、位相及び変調方式などに関する動作状態を設定する制御信号を供給する伝送制御部49Aと、信号生成回路41の出力信号とDDS45の出力信号とを周波数混合するミキサ（周波数混合器）110とを備えている。電光変換回路60は、信号生成回路41からの出力信号に代わって、ミキサ110から出力される、信号生成回路41の出力信号とDDS45の出力信号との周波数混合成分が入力される。伝送制御部49Aは、実施の形態1の伝送制御部49の制御機能と同じ制御機能をも有する。

[0065] 電圧制御発振器40の発振動作は、実施の形態1の光伝送システム1の場合と同様である。DDS45の出力信号の瞬時周波数を次式(18)のように定義する。

$$\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t} \quad (18)$$

[0066] ここで、 ω_2 は、DDS45の出力信号の中心周波数であり、 $\Delta\phi_{20}$ はDDS45の位相雑音成分である。DDS45の出力信号の位相雑音は、DDS45の出力信号の中心周波数とクロック信号の中心周波数との比率を、当該クロック信号の位相雑音に乘算した値となるため、DDS45の出力信号の中心周波数とクロック信号の中心周波数との比率 ω_2/ω_c をDと定義するとき($D = \omega_2/\omega_c$)、式(18)は、次式(19)のように表される。

$$D \times \omega_c + D \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} = \frac{Na \times D}{2} \omega_r + D \left(\frac{Na \Delta\phi_{r0}}{2 \Delta t} - \frac{\Delta\phi_{\omega_c t}}{\Delta t} \right) \quad (19)$$

[0067] 次に、ミキサ110は、信号生成回路41の出力信号とDDS45の出力信号とを混合することで、たとえば次式(20)で示される瞬時周波数を有するアップコンバートされた成分を出力する。

$$\left(\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t} \right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t} \right) \quad (20)$$

[0068] 式(20)で表される瞬時周波数の出力信号が電光変換回路60により光信号に変換され、光受信装置131の光電変換器150まで伝送されたとき、光電変換器150は、光伝送路31の周波数 $\omega_1 + \omega_2$ に対する位相変動成

分 $\Delta \phi_{(\omega_1+\omega_2)F}$ の位相変動を受けて次式 (21) の瞬時周波数を有する信号を出力する。

$$\left(\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t}\right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t}\right) + \frac{\Delta\phi_{(\omega_1+\omega_2)F}}{\Delta t} \quad (21)$$

[0069] ここで、光伝送路 31 の位相変動成分は、温度変動、振動、あるいは光ファイバの引っ張りなどにより実長変動 ΔL に起因する成分を主とするため、周波数 ω_c 、 ω_1 に対する位相変動成分については次式 (22) が成立する。

$$\Delta\phi_{(\omega_1+\omega_2)F} = (\omega_1 + \omega_2) \frac{n\Delta L}{c} = \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{\omega_c} \omega_c \frac{n\Delta L}{c} = \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{\omega_c} \Delta\phi_{\omega_c F} \quad (22)$$

[0070] 式 (21) は次式 (23) のように変形できる。

$$\begin{aligned} & \left(\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t}\right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t}\right) + \frac{(\omega_1 + \omega_2) \Delta\phi_{\omega_c F}}{\omega_c \Delta t} \\ &= \left(\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t} + D \frac{\Delta\phi_{\omega_c F}}{\Delta t}\right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t} + \frac{\omega_1 \Delta\phi_{\omega_c F}}{\omega_c \Delta t}\right) \quad (23) \\ &= \left\{ \frac{Na \times D}{2} \omega_r + D \left(\frac{Na \Delta\phi_{r0}}{2 \Delta t} - \frac{\Delta\phi_{\omega_c F}}{\Delta t} \right) + D \frac{\Delta\phi_{\omega_c F}}{\Delta t} \right\} + \frac{Na \times Nc}{2Nb} \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \\ &= \frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \end{aligned}$$

[0071] したがって、本実施の形態の光伝送システム 4 は、基準信号源 100 により発生した基準信号の周波数と位相雑音に基づいた位相安定な信号を伝送することが可能である。

[0072] 以上に説明したように実施の形態 4 では、DDS 45 の出力周波数は動作クロックの分解能で設定可能なので、周波数可変な伝送信号の周波数の微調整が可能となるので、信号生成回路 41 のみを使う場合に比べて、周波数の選択性が広がる。また、DDS 45 は、位相同期されず、オフセット位相が設定可能であるため、複数の光伝送システム 4 を用いる場合には、光伝送システム 4 ごとに個別に位相設定が可能である。

[0073] したがって、DDS 45 の出力振幅に変調をかけることでパルス化を実現すること、並びに、位相または周波数がチャープされるチャープ信号などの

変調信号の位相安定化伝送が可能である。よって、本実施の形態の光伝送システム4を高度な変調信号を用いたアプリケーションに適用できるという効果がある。

[0074] 実施の形態5.

次に、本発明に係る実施の形態5について説明する。図11は、本発明に係る実施の形態5の光伝送システム5の概略構成を示すブロック図である。図11に示されるように、光伝送システム5は、光伝送装置25、2系統の光伝送路（第1及び第2の光伝送路）31、32、データ伝送路34及び光受信装置133を備えて構成されている。実施の形態5の光伝送システム5の構成は、実施の形態4の光伝送システム4と比べると、光受信装置133、光伝送路32、データ伝送路34、データ受信部102、通倍器101、電光変換器115、ミキサ112、信号生成回路42、DDS46及び伝送制御部49Bを有する点で相違する。光受信装置133における光電変換器150から出力される信号は、実施の形態4における光電変換器150から出力される信号と同様である。信号生成回路42の構成は、信号生成回路41のそれと同じである。

[0075] 実施の形態5の光伝送装置25は、実施の形態4の光伝送装置24の構成と比べて、さらに、基準信号源100により発生した基準信号と位相同期するプログラマブルPLL回路である信号生成回路42と、基準信号源100により発生した基準信号を通倍する通倍器101と、通倍器101の出力信号をクロック信号（動作クロック）として動作するダイレクト・デジタル・シンセサイザ（DDS）46と、信号生成回路42の出力信号とDDS46の出力信号とを周波数混合するミキサ112と、ミキサ112の出力を光信号に変換する電光変換器115と、電光変換器115から出力された光信号を伝送する光ファイバなどの光伝送路32とを備える。伝送制御部49Bは、DDS46の、振幅、位相及び変調方式などに関する動作状態を設定する制御信号を供給する制御機能を有し、実施の形態4の伝送制御部49Aの制御機能と同じ制御機能をも有する。一方、光受信装置133は、光伝送路3

2から伝送された光信号を電気信号に変換する光電変換器160と、光電変換器160から出力された信号を増幅する増幅器161と、増幅器161からの出力信号を分配する分配器162と、光電変換器150と分配器162の出力信号の位相差を検出する位相検波器151と、位相検波器151で検出された位相差を示す位相差データを送信するデータ送信部152と、その位相差データを伝送するデータ伝送路34と、データ伝送路34により伝送された位相差データを受信するデータ受信部102とを有する。

[0076] データ送信部152及びデータ受信部102は、たとえば、デジタル光トランシーバ(SFP+光トランシーバ)により構成できる。この場合、データ伝送路34は、光ファイバにより構成される。なお、データ送信部152、データ受信部102及びデータ伝送路34は、有線通信伝送路あるいは無線通信伝送路のいずれでもよく、光信号通信伝送路あるいは無線信号通信伝送路のどちらでもよい。

[0077] 光受信装置133において、光電変換器150から出力される信号の瞬時周波数は実施の形態4と同様に式(23)で表される。

[0078] 一方、伝送制御部49Bは、信号生成回路42の出力信号周波数とDDS46の出力信号周波数をそれぞれ、信号生成回路41の出力信号周波数 ω_1 とDDS45の出力信号周波数 ω_2 と同じになるように設定する。このとき、ミキサ112により周波数変換された信号の瞬時周波数は、基準信号源100により発生された基準信号に同期した形となり、次式(24)で表される。

$$(\omega_1 + \omega_2) + \frac{\Delta\eta}{\Delta t} = K \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (24)$$

[0079] ミキサ112の出力信号は、電光変換器115により光信号に変換され、光伝送路32の周波数 $\omega_1 + \omega_2$ に対する位相変動成分 $\Delta\eta_{(\omega_1 + \omega_2)F}$ の位相変動を受ける。このとき、光受信装置133の光電変換器160により出力される電気信号は、次式(25)の瞬時周波数を有するように出力される。

$$(\omega_1 + \omega_2) + \frac{\Delta\eta}{\Delta t} + \frac{\Delta\eta_{(\omega_1 + \omega_2)F}}{\Delta t} = K \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta\eta_{(\omega_1 + \omega_2)F}}{\Delta t} \quad (25)$$

[0080] 次に、光電変換器 160 から出力された信号は、増幅器 161 により増幅され、分配器 162 により分配されて位相検波器 151 に入力される。増幅器 161 の位相変動成分を $\Delta\theta$ と定義すると、位相検波器 151 に入力される信号の瞬時周波数は、次式 (26) で表される。

$$(\omega_1 + \omega_2) + \frac{\Delta\eta}{\Delta t} + \frac{\Delta\eta(\omega_1 + \omega_2)F}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = K \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta\eta(\omega_1 + \omega_2)F}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (26)$$

[0081] したがって、位相検波器 151 で検波される位相は、式 (23) , (26) の差分であり、次式 (27) となる。

$$K \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta\eta(\omega_1 + \omega_2)F}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} - \frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (27)$$

[0082] ここで、信号生成回路 41 , 42 の周波数が一致しており、DDS 45 , 46 の周波数が一致していることから、次式 (28) が成り立つ。

$$K \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) = \frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (28)$$

[0083] ゆえに、式 (27) は、次式 (29) のように整理することができる。位相検波器 151 は、ミキサ 112 の出力信号に対する増幅器 161 を含む伝送経路の位相変動成分を検出できる。

$$\frac{\Delta\eta(\omega_1 + \omega_2)F}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (29)$$

[0084] 式 (29) に基づいて、伝送制御部 49B は、DDS 46 に次の位相を設定することができる。

$$-\Delta\eta(\omega_1 + \omega_2)F / \Delta t - \Delta\theta / \Delta t$$

[0085] これにより、分配器 162 の出力信号の瞬時周波数は、次式 (30) のようになるため、位相安定な信号伝送が可能である。

$$K \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (30)$$

[0086] 以上に説明したように実施の形態 5 では、実施の形態 4 に比べて、電圧制御発振器 40 を制御する位相同期ループ外の経路の位相変動をモニタしてそれを補正することができる。増幅器 161 などの、環境あるいは周波数によ

り位相変動が大きい要素の位相変動量も補正することが可能である。さらに、増幅器 161 の位相変動量成分も補正できるため、高出力な位相安定信号の伝送が可能である。

[0087] 実施の形態 6.

次に、本発明に係る実施の形態 6 について説明する。図 12 は、本発明に係る実施の形態 6 の光伝送システム 6 の概略構成を示すブロック図である。図 12 に示されるように、光伝送システム 6 は、光伝送装置 26、光伝送路 31 及び光受信装置 131 を備えて構成されている。

[0088] 実施の形態 6 の光伝送装置 26 は、実施の形態 2 の光伝送装置 22 と同様に、基準信号源 100、電圧制御発振器 40、信号生成回路 41、パルス生成器 69、電光変換回路 60、光サーキュレータ 68 及び光電変換器 70 を有する。本実施の形態の光伝送装置 26 は、プログラマブル PLL 回路である信号生成回路 41 に加えて、さらに電圧制御発振器 40 の出力信号を基準信号とするプログラマブル PLL 回路である信号生成回路 43 と、パルス生成器 69 により出力されたパルス信号と信号生成回路 43 の出力信号とを合波する合波器 52 と、信号生成回路 41、43 及び位相同期回路 81 の動作を制御する伝送制御部 49C とを有する。信号生成回路 43 の構成は、信号生成回路 41 のそれと同じである。電光変換回路 60 には、パルス生成器 69 からの出力信号に代えて合波器 52 の出力信号が入力される。

[0089] 本実施の形態の構成では、信号生成回路 41 により生成された信号の瞬時周波数は、実施の形態 1 と同様に、光電変換器 150 で光伝送路 31 の位相変動成分が除去された形となり、次式 (31) で表される。

$$\frac{Na \times Nc}{2Nb} \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (31)$$

[0090] また、信号生成回路 43 の構成は、たとえば実施の形態 1 の信号生成回路 41 と同様の構成であるので、分周数 Nb, Nc に代えて、信号生成回路 43 に設定する分周数を Mb, Mc とすると、次式 (32) が得られる。

$$\frac{Na \times Mc}{2Mb} \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (32)$$

[0091] 光受信装置 131 においては、伝送信号に対して、光電変換器 150 としてフォトダイオードが使用された場合、自乗検波が実行される。このため、強度変調された光信号が検波される際、次式 (33) で表される、式 (31) と式 (32) の和周波数成分も出力される。

$$\begin{aligned} & \frac{Na \times Nc}{2Nb} \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{Na \times Mc}{2Mb} \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \\ & = \frac{Na}{2} \left(\frac{Nc}{Nb} + \frac{Mc}{Mb} \right) \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \end{aligned} \quad (33)$$

[0092] したがって、伝送先（光受信装置 131）の光電変換器 150 に周波数変換の機能を付与して動作させることが可能である。

[0093] 以上に説明したように実施の形態 6 では、伝送元（光伝送装置 26）の電光変換回路 60 に要求される応答周波数は、信号生成回路 41, 43 の出力周波数で応答するものであればよく、周波数変換後の応答周波数は不要である。このため、光電変換回路 60 に要求される応答周波数特性が緩和され、低コスト化に寄与する。

[0094] 実施の形態 7.

次に、本発明に係る実施の形態 7 について説明する。図 13 は、本発明に係る実施の形態 7 の光伝送システム 7 の概略構成を示すブロック図である。図 13 に示されるように本実施の形態の光伝送システム 7 は、光伝送装置 27、光伝送路 31 及び光受信装置 131 を備えて構成されている。実施の形態 7 の光伝送装置 27 は、実施の形態 6 の光伝送装置 26 と比べて、信号生成回路 43 に代えて、DDS 47（図 13）を採用した構成を有する。

[0095] 本実施の形態の構成では、信号生成回路 41 により生成された信号の瞬時周波数は、実施の形態 1 と同様に、光電変換器 150 で光伝送路 31 の位相変動成分が除去された形となり、次式 (34) で表される。

$$\frac{Na \times Nc}{2Nb} \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (34)$$

[0096] また、DDS 47 の出力信号の瞬時周波数は、式 (19) と同様に次式 (35) のようになる。

$$D \times \omega c + D \frac{\Delta \phi_{c0}}{\Delta t} = \frac{Na \times D}{2} \omega r + D \left(\frac{Na \Delta \phi_{r0}}{2 \Delta t} - \frac{\Delta \phi_{\omega c F}}{\Delta t} \right) \quad (35)$$

[0097] 光受信装置 131 の光電変換器 150 では、光伝送路 31 の位相変動成分が除去された形となる、次式 (36) で表される瞬時周波数成分が得られる。

$$\frac{Na \times D}{2} \left(\omega r + \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (36)$$

[0098] このような伝送信号に対して、光電変換器 150 としてフォトダイオードが使用された場合、自乗検波が実行される。このため、強度変調された光信号が検波される際、次式 (37) で表される、式 (31) と式 (32) の和周波数成分も出力される。

$$\frac{Na \times Nc}{2Nb} \left(\omega r + \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{Na \times D}{2} \left(\omega r + \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} \right) = \frac{Na}{2} \left(\frac{Nc}{Nb} + D \right) \left(\omega r + \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (37)$$

[0099] したがって、伝送先 (光受信装置 131) の光電変換器 150 に周波数変換の機能を付与して動作させることが可能である。

[0100] 実施の形態 7 では、伝送元 (光伝送装置 27) の電光変換回路 60 に要求される応答周波数は、信号生成回路 41 の出力周波数と DDS 47 の出力周波数とで応答するものであればよく、周波数変換後の応答周波数は不要である。このため、光電変換回路 60 の応答周波数特性が緩和され、低コスト化に寄与する。また、DDS 47 により、位相及び振幅を個別に制御してチャープ信号などの変調信号を送信することが可能となる。

[0101] 実施の形態 8.

次に、本発明に係る実施の形態 8 について説明する。図 14 は、本発明に係る実施の形態 8 の光伝送システム 8 の概略構成を示すブロック図である。図 14 に示されるように、光伝送システム 8 は、光伝送装置 28、2 系統の光伝送路 (第 1 及び第 2 の光伝送路) 31, 33 及び光受信装置 134 を備えて構成されている。

[0102] 実施の形態 8 の光伝送装置 28 は、電圧制御発振器 40 と、電圧制御発振器 40 の信号を用いた周波数変換 (自己周波数オフセット) を実行してフィ

ードバックし位相同期する位相同期回路 8 1 と、電圧制御発振器 4 0 の出力信号を光信号に変換する電光変換器 6 0 E と、電光変換器 6 0 E の出力光信号の伝搬経路において経路分離する光サーキュレータ 6 8 とを備える。光伝送路 3 1 は、電光変換器 6 0 E から光サーキュレータ 6 8 を介して出力された光信号を伝送する光ファイバなどの光伝送路である。一方、本実施の形態の光受信装置 1 3 4 は、光伝送路 3 1 から伝送した光を分岐する光分岐合波器である光カップラ 1 4 7 と、光カップラ 1 4 7 により分岐された光を反射する光反射器 1 4 8 とを備える。光カップラ 1 4 7 は、光反射器 1 4 8 で反射された光信号を光伝送路 3 1 に結合する。部分反射器 1 4 0 D は、光カップラ 1 4 7 と光反射器 1 4 8 とで構成されている。また、光伝送装置 2 8 は、部分反射器 1 4 0 D により反射された後に光サーキュレータ 6 8 により分離された光信号を電気信号に変換して、位相同期回路 8 1 へのフィードバック信号を出力する光電変換器 7 0 と、位相同期回路 8 1 に基準信号を供給する基準信号源 1 0 0 と、電圧制御発振器 4 0 の出力信号を基準信号として動作する信号生成回路 4 1 と、電圧制御発振器 4 0 の出力信号を動作クロックとして動作するダイレクト・デジタル・シンセサイザ (DDS) 4 5 と、DDS 4 5 のパラメータを設定する伝送制御部 4 9 E と、信号生成回路 4 1 の出力信号と DDS 4 5 の出力信号とを周波数混合するミキサ (周波数混合器) 1 2 0 と、周波数混合器 1 2 0 の出力信号を光信号に変換する電光変換器 1 2 1 とを備える。光伝送路 3 3 は、電光変換器 1 2 1 から出力される光信号を伝送する光ファイバなどの光伝送路である。一方、光受信装置 1 3 4 は、光伝送路 3 3 により伝送された光信号を電気信号に変換する光電変換器 1 7 0 と、光電変換器 1 7 0 の出力信号を増幅する増幅器 1 7 1 と、増幅器 1 7 1 からの出力信号を分配する分配器 1 7 2 と、分配器 1 7 2 により分配された信号を光信号に変換し、光分岐合波器 1 4 7 に入力して光伝送路 3 1 に伝送させる電光変換器 1 7 3 と、光電変換器 7 0 の出力信号から、位相同期回路 8 1 にフィードバックする校正信号周波数と、信号生成回路 4 1 の出力信号と DDS 4 5 の出力信号との周波数混合成分とを分離する周波数分離器 7 7 と、

周波数分離器 77 から出力される、周波数混合器 120 により出力される周波数成分の位相を基準信号源 100 から供給される基準信号に基づいて位相検波し、検波した位相情報に基づいて伝送制御部 49E による DDS 設定位相を決定するための当該位相情報を供給する位相検波器 78 とで構成される。

[0103] 電圧制御発振器 40 の位相同期及び発振方法は、実施の形態 1 と同様である。また、プログラマブル PLL 回路である信号生成回路 41 及び DDS 45 の発振及び信号生成に関しては、実施の形態 4 と同様であり、周波数混合器 120 により出力される信号は、アップコンバージョン成分として、式 (20) と同様に次式 (38) の瞬時周波数で定義する。

$$\left(\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t}\right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t}\right) \quad (38)$$

[0104] 周波数混合器 120 の出力信号が電光変換器 121 により光信号に変換され、光伝送路 33 中を伝送し、光電変換器 170 から出力される電気信号の瞬時周波数は、光伝送路 33 の周波数 $\omega_1 + \omega_2$ に対する位相変動成分 $\Delta\rho_{(\omega_1 + \omega_2)F}$ の位相変動を受けて次式 (39) の瞬時周波数で出力される。

$$\left(\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t}\right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t}\right) + \frac{\Delta\rho_{(\omega_1 + \omega_2)F}}{\Delta t} \quad (39)$$

[0105] 次に、増幅器 171 の位相変動量を $\Delta\theta$ と仮定すると、分配器 172 から出力される信号の瞬時周波数は次式 (40) となる。

$$\left(\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t}\right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t}\right) + \frac{\Delta\rho_{(\omega_1 + \omega_2)F}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (40)$$

[0106] この瞬時周波数を有する信号が電光変換器 173 により光信号に変換され、光伝送路 31 の周波数 $\omega_1 + \omega_2$ に対する位相変動成分 $\Delta\phi_{(\omega_1 + \omega_2)F}$ の位相変動を受ける。このとき、光電変換器 70 から出力される電気信号の瞬時周波数は次式 (41) となる。

$$\left(\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t}\right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t}\right) + \frac{\Delta\rho_{(\omega_1 + \omega_2)F}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} + \frac{\Delta\phi_{(\omega_1 + \omega_2)F}}{\Delta t} \quad (41)$$

[0107] ここで、実施の形態4で示した場合と同様に次式(42)が成り立つ。

$$\left(\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t}\right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t}\right) + \frac{\Delta\phi_{(\omega_1+\omega_2)F}}{\Delta t} = \frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb}\right) \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t}\right) \quad (42)$$

[0108] したがって、式(41)は次式(43)のように変形できる。

$$\frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb}\right) \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t}\right) + \frac{\Delta\rho_{(\omega_1+\omega_2)F}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (43)$$

[0109] 次に、位相検波器78では、基準信号の瞬時周波数 $\omega_r + \Delta\phi_{r0}/\Delta t$ にしたがって位相検波が可能なので、光伝送路33及び増幅器171の位相変動成分 $\Delta\rho_{(\omega_1+\omega_2)F} + \Delta\theta$ を検出できる。検出した位相に基づいて、伝送制御部49EによりDDS45の初期位相を $\Delta\rho_{(\omega_1+\omega_2)F} + \Delta\theta$ 分だけオフセット補正することを繰り返すことで、分配器172からの出力を、次式(44)に示すように基準信号にしたがった位相安定な信号とすることができる。

$$\frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb}\right) \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t}\right) \quad (44)$$

[0110] 以上に説明したように実施の形態8では、電圧制御発振器40を制御する位相同期ループ外の経路の位相変動をモニタして補正することができ、増幅器171など、環境あるいは周波数により位相変動が大きい要素の位相変動量も補正することが可能である。また、増幅器171の位相変動量成分も補正できるため、高出力な位相安定信号の伝送が可能である。

[0111] 実施の形態9.

次に、本発明に係る実施の形態9について説明する。図15は、本発明に係る実施の形態9の光伝送システム9の概略構成を示すブロック図である。図15に示されるように本実施の形態の光伝送システム9は、光伝送装置29、2系統の光伝送路(第1及び第2の光伝送路)31, 33及び光受信装置134を備えて構成されている。

[0112] 実施の形態9の光伝送装置29は、電圧制御発振器40と、電圧制御発振器40の信号を用いた周波数変換(自己周波数オフセット)を実行してフィ

ードバックし位相同期する位相同期回路 8 2 と、電圧制御発振器 4 0 の出力信号を光信号に変換する電光変換器 6 0 E と、電光変換器 6 0 E の出力光信号の経路において経路分離する光サーキュレータ 6 8 とを備える。光伝送路 3 1 は、電光変換器 6 0 E から光サーキュレータ 6 8 を介して出力された光信号を伝送する光ファイバなどの光伝送路である。一方、本実施の形態の光受信装置 1 3 4 は、光伝送路 3 1 から伝送した光を分岐する光分岐合波器である光カップラ 1 4 7 と、光カップラ 1 4 7 により分岐された光を反射する光反射器 1 4 8 とを備える。光カップラ 1 4 7 は、光反射器 1 4 8 で反射された光信号を光伝送路 3 1 に結合する。部分反射器 1 4 0 D は、光カップラ 1 4 7 と光反射器 1 4 8 とで構成されている。光伝送装置 2 9 は、部分反射器 1 4 0 D により反射された後に光サーキュレータ 6 8 により経路分離された光信号を電気信号に変換して、位相同期回路 8 2 へのフィードバック信号を出力する光電変換器 7 0 と、位相同期回路 8 2 に基準信号を供給する基準信号源 1 0 0 と、電圧制御発振器 4 0 の出力信号を基準信号として動作する信号生成回路 4 4 と、信号生成回路 4 4 の出力信号を光信号に変換する電光変換器 1 2 1 とを備える。光伝送路 3 3 は、電光変換器 1 2 1 から出力される光信号を伝送する光ファイバなどの光伝送路である。光受信装置 1 3 4 は、光伝送路 3 3 により伝送された光信号を電気信号に変換する光電変換器 1 7 0 と、光電変換器 1 7 0 の出力信号を増幅する増幅器 1 7 1 と、増幅器 1 7 1 からの出力信号を分配する分配器 1 7 2 と、分配器 1 7 2 により分配された信号を光信号に変換し光分岐合波器 1 4 7 に入力させて光伝送路 3 1 を伝送させる電光変換器 1 7 3 とを備える。一方、光伝送装置 2 9 は、光電変換器 7 0 の出力信号から、位相同期回路 8 2 にフィードバックさせる較正信号周波数 ω_c の成分と信号生成回路 4 4 に供給すべき周波数 ω_1 の成分を分離する周波数分離器 7 7 と、伝送制御部 4 9 F とを備えている。

[0113] ここで、図 1 5 では、位相同期回路 8 2 は、たとえば、局部発振器 8 5 と、局部発振器 8 5 の出力信号により周波数変換を行うミキサ 8 6 F 及びミキサ 8 8 F と、電圧制御発振器 4 0 の出力信号を通倍 ($\times 3$) する通倍器 9 2

と、電圧制御発振器 40 の出力信号を逡倍した信号を用いた周波数変換（自己周波数オフセット）を行うミキサ 87 F と、ミキサ 88 F により周波数変換された信号を分周数 N_a で分周する分周器 89 と、分周器 89 の出力信号と基準信号源 100 により発生した基準信号とを比較する位相比較器 90 と、位相比較器 90 で検出した誤差信号を電圧制御発振器 40 の制御信号にするループフィルタ 91 を備える。

[0114] 信号生成回路 44 は、たとえば、図 1 の実施の形態 1 の場合と同様に、図 15 に示すように、基準信号を分周する分周器 53 と、フィードバック信号を分周する分周器 54 と、分周器 53, 54 から出力される信号間で位相及び周波数を比較して誤差信号を出力する位相比較器 56 と、位相比較器 56 からの誤差信号を積分して制御信号とするループフィルタ 58 と、ループフィルタ 58 から出力される制御信号により制御される電圧制御発振器（VCO）50 を有する。分周器 54 には、周波数分離器 77 により分離された、光伝送路 31 及び光伝送路 31 を含む経路を伝送した信号成分が入力するように構成される。

[0115] 電圧制御発振器 40 の出力信号（周波数 ω_c ）は、電光変換器 60 E により光信号に変換され、光サーキュレータ 68、光伝送路 31 を介して部分反射器 140 まで伝送され、再度、光伝送路 31、光サーキュレータ 68 を介して、光電変換器 70 により電気信号に変換される。ここで、光伝送路 31 の実長変動による瞬時位相変動を $\Delta\phi_{*F}$ と定義する。 $\Delta\phi_{*F}$ は光信号に重畳する周波数により異なる値である。このとき、光電変換器 70 により変換された電気信号の瞬時周波数は、光伝送路 31 の周波数 ω_c に対する位相変動成分 $\Delta\phi_{\omega_c F}$ を往復分受けて次式（45）となる。

$$\omega_c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} + 2 \frac{\Delta\phi_{\omega_c F}}{\Delta t} \quad (45)$$

ここで、 $\Delta\phi_{\omega_c F}$ に対する係数「2」は、往復分を表す。

[0116] 次に、位相同期回路 82 の構成が図 15 に示す構成である場合、光電変換器 70 から出力された信号に基づいてミキサ 86 F により得られたダウンコ

ンバージョン成分の瞬時周波数は、次式（４６）となる（ $\omega_c > \omega_0$ と仮定した。）。

$$\omega_c - \omega_0 + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} + 2\frac{\Delta\phi_{\omega cF}}{\Delta t} - \frac{\Delta\phi_{00}}{\Delta t} \quad (46)$$

[0117] さらに、ミキサ８７Ｆは、電圧制御発振器４０の出力信号を３通倍して得られた信号とミキサ８６Ｆの出力信号とを周波数混合して、次式（４７）に示されるように、周波数シフト（自己周波数オフセット）された差周波成分を得る。

$$\begin{aligned} & \left| \omega_c - \omega_0 + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} + 2\frac{\Delta\phi_{\omega cF}}{\Delta t} - \frac{\Delta\phi_{00}}{\Delta t} - 3\left(\omega_c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t}\right) \right| \\ & = 2\omega_c + 2\frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} - 2\frac{\Delta\phi_{\omega cF}}{\Delta t} + \omega_0 + \frac{\Delta\phi_{00}}{\Delta t} \end{aligned} \quad (47)$$

[0118] さらに、ミキサ８８Ｆは、ミキサ８７Ｆの出力信号と局部発振器８５の出力信号とを混合して、次式（４８）の瞬時周波数を有するダウンコンバージョン成分を得る。

$$2\omega_c + 2\left(\frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} - \frac{\Delta\phi_{\omega cF}}{\Delta t}\right) \quad (48)$$

[0119] ミキサ８８Ｆの出力信号を分周器８９により $N a$ 分周すると、瞬時周波数成分は次式（４９）となる。

$$\frac{2}{Na}\left(\omega_c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} - \frac{\Delta\phi_{\omega cF}}{\Delta t}\right) \quad (49)$$

[0120] 分周器８９の出力信号と基準信号源１００の出力信号は、位相比較器９０により位相及び周波数が比較され、結果として誤差信号が出力される。ループフィルタ９１は、誤差信号を積分して電圧制御発振器４０の制御信号を生成することで位相同期を確立することができる。このとき、式（４９）と（４９）の位相及び周波数が比較され、次式（５０）が成立するように位相同期される。

$$\begin{aligned} & \frac{2}{Na}\left(\omega_c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} - \frac{\Delta\phi_{\omega cF}}{\Delta t}\right) = \omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \\ & \omega_c = \frac{Na}{2}\omega_r, \quad \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} = \frac{Na}{2}\frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} + \frac{\Delta\phi_{\omega cF}}{\Delta t} \end{aligned} \quad (50)$$

[0121] ここで、光伝送路 3 1 の位相変動成分は、温度変動、振動、あるいは光ファイバの引っ張りなどにより実長変動 ΔL に起因する成分を主とするため、周波数 ω_c 、 ω_r に対する位相変動成分の間には次式 (5 1) が成立する。

$$\begin{aligned}\Delta\phi_{\omega_{cF}} &= \omega_c \frac{n\Delta L}{c}, \\ \Delta\phi_{\omega_{rF}} &= \omega_r \frac{n\Delta L}{c} = \frac{\omega_r}{\omega_c} \Delta\phi_{\omega_{cF}} = \frac{2}{Na} \Delta\phi_{\omega_{cF}}\end{aligned}\quad (51)$$

[0122] したがって、式 (5 0) は次式 (5 2) のように変形できる。

$$\begin{aligned}\frac{2}{Na} \left(\omega_c + \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} - \frac{\Delta\phi_{\omega_{cF}}}{\Delta t} \right) &= \omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \\ \omega_c &= \frac{Na}{2} \omega_r, \quad \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} = \frac{Na}{2} \left(\frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} + \frac{\Delta\phi_{\omega_{rF}}}{\Delta t} \right)\end{aligned}\quad (52)$$

[0123] 次に、信号生成回路 4 4 の発振源である VCO 5 0 の出力信号の瞬時周波数を実施の形態 1 と同様に次式 (5 3) のように定義する。

$$\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t} \quad (53)$$

[0124] VCO 5 0 の出力信号が電光変換器 1 2 1 により光信号に変換され、光伝送路 3 3 により、周波数 ω_1 に対する位相変動成分 $\Delta\rho_{\omega_{1F}}$ を受けて伝送され、光電変換器 1 7 0 により電気信号に変換される。光電変換器 1 7 0 により出力される信号は増幅器 1 7 1 による位相変動成分 $\Delta\theta$ を受けて、次式 (5 4) の瞬時周波数で表される信号となる。

$$\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t} + \frac{\Delta\rho_{\omega_{1F}}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (54)$$

[0125] この信号が分配器 1 7 2 により分配され、電光変換器 1 7 3 により光信号に変換され、光カップラ (光分岐合波器) 1 4 7 に入力し、光伝送路 3 1 を ω_1 に対する位相変動成分 $\Delta\phi_{\omega_{1F}}$ を受けて伝送し、光サーキュレータ 6 8 により経路分離され、光電変換器 7 0 により電気信号に変換され、周波数分離器 7 7 により分離され、信号生成回路 4 4 にフィードバックされる。このときのフィードバック信号の瞬時周波数は次式 (5 5) となる。

$$\omega_1 + \frac{\Delta\phi_{10}}{\Delta t} + \frac{\Delta\rho_{\omega_{1F}}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} + \frac{\Delta\phi_{\omega_{1F}}}{\Delta t} \quad (55)$$

[0126] 次に、信号生成回路44では、分周器53により得られる、電圧制御発振器40の出力信号をNb分周した信号と、分周器54により得られる式(55)に示されるNc分周した信号との間で位相及び周波数が比較されて位相同期が確立すると、次式(56)が成り立つ。

$$\frac{1}{Nb} \left(\omega c + \frac{\Delta \phi_{c0}}{\Delta t} \right) = \frac{1}{Nc} \left(\omega 1 + \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t} + \frac{\Delta \rho_{\omega 1F}}{\Delta t} + \frac{\Delta \theta}{\Delta t} + \frac{\Delta \phi_{\omega 1F}}{\Delta t} \right) \quad (56)$$

[0127] ここで、式(52)より、次式(57)に変形できる。

$$\begin{aligned} \frac{Na}{2Nb} \left(\omega r + \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} + \frac{\Delta \phi_{\omega rF}}{\Delta t} \right) &= \frac{1}{Nc} \left(\omega 1 + \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t} + \frac{\Delta \rho_{\omega 1F}}{\Delta t} + \frac{\Delta \theta}{\Delta t} + \frac{\Delta \phi_{\omega 1F}}{\Delta t} \right) \\ \frac{Na}{2Nb} \omega r &= \frac{1}{Nc} \omega 1 \end{aligned} \quad (57)$$

[0128] また、式(51)と同様に考えて、次式(58)が成り立つ。

$$\Delta \phi_{\omega 1F} = \omega 1 \frac{n \Delta L}{c} = \frac{\omega 1}{\omega r} \Delta \phi_{\omega rF} = \frac{Na \times Nc}{2Nb} \Delta \phi_{\omega rF} \quad (58)$$

[0129] したがって、式(57)は次式(59)のように整理することができる。

$$\begin{aligned} \frac{Na}{2Nb} \left(\omega r + \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} + \frac{\Delta \phi_{\omega rF}}{\Delta t} \right) &= \frac{1}{Nc} \left(\omega 1 + \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t} + \frac{\Delta \rho_{\omega 1F}}{\Delta t} + \frac{\Delta \theta}{\Delta t} + \frac{Na \times Nc}{2Nb} \frac{\Delta \phi_{\omega rF}}{\Delta t} \right) \\ \Rightarrow \omega 1 + \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t} + \frac{\Delta \rho_{\omega 1F}}{\Delta t} + \frac{\Delta \theta}{\Delta t} &= \frac{Na \times Nc}{2Nb} \left(\omega r + \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} \right) \end{aligned} \quad (59)$$

[0130] 式(59)のように整理できるので、式(54)で表される増幅器171から出力され、分配器172から出力される信号は、光ファイバなどの光伝送路の位相変動成分を除去した形で、基準信号源100により発生される基準信号に基づいて、位相安定な信号となる。

[0131] 以上に説明したように実施の形態9では、プログラマブルPLL回路である信号生成回路44の周波数可変な発振信号を伝送経路の光伝送路及び増幅器など、環境あるいは周波数により位相変動が大きい要素の位相変動量もアナログ的な位相同期によりリアルタイムに高速に補正して伝送することが可能である。また、増幅器171の位相変動量成分も補正できるため、高出力な位相安定信号の伝送が可能である。

[0132] 実施の形態 10.

次に、本発明に係る実施の形態 10 について説明する。図 16 は、本発明に係る実施の形態 10 の光伝送システム 10 の概略構成を示すブロック図である。図 16 に示されるように本実施の形態の光伝送システム 10 は、光伝送装置 30、2 系統の光伝送路（第 1 及び第 2 の光伝送路）31, 33 及び光受信装置 134 を備えて構成されている。

[0133] 実施の形態 10 の光伝送装置 30 は、電圧制御発振器 40 と、前記電圧制御発振器 40 の信号を用いた周波数変換（自己周波数オフセット）を実行してフィードバックし位相同期する位相同期回路 82 と、電圧制御発振器 40 の出力信号を光信号に変換する電光変換器 60E と、電光変換器 60E の出力光信号の経路において経路分離する光サーキュレータ 68 とを備える。光伝送路 31 は、電光変換器 60E から光サーキュレータ 68 を介して出力された光信号を伝送する光ファイバなどの光伝送路である。一方、本実施の形態の光受信装置 134 は、光伝送路 31 から伝送した光を分岐する光分岐合波器である光カップラ 147 と、光カップラ 147 により分岐された光を反射する光反射器 148 とを備える。光カップラ 147 は、光反射器 148 で反射された光信号を光伝送路 31 に結合する。部分反射器 140D は、光カップラ 147 と光反射器 148 とで構成されている。光伝送装置 30 は、部分反射器 140D により反射された後に光サーキュレータ 68 により経路分離された光信号を電気信号に変換して、位相同期回路 82 へのフィードバック信号を出力する光電変換器 70 と、位相同期回路 82 に基準信号を供給する基準信号源 100 と、電圧制御発振器 40 の出力信号を基準信号として動作する信号生成回路 41 と、電圧制御発振器 40 の出力信号をクロック信号（動作クロック）として動作する DDS 45 と、信号生成回路 41 の出力信号と DDS 45 の出力信号とを周波数混合するミキサ（周波数混合器）113 と、基準信号源 100 から供給される信号を基準信号として動作するプログラマブル PLL 回路である信号生成回路 42 と、基準信号源 100 から供給される信号をクロック信号（動作クロック）として動作する DDS 46 と、信号生

成回路 4 2 の出力信号と D D S 4 6 の出力信号とを周波数混合するミキサ（周波数混合器） 1 1 2 と、ミキサ 1 1 2 から出力される信号を光信号に変換する電光変換器 1 2 1 とを備える。光伝送路 3 3 は、電光変換器 1 2 1 から出力される光信号を伝送する光ファイバなどの光伝送路である。光受信装置 1 3 4 は、光伝送路 3 3 により伝送された光信号を電気信号に変換する光電変換器 1 7 0 と、光電変換器 1 7 0 の出力信号を増幅する増幅器 1 7 1 と、増幅器 1 7 1 からの出力信号を分配する分配器 1 7 2 と、分配器 1 7 2 により分配された信号を光信号に変換して光分岐合波器 1 4 7 に入力し、光ファイバなどの光伝送路 3 1 を伝送させる電光変換器 1 7 3 とを備える。光伝送装置 3 0 は、光電変換器 7 0 の出力信号から、位相同期回路 8 2 にフィードバックすべき較正信号周波数の成分と位相検波器 7 9 に供給すべき混合周波数 $\omega 1 + \omega 2$ の成分とを分離する周波数分離器 7 7 と、周波数分離器 7 7 から出力される信号とミキサ 1 1 3 から出力される信号との位相差を検出する位相検波器 7 9 と、位相検波器 7 9 により検出した位相差に基づいて、D D S 4 5, 4 6 のパラメータ設定を行う伝送制御部 4 9 G とを備える。

[0134] 電圧制御発振器 4 0 の発振方法及び同期方法は実施の形態 9 と同様である。このとき、信号生成回路 4 1 から出力される信号と D D S 4 5 から出力される信号とに基づいてミキサ 1 1 3 で得られるアップコンバージョン成分は次式 (60) となる。

$$\left(\omega 2 + \frac{\Delta \phi_{20}}{\Delta t}\right) + \left(\omega 1 + \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t}\right) \quad (60)$$

[0135] ここで、 $\omega 1$, $\Delta \phi_{10}$ は信号生成回路 4 1 の発振周波数と位相雑音成分であり、 $\omega 2$, $\Delta \phi_{20}$ は D D S 4 5 の生成信号周波数と位相雑音成分である。信号生成回路 4 1 の構成が実施の形態 1 と同様のとき、式 (14) と同様に、信号生成回路 4 1 の瞬時周波数と電圧制御発振器 4 0 の瞬時周波数と基準信号源 1 0 0 の瞬時周波数には次の関係式 (61) が成り立つ。

$$\frac{1}{Nb} \left(\omega c + \frac{\Delta \phi_{c0}}{\Delta t}\right) = \frac{1}{Nc} \left(\omega 1 + \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t}\right) \quad (61)$$

$$\omega 1 = \frac{Nc}{Nb} \omega c = \frac{Na \times Nc}{2Nb} \omega r, \quad \frac{\Delta \phi_{10}}{\Delta t} = \frac{Nc}{Nb} \frac{\Delta \phi_{c0}}{\Delta t} = \frac{Nc}{Nb} \left(\frac{Na}{2} \frac{\Delta \phi_{r0}}{\Delta t} + \frac{\Delta \phi_{\omega c F}}{\Delta t}\right)$$

[0136] なお、式(61)では、位相同期回路82が実施の形態9と同様であることを考慮して、 $\Delta\phi_{\omega c F}$ の符号が反転する。また、実施の形態4と同様に、DDSによる生成信号の瞬時周波数と電圧制御発振器40の瞬時周波数には次の関係が成り立つ。DDSの出力信号の中心周波数とクロック信号の中心周波数の比率 $\omega_2/\omega_c = D$ と定義すると、次式(62)のように表される。

$$\omega_2 + \frac{\Delta\phi_{20}}{\Delta t} = D \times \omega_c + D \frac{\Delta\phi_{c0}}{\Delta t} = \frac{Na \times D}{2} \omega_r + D \left(\frac{Na \Delta\phi_{r0}}{2 \Delta t} + \frac{\Delta\phi_{\omega c F}}{\Delta t} \right) \quad (62)$$

[0137] よって、式(60)は次式(63)のように変形できる。

$$\begin{aligned} & \frac{Na \times D}{2} \omega_r + D \left(\frac{Na \Delta\phi_{r0}}{2 \Delta t} + \frac{\Delta\phi_{\omega c F}}{\Delta t} \right) + \frac{Na \times Nc}{2Nb} \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{Nc \Delta\phi_{\omega c F}}{Nb \Delta t} \\ & = \frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \frac{\Delta\phi_{\omega c F}}{\Delta t} \end{aligned} \quad (63)$$

[0138] 次に、基準信号源100から供給された基準信号にしたがって動作する信号生成回路42とDDS46の出力信号の中心周波数を信号生成回路41とDDS45と一致させた場合、ミキサ112によってアップコンバートされた出力信号の瞬時周波数は次式(64)となる。

$$\left(\omega_2 + \frac{\Delta\eta_{20}}{\Delta t} \right) + \left(\omega_1 + \frac{\Delta\eta_{10}}{\Delta t} \right) = K \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (64)$$

[0139] ここで、 $\Delta\eta_{10}$ 、 $\Delta\eta_{20}$ は、信号生成回路42とDDS46の位相雑音成分であり、Kは、 ω_r と $\omega_1 + \omega_2$ の比率を表す定数であり、 $Na/2 (D + Nc/Nb)$ に等しい。したがって、式(64)は次式(65)となる。

$$\frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) \quad (65)$$

[0140] この瞬時周波数成分の信号が電光変換器121により光信号に変換され、光伝送路33を周波数 $\omega_1 + \omega_2$ に対する位相変動成分 $\Delta\rho_{(\omega_1 + \omega_2)F}$ を受けて伝送し、光電変換器170により電気信号に変換され、増幅器171による位相変動成分 $\Delta\theta$ を受け、分配器172から出力されると、次式(66)の瞬時周波数を有する信号が得られる。

$$\frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega_r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta\rho_{(\omega_1 + \omega_2)F}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (66)$$

[0141] 分配器 172 から出力された信号が、電光変換器 173 により光信号に変換され、光分岐合波器 147 に入力され、光伝送路 31 を周波数 $\omega_1 + \omega_2$ に対する位相変動成分 $\Delta\phi_{(\omega_1+\omega_2)F}$ を受けて伝送し、光電変換器 70 により電気信号に変換され、周波数分離器 77 により経路分離されて位相検波器 79 に入力される。このときの瞬時周波数は次式 (67) となる。

$$\frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta\rho_{(\omega_1+\omega_2)F}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} + \frac{\Delta\phi_{(\omega_1+\omega_2)F}}{\Delta t} \quad (67)$$

[0142] ここで、光伝送路 31 の位相変動成分は、温度変動、振動、あるいは光ファイバの引っ張りなどにより実長変動 ΔL に起因する成分を主とするため、周波数 ω_c 、 ω_1 に対する位相変動成分には次式 (68) が成立する。

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{(\omega_1+\omega_2)F} &= (\omega_1 + \omega_2) \frac{n\Delta L}{c} = \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{\omega_c} \omega_c \frac{n\Delta L}{c} = \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{\omega_c} \Delta\phi_{\omega_c F} \\ &= \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \Delta\phi_{\omega_c F} \end{aligned} \quad (68)$$

[0143] よって、式 (67) は次式 (69) のように変形できる。

$$\frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta\rho_{(\omega_1+\omega_2)F}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} + \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \frac{\Delta\phi_{\omega_c F}}{\Delta t} \quad (69)$$

[0144] 位相検波器 79 では、式 (63) と式 (69) の間の位相差を検出することができるため、検出される位相差は次式 (70) となり、光伝送路 33 と増幅器 171 の位相変動成分を検出可能である。

$$\begin{aligned} &\frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta\rho_{(\omega_1+\omega_2)F}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} + \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \frac{\Delta\phi_{\omega_c F}}{\Delta t} \\ &- \left\{ \frac{Na}{2} \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \left(\omega r + \frac{\Delta\phi_{r0}}{\Delta t} \right) + \left(D + \frac{Nc}{Nb} \right) \frac{\Delta\phi_{\omega_c F}}{\Delta t} \right\} \\ &= \frac{\Delta\rho_{(\omega_1+\omega_2)F}}{\Delta t} + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \end{aligned} \quad (70)$$

[0145] 伝送制御部 49G は、光伝送路 33 と増幅器 171 の検出した位相変動成分に基づいて、DDS 46 の位相オフセットを設定することで、分配器 172 から出力される信号を位相安定化させることができる。

[0146] 以上に説明したように実施の形態 10 では、プログラマブル PLL 回路である信号生成回路 42 の周波数可変な発振信号を伝送経路の光ファイバ及び

増幅器など、環境や周波数により位相変動が大きい要素の位相変動量も補正して伝送することが可能である。また、DDS 46での変調により、チャープ信号など高度な変調信号の伝送においても位相安定な信号伝送が実現できる。さらに、増幅器 171の位相変動量成分も補正できるため、高出力な位相安定信号の伝送が可能である。

[0147] 以上、図面を参照して本発明に係る実施の形態 1～10について述べたが、実施の形態 1～10は本発明の例示であり、実施の形態 1～10以外の様々な形態もあり得る。本発明の範囲内において、上記実施の形態 1～10の自由な組み合わせ、各実施の形態の任意の構成要素の変形、または各実施の形態の任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0148] 本発明に係る光伝送装置及び光伝送システムは、マイクロ波帯などの高周波帯域の信号を光信号に変換して当該光信号を光伝搬経路を通じて低損失で伝送することを可能にするので、たとえば、電波天文に使用される超長基線電波干渉法 (Very Long Baseline Interferometry, VLBI) システムあるいは光ファイバ通信システムなどの長距離光伝送システムに利用可能である。

符号の説明

[0149] 1～10 光伝送システム、21, 22, 23₁～23_N, 24～30 光伝送装置、31, 31₁～31_N, 32 光伝送路、34 データ伝送路、40, 50 電圧制御発振器、41～44 信号生成回路 (プログラマブルPLL回路)、45～47 DDS (ダイレクト・デジタル・シンセサイザ)、49, 49A～49G 伝送制御部、52 合波器、53, 54 分周器、56 位相比較器、58 ループフィルタ、60, 60A 電光変換回路、62～64, 60E 電光変換器、65 光カプラ、66 合波器、68 光サーキュレータ (光入出力部)、69 パルス生成器、70 光電変換器、72 周波数分離器、73 振幅検波器、74 遅延検出器、75 トリガ生成器、76 遅延比較器、77 周波数分離器、78, 79 位相検

波器、81, 82 位相同期回路、85 局部発振器、86, 87, 88, 86F, 87F, 88F ミキサ、89 分周器、90 位相比較器 91 ループフィルタ、92, 101 通倍器、100 基準信号源、101 通倍器、102 データ受信部、110 ミキサ、112, 113 ミキサ、115 電光変換器、120 ミキサ（周波数混合器）、121 電光変換器、131, 131₁~131_N, 133, 134 光受信装置、140, 140A~140D 部分反射器、141 光カップラ、142 光反射器、143 光サーキュレータ、144 光電変換器、145 電光変換器、146 WDMカップラ、147 光カップラ（光分岐合波器）、148 光反射器、150 光電変換器、151 位相検波器、152 データ送信部、160 光電変換器、161 増幅器、162 分配器、170 光電変換器、171 増幅器、172 分配器、173 電光変換器。

請求の範囲

- [請求項1] 光周波数帯よりも低い高周波帯の伝送信号を前記光周波数帯の光伝送信号に変換し、当該光伝送信号を光受信装置に向けて光伝送路に送出する光伝送装置であって、
- 入力された発振制御信号に応じた出力周波数を有する較正信号を出力する制御発振器と、
- 前記伝送信号及び前記較正信号を光波に重畳することにより前記光伝送信号を生成する電光変換回路と、
- 前記光伝送信号を前記光伝送路に送出し、前記光伝送路から前記光伝送信号の一部である反射信号を受信する光入出力部と、
- 前記反射信号を高周波信号に変換する光電変換器と、
- 前記較正信号を用いて前記光電変換器の出力の周波数をシフトさせて周波数変換信号を生成し、当該周波数変換信号を基準信号源から入力された基準信号と位相同期させるように前記発振制御信号を生成する位相同期回路と、
- 前記較正信号と位相同期した高周波信号を前記伝送信号の全部または一部として生成する信号生成回路と
- を備えることを特徴とする光伝送装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の光伝送装置であって、前記位相同期回路は、前記光電変換器の出力の周波数を前記較正信号の周波数だけ高周波数側にシフトさせて前記周波数変換信号を生成する周波数変換回路を含むことを特徴とする光伝送装置。
- [請求項3] 請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、
- 前記位相同期回路は、
- 入力された分周制御信号に応じて定められる可変分周数で前記周波数変換信号を分周する分周器と、
- 前記分周器の出力と前記基準信号源から入力された当該基準信号との間の位相差を検出し、当該検出された位相差に基づいて前記発振制

御信号を生成する制御信号生成回路と
を含むことを特徴とする光伝送装置。

[請求項4] 請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、前記信号生成回路は、入力された制御信号に応じた可変周波数を有し、かつ前記較正信号と位相同期した高周波信号を前記伝送信号の全部または一部として出力するプログラマブルPLL回路からなることを特徴とする光伝送装置。

[請求項5] 請求項4に記載の光伝送装置であって、
前記プログラマブルPLL回路は、
入力された制御電圧に応じた発振周波数を有する高周波信号を前記伝送信号の全部または一部として出力する電圧制御発振器と、
前記制御信号に応じて定められる第1の可変分周数で前記較正信号を分周する第1の分周器と、
前記制御信号に応じて定められる第2の可変分周数で前記電圧制御発振器の出力を分周する第2の分周器と、
前記第1の分周器の出力と前記第2の分周器の出力との間の位相差を検出する位相比較器と、
前記位相比較器の出力に基づいて前記制御電圧を生成するループフィルタと
を含むことを特徴とする光伝送装置。

[請求項6] 請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、
前記電光変換回路は、
前記伝送信号を第1の光信号に変換する第1の電光変換器と、
前記較正信号を第2の光信号に変換する第2の電光変換器と、
前記第1の光信号及び前記第2の光信号を合波して前記光伝送信号を生成する光カプラと
を含むことを特徴とする光伝送装置。

[請求項7] 請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、

前記電光変換回路は、
前記伝送信号と前記較正信号とを合波する合波器と、
前記合波器の出力を前記光伝送信号に変換する電光変換器と
を含むことを特徴とする光伝送装置。

[請求項8] 請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、前記信号生成回路の出力からパルス信号を生成するパルス生成器をさらに備え、
前記電光変換回路は、前記パルス信号及び前記較正信号を光波に重畳することにより前記光伝送信号を生成する、ことを特徴とする光伝送装置。

[請求項9] 請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、
前記較正信号を動作クロックとして動作して高周波信号を出力するダイレクト・デジタル・シンセサイザと、
前記ダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力と前記信号生成回路の出力とを互いに混合して前記伝送信号を生成するミキサとをさらに備えることを特徴とする光伝送装置。

[請求項10] 請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、
前記較正信号を動作クロックとして動作して高周波信号を出力する第1のダイレクト・デジタル・シンセサイザと、
前記第1のダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力と前記信号生成回路の出力とを互いに混合することにより、第1の伝送信号として使用される前記伝送信号を生成する第1のミキサと、
前記基準信号と位相同期し、第1の信号生成回路として使用される前記信号生成回路の出力周波数と同じ出力周波数を有する高周波信号を出力する第2の信号生成回路と、
前記基準信号を動作クロックとして動作して、前記第1のダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力周波数と同じ出力周波数を有する高周波信号を出力する第2のダイレクト・デジタル・シンセサイザと、
、

前記第2のダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力と前記第2の信号生成回路の出力とを互いに混合して第2の伝送信号を生成する第2のミキサと、

前記第2の伝送信号を、第1の光伝送信号として使用される前記光伝送信号とは別の第2の光伝送信号に変換し、第1の光伝送路として使用される前記光伝送路とは別の第2の光伝送路に、前記光受信装置に向けて前記第2の光伝送信号を送出する電光変換器と、

前記第1の光伝送信号と前記第2の光伝送信号との間の位相差を示す位相差データを前記光受信装置から受信するデータ受信部と、

前記位相差データに基づいて前記第2のダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力の位相を制御する伝送制御部とをさらに備えることを特徴とする光伝送装置。

[請求項11]

請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、

前記信号生成回路の出力からパルス信号を生成するパルス生成器と、

第1の信号生成回路として使用される前記信号生成回路とは別の第2の信号生成回路と、

前記パルス信号と前記第2の信号生成回路の出力とを合波して前記伝送信号を生成する合波器とをさらに備え、

前記第2の信号生成回路は、入力された制御信号に応じた可変周波数を有し、かつ前記較正信号と位相同期した高周波信号を出力するプログラマブルPLL回路からなる、ことを特徴とする光伝送装置。

[請求項12]

請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、

前記信号生成回路の出力からパルス信号を生成するパルス生成器と、

前記較正信号を動作クロックとして動作して高周波信号を出力する

ダイレクト・デジタル・シンセサイザと、

前記パルス信号と前記ダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力とを合波して前記伝送信号を生成する合波器とをさらに備えることを特徴とする光伝送装置。

[請求項13]

請求項1または請求項2に記載の光伝送装置であって、

前記較正信号を動作クロックとして動作して高周波信号を出力するダイレクト・デジタル・シンセサイザと、

前記ダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力と前記信号生成回路の出力とを互いに混合するミキサと、

前記光電変換器の出力のうち前記第1の伝送信号の周波数と同じ周波数を有する信号成分と前記基準信号との位相差を検出する位相検波器と、

当該検出された位相差に基づいて前記ダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力の位相を制御する伝送制御部とを備え、

前記電光変換回路は、

前記ミキサの出力を前記光伝送信号の一部をなす第1の光伝送信号に変換し、当該第1の光伝送信号を、前記光受信装置に向けて前記光伝送路の一部をなす第1の光伝送路に送出する第1の電光変換器と、

前記較正信号を前記光伝送信号の他の一部をなす第2の光伝送信号に変換する第2の電光変換器とを含み、

前記光入出力部は、前記第2の光伝送信号を、前記光受信装置に向けて前記光伝送路の他の一部をなす第2の光伝送路に送出し、当該第2の光伝送路から、前記第1の光伝送信号の一部及び前記第2の光伝送信号の一部を含む光信号を前記反射信号として受信する、ことを特徴とする光伝送装置。

[請求項14]

請求項1から請求項13のうちのいずれか1項に記載の光伝送装置と、前記光受信装置とを備えることを特徴とする光伝送システム。

[請求項15] 請求項10に記載の光伝送装置と前記光受信装置とを備え、
前記光受信装置は、
前記第1の光伝送信号を前記高周波帯の第1の受信信号に変換する
第1の光電変換器と、
前記第2の光伝送信号を前記高周波帯の第2の受信信号に変換する
第2の光電変換器と、
前記第1の受信信号と前記第2の受信信号との間の位相差を検出す
る位相検波器と、
当該検出された位相差を示すデータを前記位相差データとして前記
光伝送装置に送信するデータ送信部と
を備えることを特徴とする光伝送システム。

[請求項16] 光周波数帯よりも低い高周波帯の第1の伝送信号を前記光周波数帯
の第1の光伝送信号に変換し、当該第1の光伝送信号を第1の光受信
装置に向けて第1の光伝送路に送出する第1の光伝送装置と、
前記高周波帯の第2の伝送信号を前記光周波数帯の第2の光伝送信
号に変換し、当該第2の光伝送信号を第2の光受信装置に向けて第2
の光伝送路に送出する第2の光伝送装置と、
前記第1の光伝送路の伝送遅延時間と前記第2の光伝送路の伝送遅
延時間とを互いに比較して比較結果を得る遅延比較器とを備え、
前記第1の光伝送装置は、
入力された第1の発振制御信号に応じた第1の出力周波数を有する
第1の較正信号を出力する第1の制御発振器と、
第1のトリガ信号を生成する第1のトリガ生成器と、
前記第1のトリガ信号に応じて前記第1の伝送信号から第1のパル
ス信号を生成する第1のパルス生成器と、
前記第1のパルス信号及び前記第1の較正信号を光波に重畳するこ
とにより前記第1の光伝送信号を生成する第1の電光変換回路と、
前記第1の光伝送信号を前記第1の光伝送路に送出し、前記第1の

光伝送路から前記第1の光伝送信号の一部である第1の反射信号を受信する第1の光入出力部と、

前記第1の反射信号を高周波信号に変換する第1の光電変換器と、

前記第1の較正信号を用いて、前記第1の光電変換器の出力のうち前記第1の出力周波数を有する信号成分の周波数をシフトさせて第1の周波数変換信号を生成し、当該第1の周波数変換信号を第1の基準信号源から入力された基準信号と位相同期させるように前記第1の発振制御信号を生成する第1の位相同期回路と、

前記第1の較正信号と位相同期した高周波信号を前記第1の伝送信号の全部または一部として生成する第1の信号生成回路と、

前記第1の光電変換器の出力のうち前記第1の伝送信号と同じ周波数を有する信号成分と前記第1のパルス信号とから前記第1の光伝送路の伝送遅延時間を検出する第1の遅延検出回路とを有しており、

前記第2の光伝送装置は、

入力された第2の発振制御信号に応じた第2の出力周波数を有する第2の較正信号を出力する第2の制御発振器と、

第2のトリガ信号を生成する第2のトリガ生成器と、

前記第2のトリガ信号に応じて前記第2の伝送信号から第2のパルス信号を生成する第2のパルス生成器と、

前記第2のパルス信号及び前記第2の較正信号を光波に重畳することにより前記第2の光伝送信号を生成する第2の電光変換回路と、

前記第2の光伝送信号を前記第2の光伝送路に送出し、前記第2の光伝送路から前記第2の光伝送信号の一部である第2の反射信号を受信する第2の光入出力部と、

前記第2の反射信号を高周波信号に変換する第2の光電変換器と、

前記第2の較正信号を用いて、前記第2の光電変換器の出力のうち前記第2の出力周波数を有する信号成分の周波数をシフトさせて第2の周波数変換信号を生成し、当該第2の周波数変換信号を第2の基準

信号源から入力された基準信号と位相同期させるように前記第2の発振制御信号を生成する第2の位相同期回路と、

前記第2の較正信号と位相同期した高周波信号を前記第2の伝送信号の全部または一部として生成する第2の信号生成回路と、

前記第2の光電変換器の出力のうち前記第2の伝送信号と同じ周波数を有する信号成分と前記第2のパルス信号とから前記第2の光伝送路の伝送遅延時間を検出する第2の遅延検出回路とを有しており、

前記遅延比較器は、前記比較結果に基づき、前記第1のトリガ生成器及び前記第2のトリガ生成器それぞれの動作を制御することにより前記第1のトリガ信号及び前記第2のトリガ信号がそれぞれ生成されるべきタイミングを制御する、

ことを特徴とする光伝送システム。

[請求項17]

請求項16に記載の光伝送システムであって、

前記第1の光伝送装置は、前記第1の光電変換器の出力から、前記第1の出力周波数を有する当該信号成分と前記第1の伝送信号と同じ周波数を有する当該信号成分とを分離する第1の周波数分離器をさらに有し、

前記第2の光伝送装置は、前記第2の光電変換器の出力から、前記第2の出力周波数を有する当該信号成分と前記第2の伝送信号と同じ周波数を有する当該信号成分とを分離する第2の周波数分離器をさらに有する、

ことを特徴とする光伝送システム。

[請求項18]

光周波数帯よりも低い高周波帯の第1の伝送信号及び第2の伝送信号を前記光周波数帯の第1の光伝送信号及び第2の光伝送信号にそれぞれ変換し、当該第1の光伝送信号及び当該第2の光伝送信号を光受信装置に向けて第1の光伝送路及び第2の光伝送路にそれぞれ送出する光伝送装置であって、

入力された発振制御信号に応じた出力周波数を有する較正信号を出

力する制御発振器と、

前記第 1 の伝送信号を出力する信号生成回路と、

前記第 1 の伝送信号を前記第 1 の光伝送信号に変換する第 1 の電光変換器と、

前記較正信号を前記第 2 の伝送信号とし、前記較正信号を前記第 2 の光伝送信号に変換する第 2 の電光変換器と、

前記第 2 の光伝送信号を前記第 2 の光伝送路に送出し、前記第 2 の光伝送路から前記第 2 の光伝送信号の一部である反射信号成分と前記第 1 の光伝送信号の一部とを含む光信号を受信する光入出力部と、

前記光入出力部で受信された光信号を前記高周波帯のフィードバック信号に変換する光電変換器と、

前記較正信号を用いて、前記フィードバック信号のうち前記制御発振器の出力周波数と同じ周波数を有する信号成分の周波数をシフトさせて周波数変換信号を生成し、当該周波数変換信号を、基準信号源から入力された基準信号と位相同期させるように前記発振制御信号を生成する位相同期回路と

を備え、

前記信号生成回路は、前記フィードバック信号のうち前記第 1 の伝送信号の周波数と同じ周波数を有する信号成分と前記較正信号との間の位相差を低減させるように前記第 1 の伝送信号を生成する、ことを特徴とする光伝送装置。

[請求項19]

光周波数帯よりも低い高周波帯の第 1 の伝送信号及び第 2 の伝送信号を前記光周波数帯の第 1 の光伝送信号及び第 2 の光伝送信号にそれぞれ変換し、当該第 1 の光伝送信号及び当該第 2 の光伝送信号を光受信装置に向けて第 1 の光伝送路及び第 2 の光伝送路にそれぞれ送出する光伝送装置であって、

入力された発振制御信号に応じた出力周波数を有する較正信号を出力する制御発振器と、

基準信号源から入力された基準信号と位相同期した高周波信号を出力する第1の信号生成回路と、

前記基準信号を動作クロックとして動作して高周波信号を出力する第1のダイレクト・デジタル・シンセサイザと、

前記第1のダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力と前記第1の信号生成回路の出力とを互いに混合して前記第1の伝送信号を生成する第1のミキサと、

前記第1の伝送信号を前記第1の光伝送信号に変換する第1の電光変換器と、

前記較正信号を前記第2の光伝送信号に変換する第2の電光変換器と、

前記第2の光伝送信号を前記第2の光伝送路に送出し、前記第2の光伝送路から前記第2の光伝送信号の一部である反射信号成分と前記第1の光伝送信号の一部とを含む光信号を受信する光入出力部と、

前記光入出力部で受信された光信号を前記高周波帯のフィードバック信号に変換する光電変換器と、

前記較正信号を用いて、前記フィードバック信号のうち前記制御発振器の出力周波数と同じ周波数を有する信号成分の周波数をシフトさせて周波数変換信号を生成し、当該周波数変換信号を前記基準信号と位相同期させるように前記発振制御信号を生成する位相同期回路と、

前記較正信号と位相同期した高周波信号を出力する第2の信号生成回路と、

前記較正信号と同期して動作して高周波信号を出力する第2のダイレクト・デジタル・シンセサイザと、

前記第2のダイレクト・デジタル・シンセサイザの出力と前記第2の信号生成回路の出力とを互いに混合する第2のミキサと、

前記フィードバック信号のうち前記第1の伝送信号の周波数と同じ周波数を有する信号成分と前記第2のミキサの出力との位相差を検出

する位相検波器と、

当該検出された位相差に基づいて前記第1のダイレクト・デジタル・シンセサイザ及び前記第2のダイレクト・デジタル・シンセサイザそれぞれの出力の位相を制御する伝送制御部とを備えることを特徴とする光伝送装置。

[請求項20]

請求項18または請求項19に記載の光伝送装置であって、前記位相同期回路は、

前記較正信号の周波数を逡倍する逡倍器と、

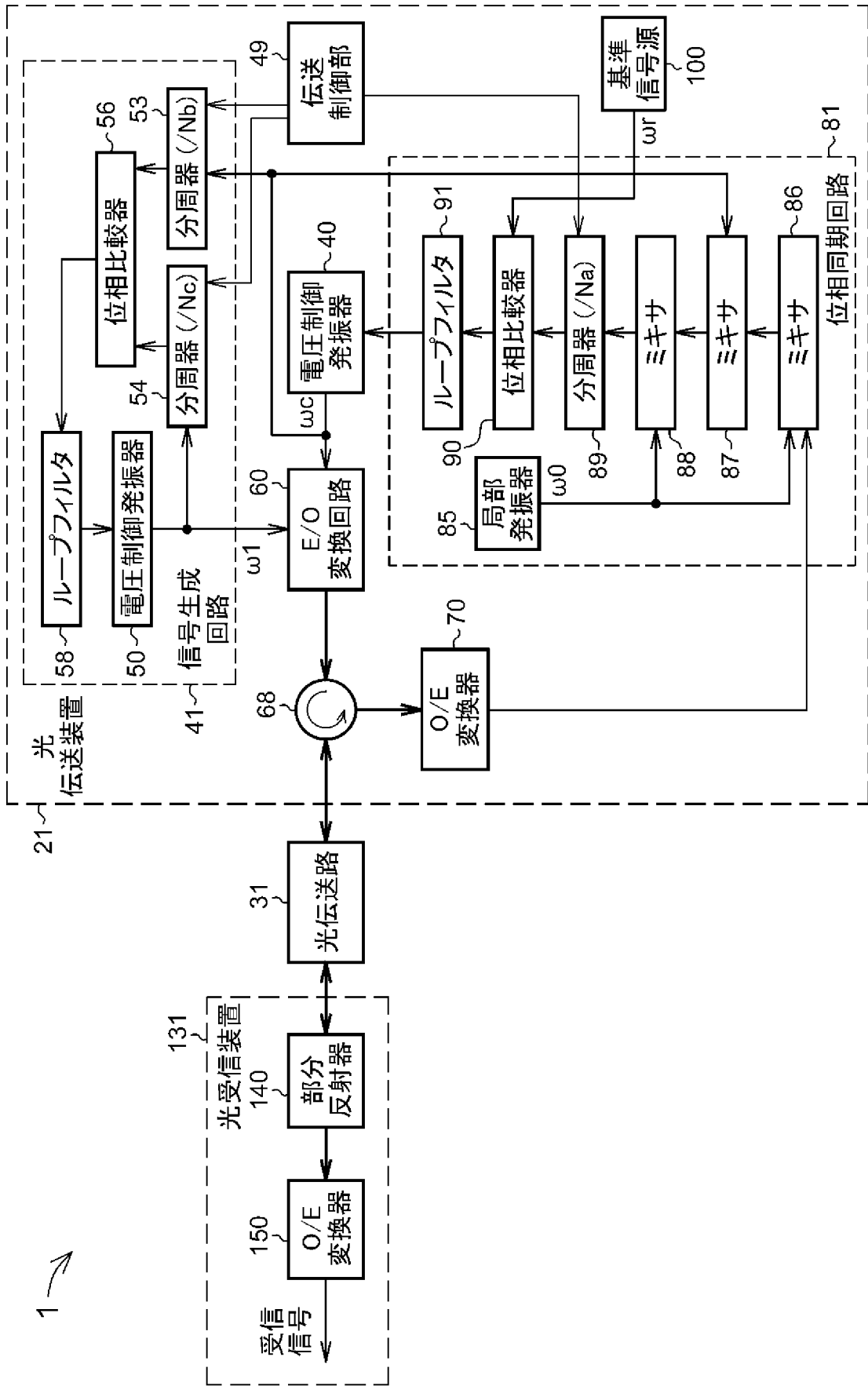
前記フィードバック信号の周波数を、当該逡倍された周波数だけ低周波数側にシフトさせて前記周波数変換信号を生成する周波数変換回路と

を含むことを特徴とする光伝送装置。

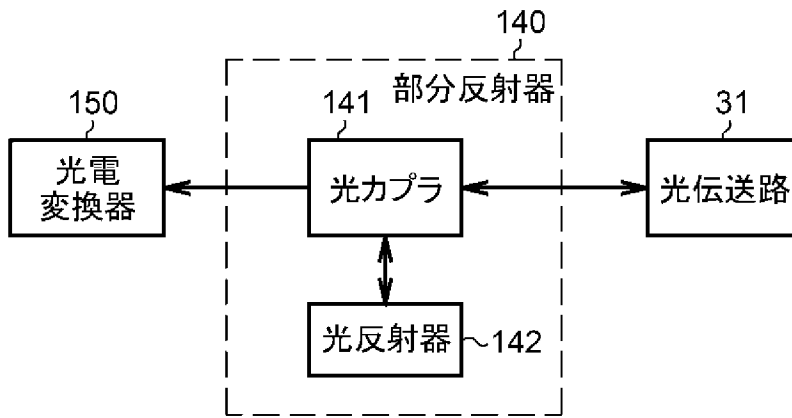
[請求項21]

請求項18または請求項19に記載の光伝送装置と、前記光受信装置とを備えることを特徴とする光伝送システム。

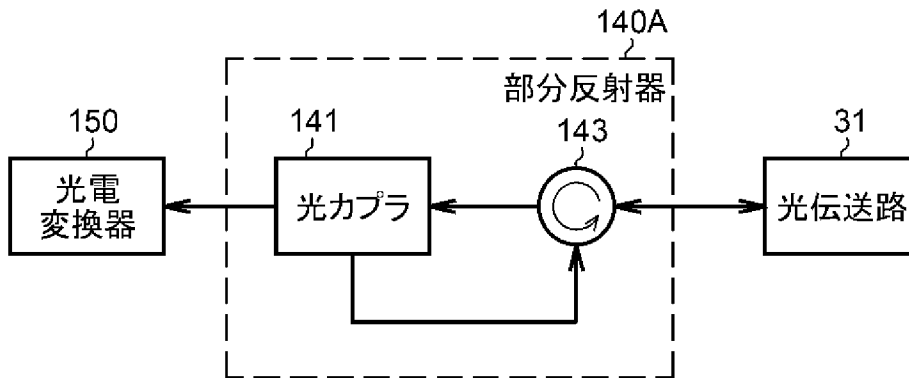
[図1]



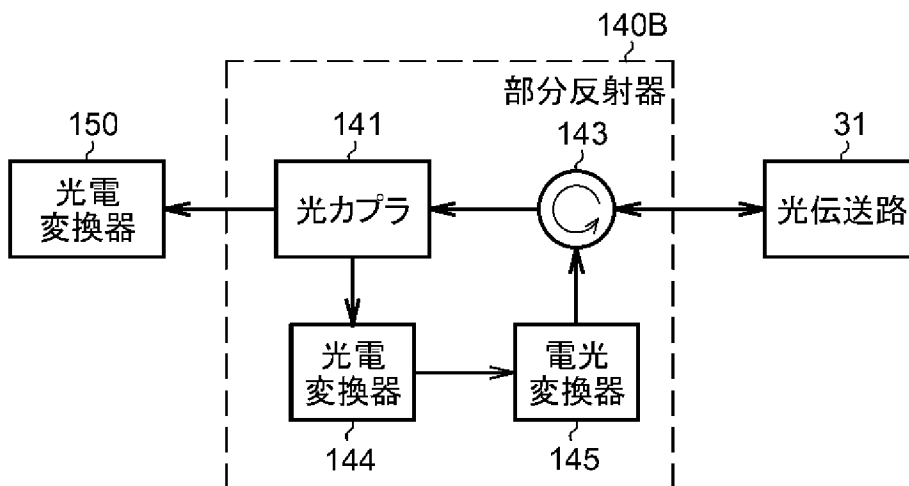
[図2]



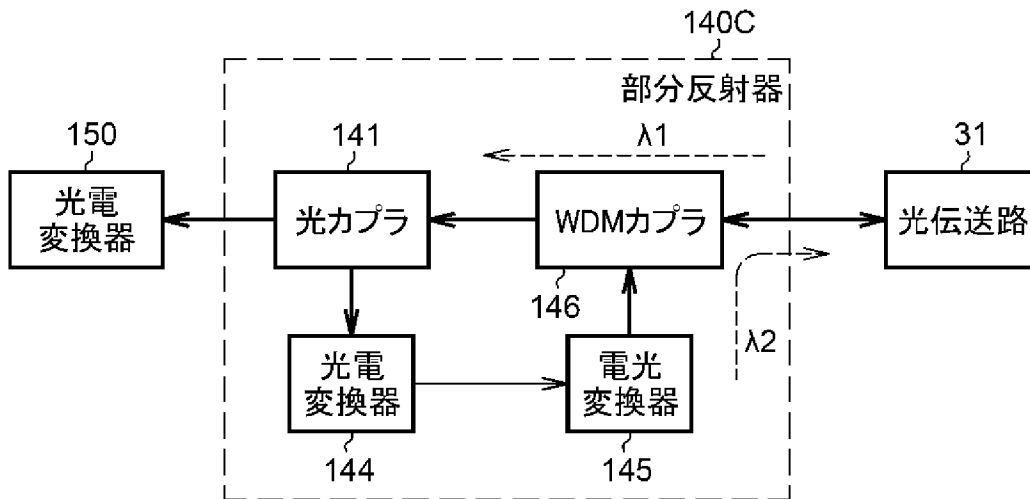
[図3]



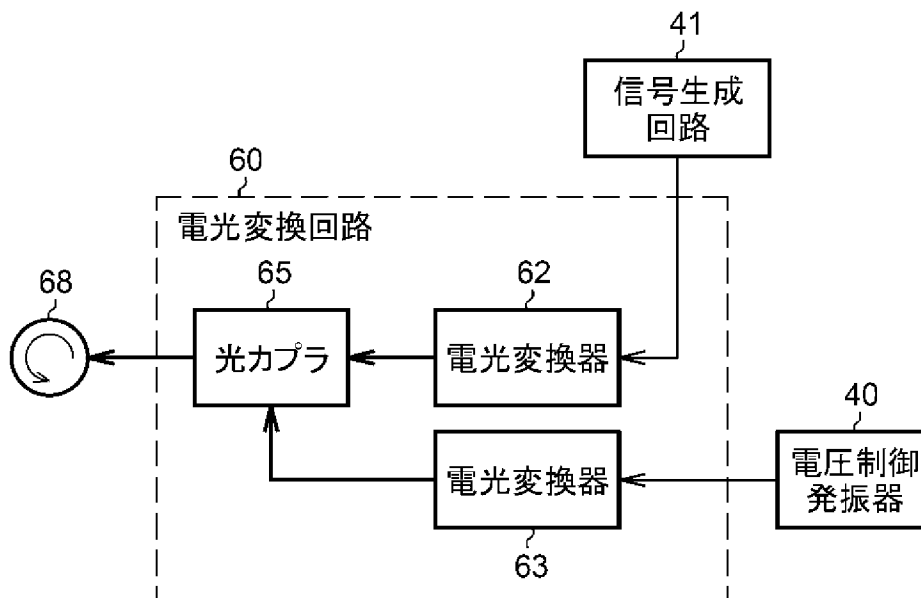
[図4]



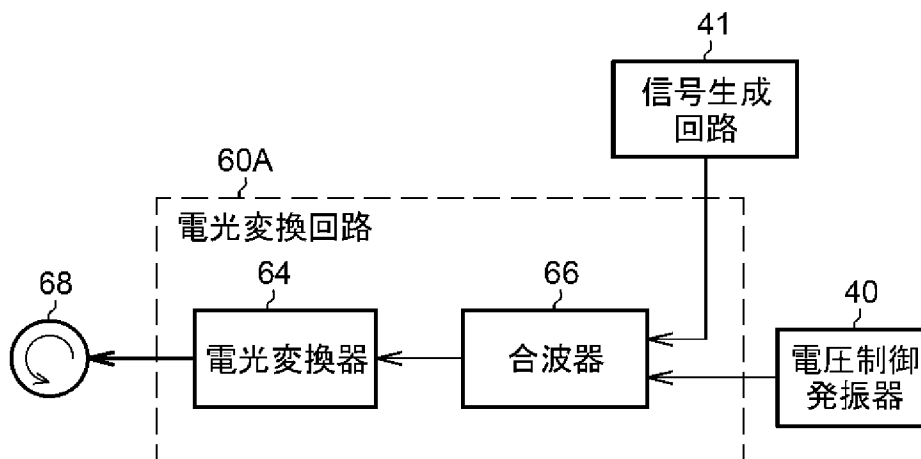
[図5]



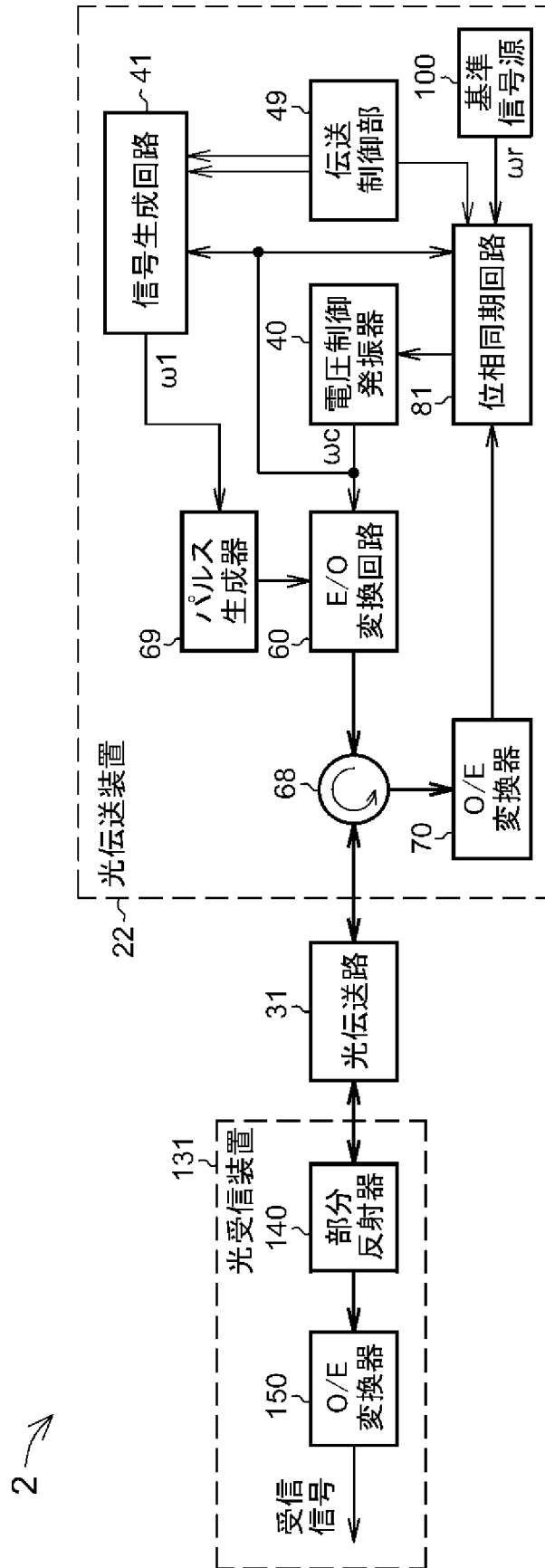
[図6]



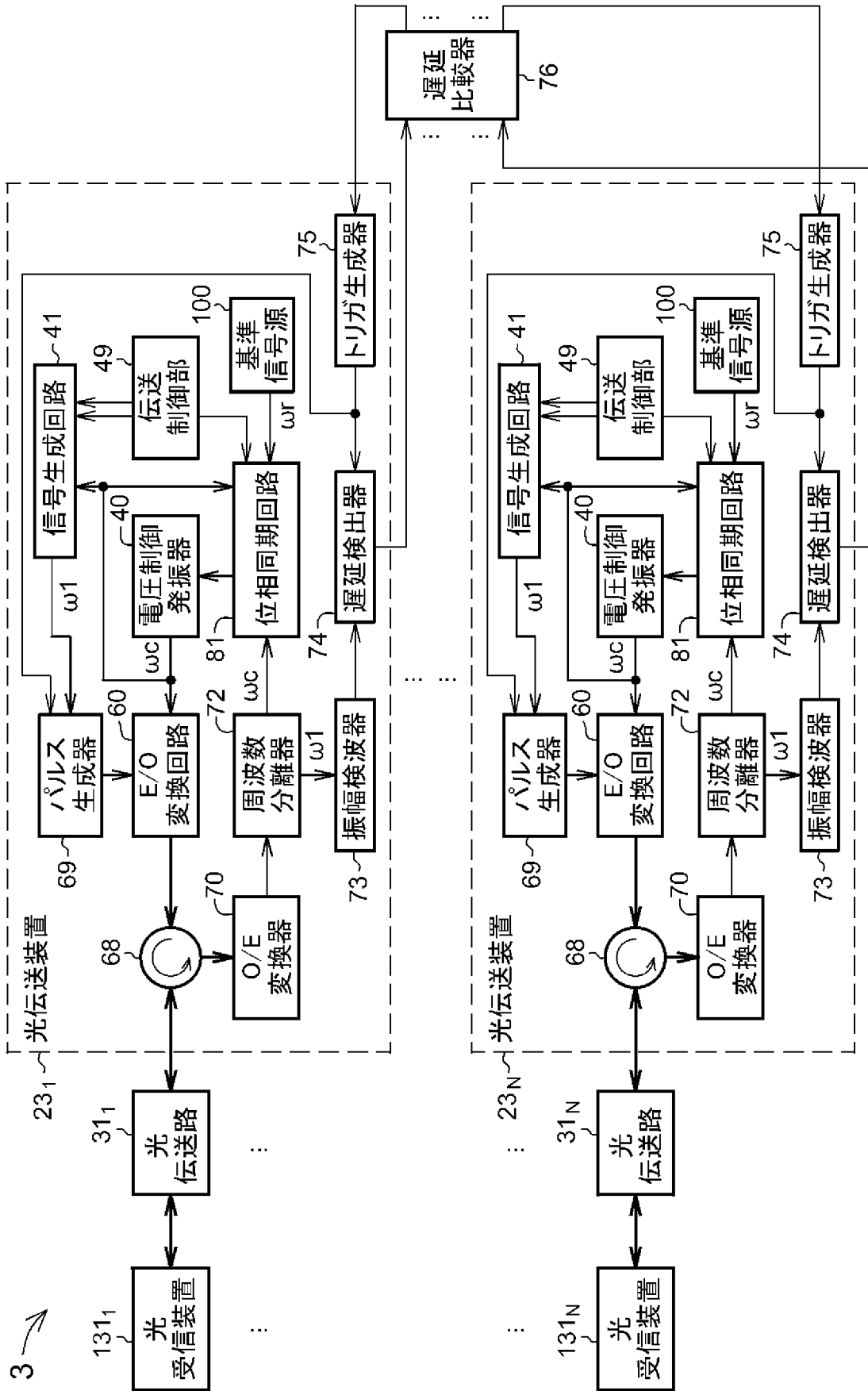
[図7]



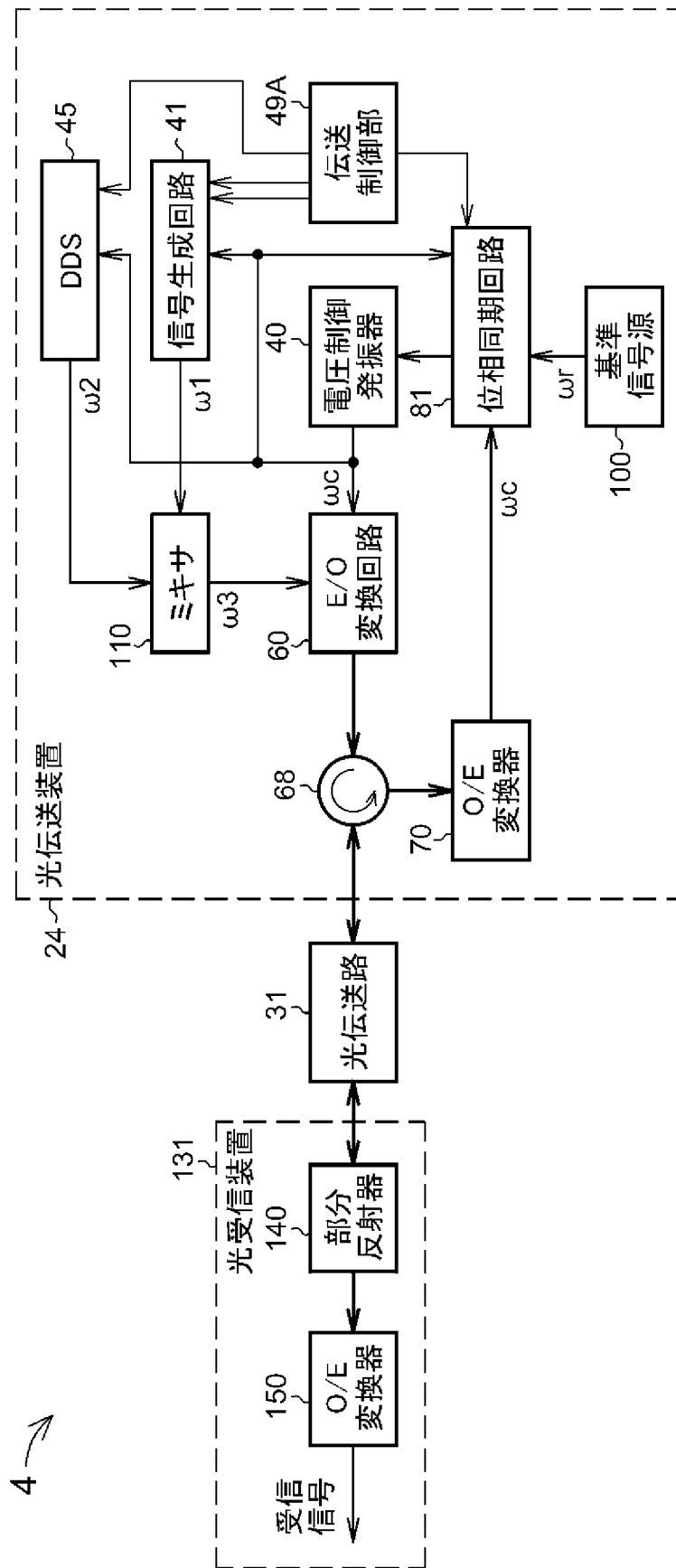
[図8]



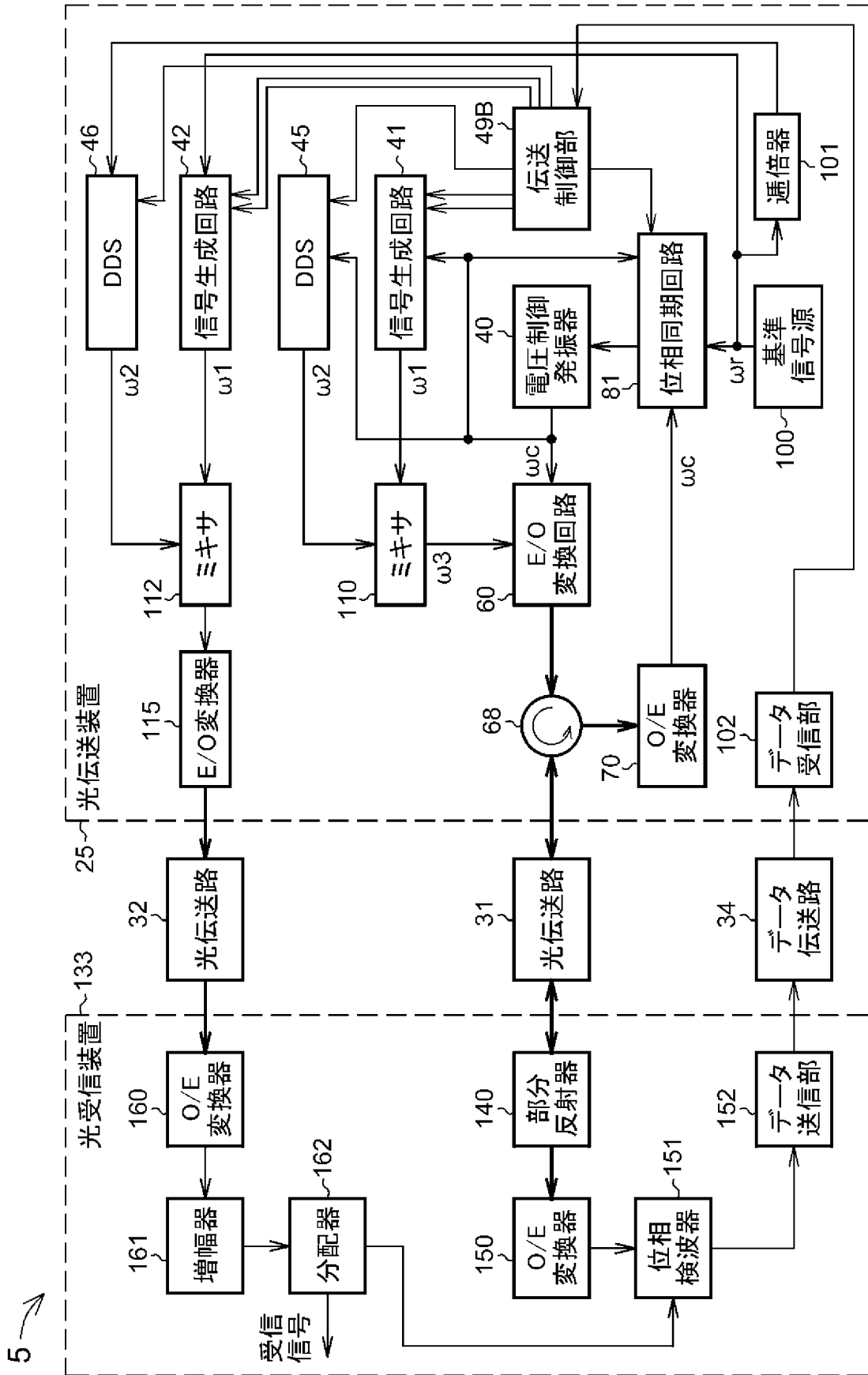
[図9]



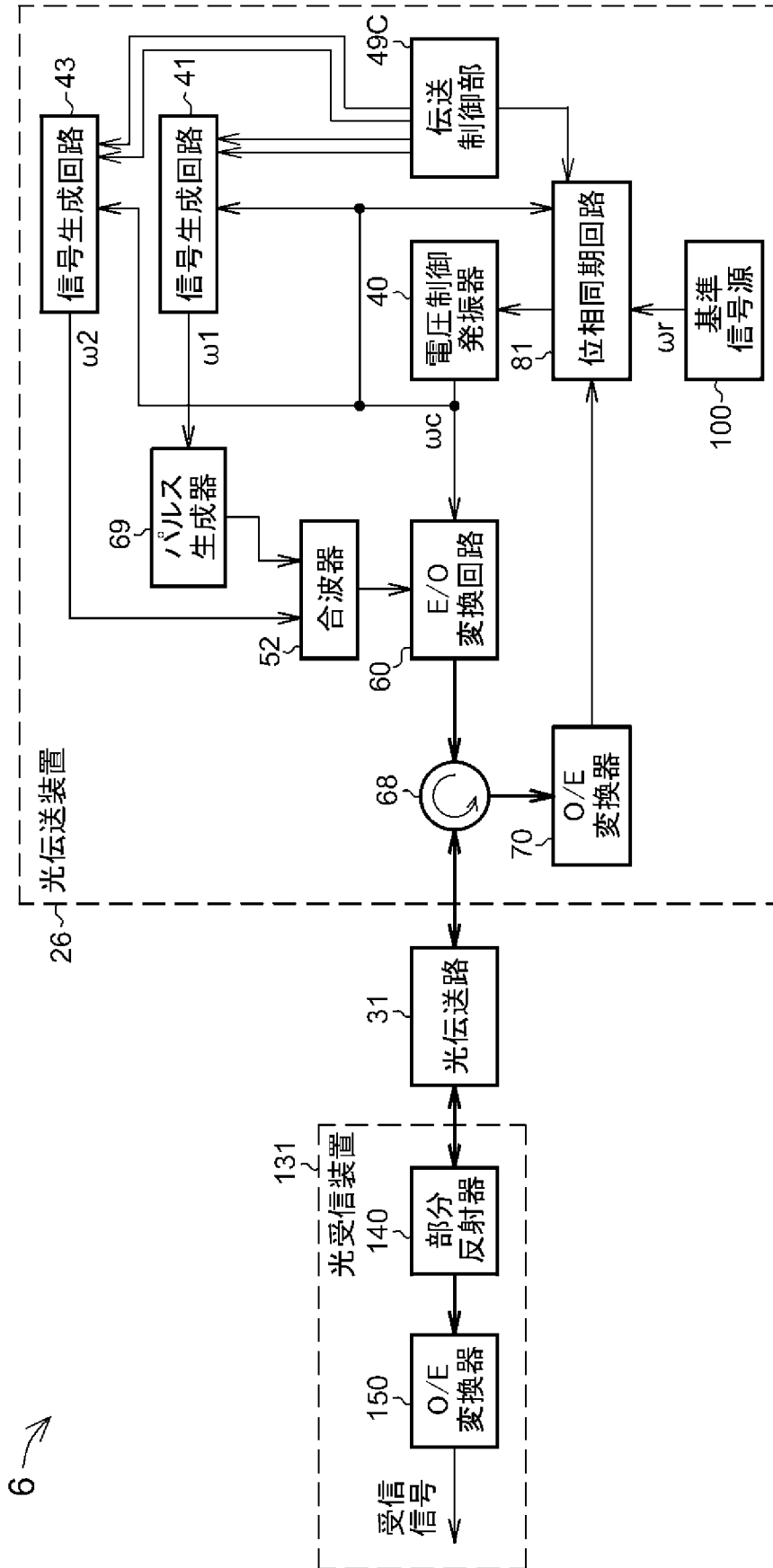
[図10]



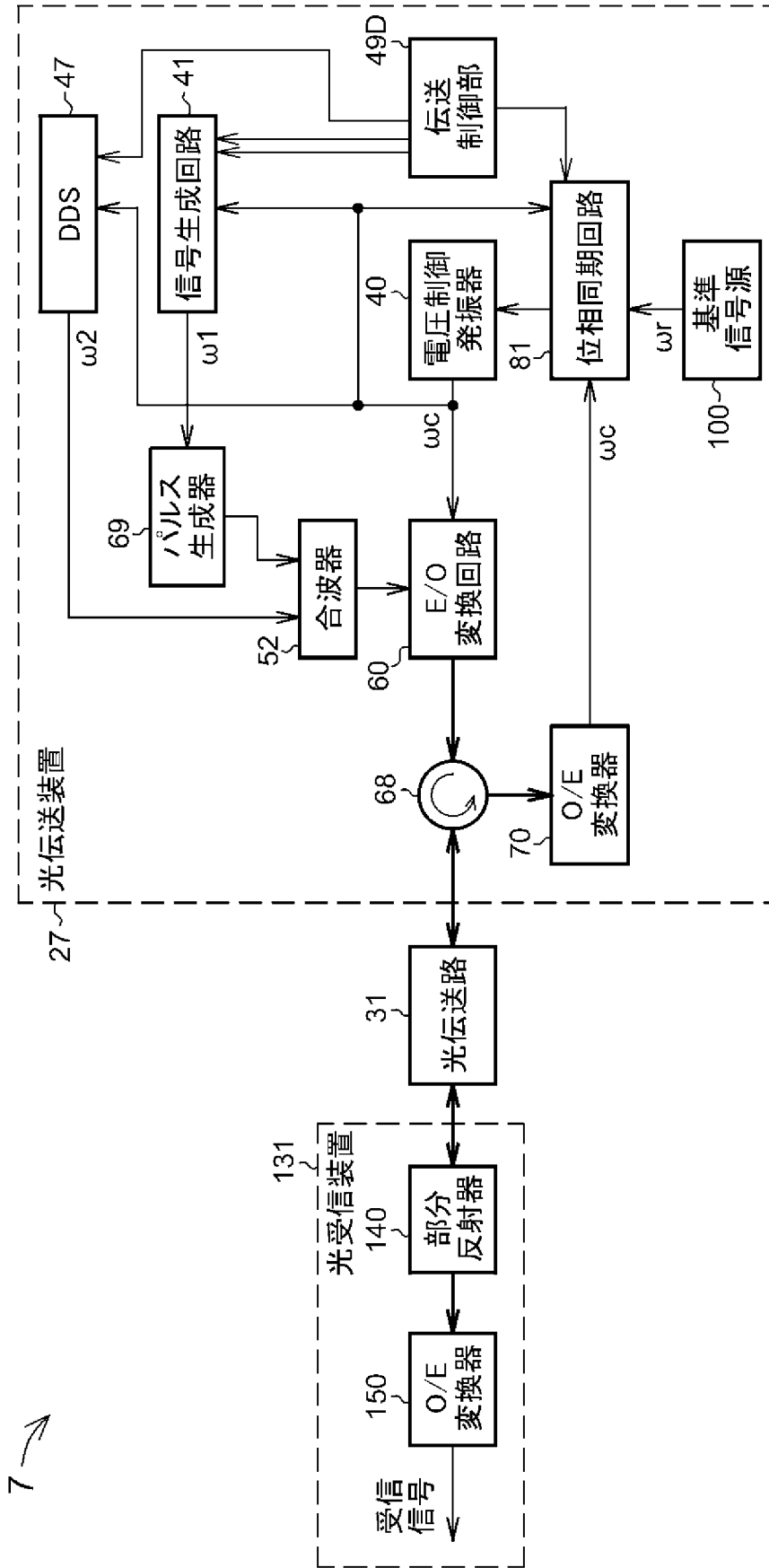
[図11]



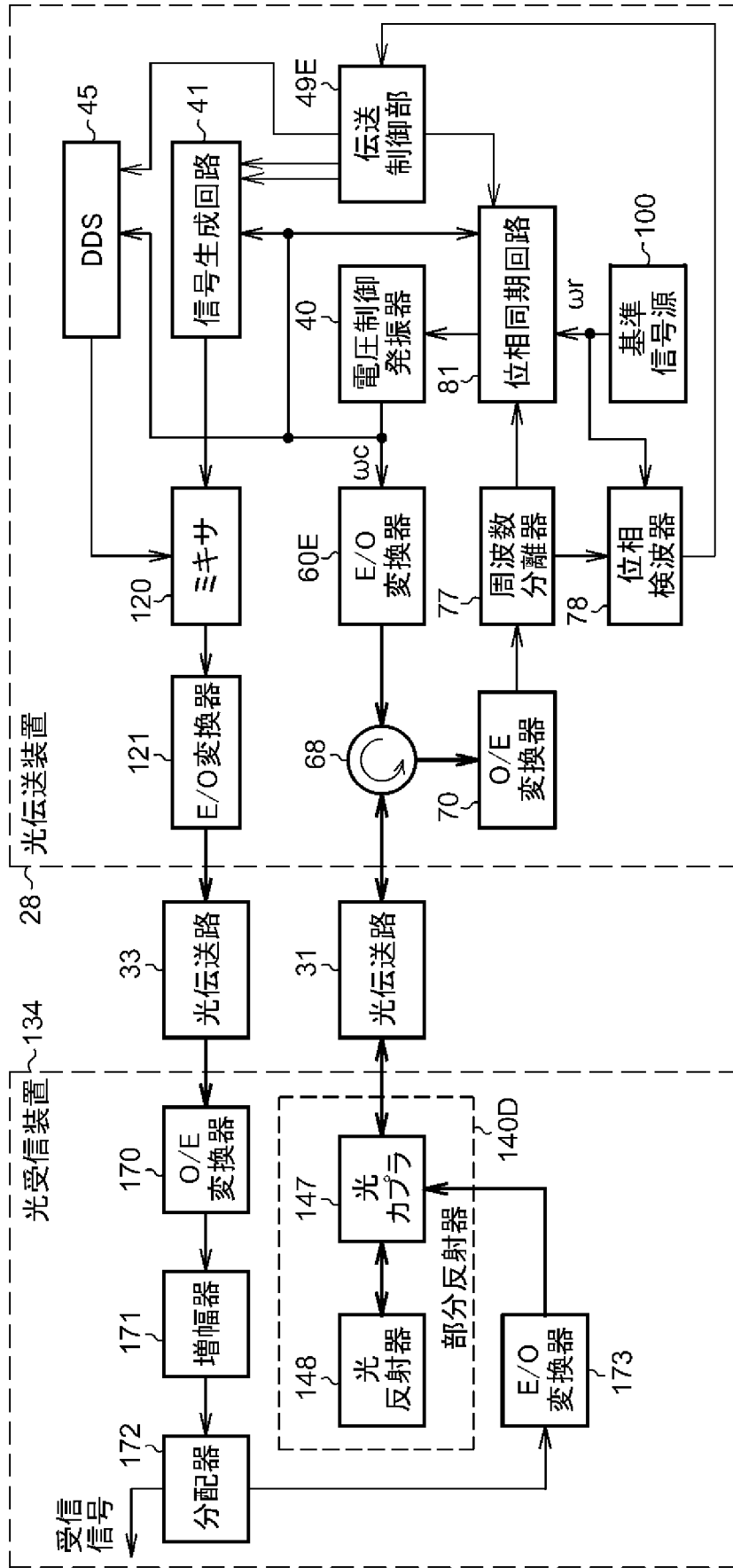
[図12]



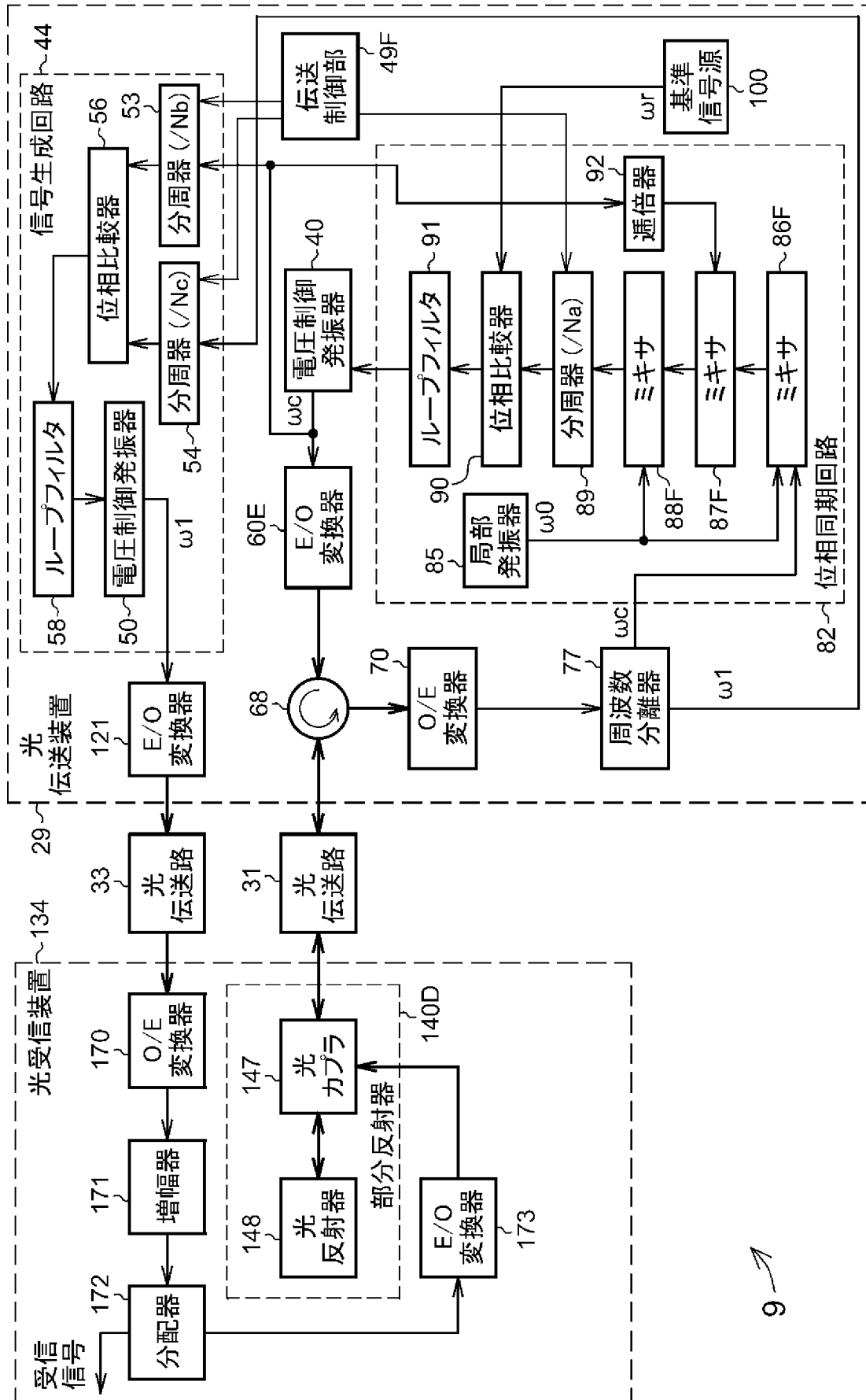
[図13]



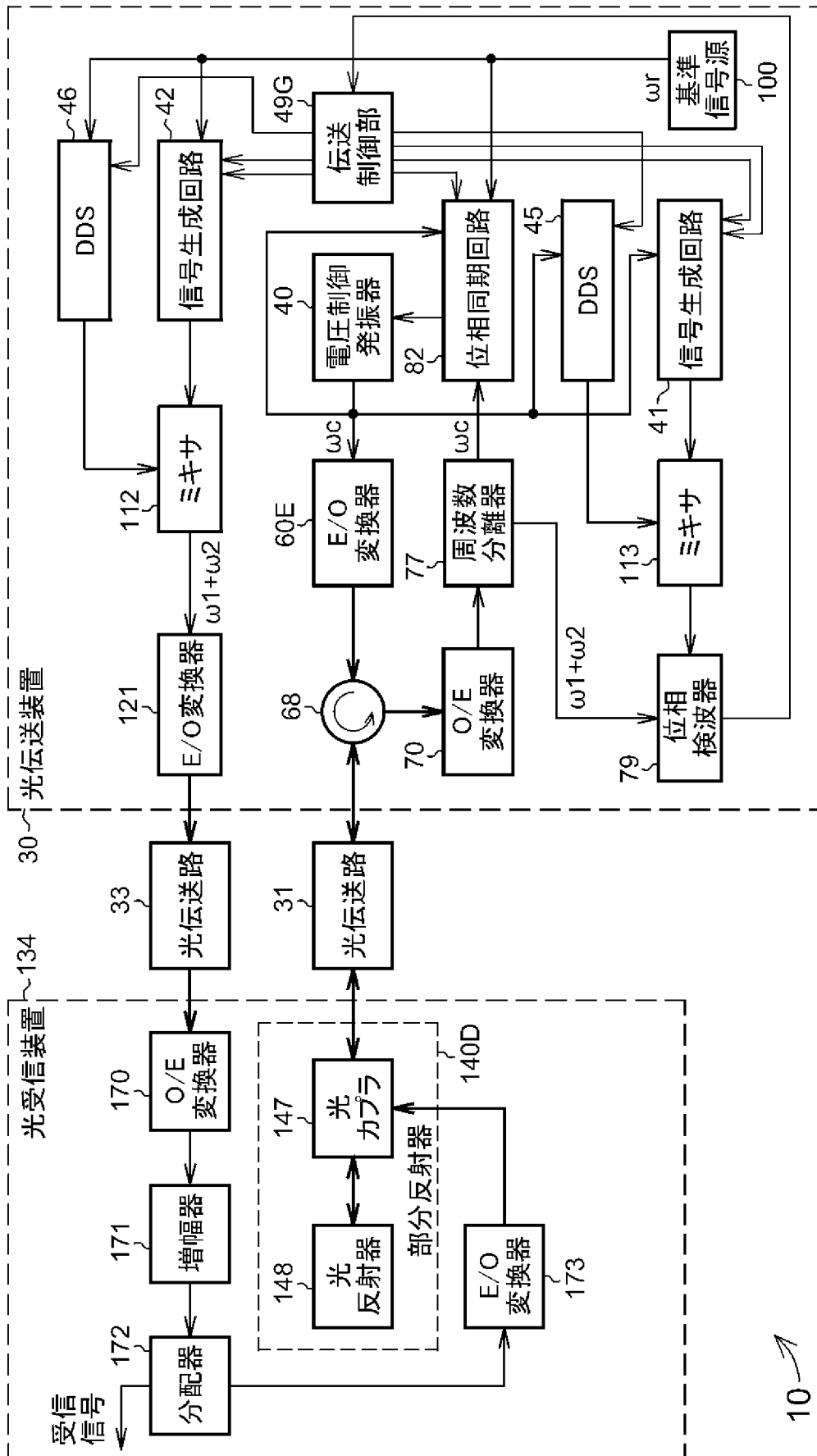
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/028679

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H04B10/2507(2013.01) i, H04B10/2575(2013.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H04B10/2507, H04B10/2575

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2013-42478 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 28 February 2013, paragraphs [0017]-[0041], fig. 1, 2	1-7, 14, 18, 20-21
A	(Family: none)	8-13, 15-17, 19
A	JP 2012-142841 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 26 July 2012, entire text (Family: none)	16-17
A	US 2018/0138978 A1 (U. S. ARMY RESEARCH LABORATORY ATTN: RDRL-LOC-I) 17 May 2018, entire text (Family: none)	16-17

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 05.10.2018	Date of mailing of the international search report 16.10.2018
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H04B10/2507(2013.01)i, H04B10/2575(2013.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H04B10/2507, H04B10/2575		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2018年 日本国実用新案登録公報 1996-2018年 日本国登録実用新案公報 1994-2018年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A A	JP 2013-42478 A（三菱電機株式会社）2013.02.28, 段落 [0017]-[0041], 図 1-2（ファミリーなし） JP 2012-142841 A（三菱電機株式会社）2012.07.26, 全文（ファミ リーなし）	1-7, 14, 18, 20-21 8-13, 15-17, 19 16-17
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 05.10.2018	国際調査報告の発送日 16.10.2018	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 鴨川 学 電話番号 03-3581-1101 内線 3556	5K 6307

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 2018/0138978 A1 (U. S. ARMY RESEARCH LABORATORY ATTN: RDRL-LOC-I) 2018.05.17, 全文 (ファミリーなし)	16-17