

(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
2021年6月24日(24.06.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/124652 A1

(51) 国際特許分類:
H04B 10/079 (2013.01) *H04B 10/516* (2013.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/037937

(22) 国際出願日: 2020年10月7日(07.10.2020)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
PCT/JP2019/049890 2019年12月19日(19.12.2019) JP

(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).

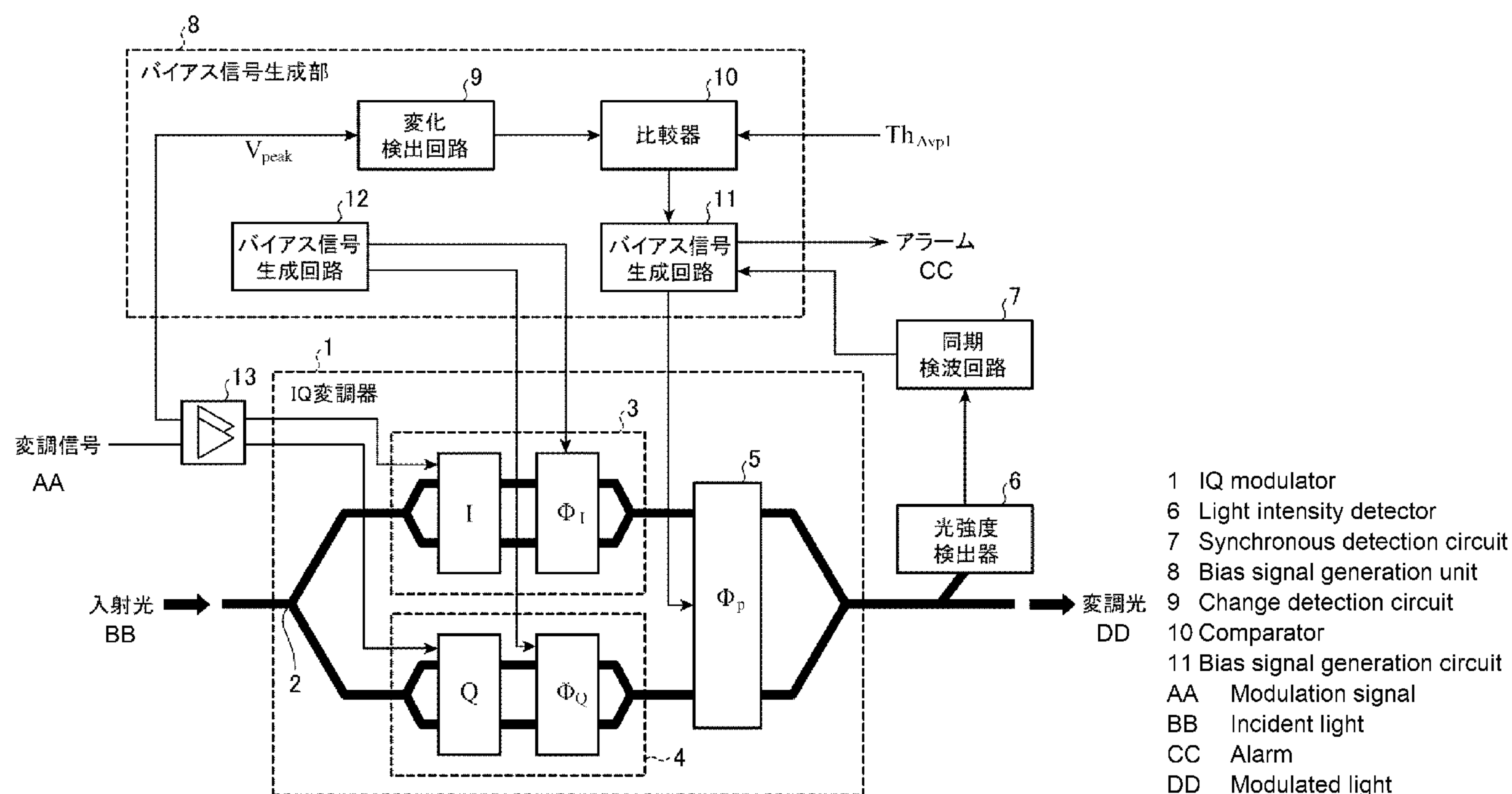
(72) 発明者: 三浦 浩志(MIURA, Hiroshi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人山王内外特許事務所 (SANNO PATENT ATTORNEYS OFFICE); 〒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, 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, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION DEVICE

(54) 発明の名称: 光送信装置



(57) Abstract: This optical transmission device is configured to comprise: an IQ optical modulator (1) which modulates incident light by means of a modulation signal, adjusts the phase of the modulated light that is light after the modulation by means of a phase bias indicated by a bias signal, outputs the modulated light after the phase adjustment, adjusts the phase of the incident light by means of the phase bias indicated by the bias signal, adjusts the light after the phase adjustment by means of the modulation signal, and then outputs the modulated light that is light after the modulation; a light intensity detector (6) that detects the light intensity of the modulated light output from the IQ optical modulator (1); a synchronous detection circuit (7) that performs synchronous detection of a light intensity and a dither signal indicating the light intensity

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,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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))

detected by the light intensity detector (6), and outputs a synchronous detection signal indicating a result of the synchronous detection; and a bias signal generation unit (8) which monitors a change in the amplitude of the modulation signal, generates the bias signal according to the synchronous detection signal output from the synchronous detection circuit (7) when the range of the change is equal to or less than a first threshold, and generates, as the bias signal output to the light intensity detector (6), the bias signal that maintains the phase bias before the range of the change becomes more than the first threshold when the range of the change is more than the first threshold.

(57) 要約: 入射された光を変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整して、位相調整後の変調光を出力し、又は、入射された光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整してから、位相調整後の光を変調信号によって変調して、変調後の光である変調光を出力する I Q 光変調器 (1) と、I Q 光変調器 (1) から出力された変調光の光強度を検出する光強度検出器 (6) と、光強度検出器 (6) により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す同期検波信号を出力する同期検波回路 (7) と、変調信号の振幅の変化を監視し、変化の範囲が第 1 の閾値以下であれば、同期検波回路 (7) から出力された同期検波信号に従ってバイアス信号を生成し、変化の範囲が第 1 の閾値よりも大きければ、光強度検出器 (6) に出力するバイアス信号として、変化の範囲が第 1 の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成するバイアス信号生成部 (8) とを備えるように、光送信装置を構成した。

明 細 書

発明の名称：光送信装置

技術分野

[0001] 本開示は、直交光変調器を備える光送信装置に関するものである。

背景技術

[0002] 例えば、以下の特許文献 1 には、駆動信号を用いて、入射された光を変調する光変調器と、光変調器の位相バイアスを制御する自動バイアス制御回路とを有する光送信器が開示されている。

当該自動バイアス制御回路は、当該光変調器から出力された光を電気信号に変換するフォトデテクタと、当該電気信号とディザ信号との同期検波を実施する同期検波部とを有している。

また、当該自動バイアス制御回路は、同期検波部による同期検波の結果が 0 になるように、当該光変調器の位相バイアスを制御する制御部を備えている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1：国際公開 2017-145981 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献 1 に開示されている光送信器では、駆動信号の変調フォーマットが運用中に変更される等の状況が発生することによって、同期検波の結果が時間的に不連続になることがある。同期検波の結果が時間的に不連続になると、制御部による位相バイアスが誤った方向に制御されてしまい、光変調器の出力信号に劣化が生じてしまうことがある等の課題があった。

[0005] 本開示は、上記のような課題を解決するためになされたもので、同期検波の結果が時間的に不連続になっても、直交光変調器による位相調整後の変調光の劣化を抑えることができる光送信装置を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示に係る光送信装置は、入射された光を変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整して、位相調整後の変調光を出力し、又は、入射された光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整してから、位相調整後の光を変調信号によって変調して、変調後の光である変調光を出力する直交光変調器と、直交光変調器から出力された変調光の光強度を検出する光強度検出器と、光強度検出器により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す同期検波信号を出力する同期検波回路と、変調信号の振幅の変化を監視し、変化の範囲が第1の閾値以下であれば、同期検波回路から出力された同期検波信号に従ってバイアス信号を生成し、変化の範囲が第1の閾値よりも大きければ、直交光変調器に出力するバイアス信号として、変化の範囲が第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成するバイアス信号生成部とを備えるようにしたものである。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、変調信号の振幅の変化を監視し、変化の範囲が第1の閾値以下であれば、同期検波回路から出力された同期検波信号に従ってバイアス信号を生成し、変化の範囲が第1の閾値よりも大きければ、直交光変調器に出力するバイアス信号として、変化の範囲が第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成するバイアス信号生成部を備えるように、光送信装置を構成した。したがって、本開示に係る光送信装置は、同期検波の結果が時間的に不連続になっても、直交光変調器による位相調整後の変調光の劣化を抑えることができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態1に係る光送信装置を示す構成図である。

[図2]バイアス信号生成部8が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

[図3]バイアス信号生成部8の処理手順を示すフローチャートである。

[図4]実施の形態2に係る光送信装置を示す構成図である。

[図5]バイアス信号生成部14の処理手順を示すフローチャートである。

[図6]実施の形態3に係る光送信装置を示す構成図である。

[図7]バイアス信号生成部30の処理手順を示すフローチャートである。

[図8]実施の形態4に係る光送信装置を示す構成図である。

[図9]バイアス信号生成部34の処理手順を示すフローチャートである。

[図10]実施の形態5に係る光送信装置を示す構成図である。

[図11]実施の形態6に係る光送信装置を示す構成図である。

[図12]実施の形態7に係る光送信装置を示す構成図である。

[図13]実施の形態8に係る光送信装置を示す構成図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、本開示をより詳細に説明するために、本開示を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

[0010] 実施の形態1.

図1は、実施の形態1に係る光送信装置を示す構成図である。

図1において、直交光変調器（以下、「I Q光変調器」と称する）1は、分岐部2と、第1のマッハツェンダー干渉計3と、第2のマッハツェンダー干渉計4と、位相調整電極部5とを備えている。

I Q光変調器1は、入射された光を変調信号によって変調し、変調後の光である変調光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整する。

図1に示す光送信装置では、I Q光変調器1が、入射された光を変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整している。しかし、これは一例に過ぎず、I Q光変調器1が、入射された光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整してから、位相調整後の光を変調信号によって変調するようにしてもよい。

I Q光変調器1に入射される光としては、LD (L a s e r D i o d e

）等の光源から出射される連続光等が用いられる。

[0011] 分岐部 2 は、入射された光を 2 つに分岐し、分岐後の 2 つの光のうち、一方の光を第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 に出力し、分岐後の 2 つの光のうち、他方の光を第 2 のマッハツェンダー干渉計 4 に出力する。

第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 は、同相チャンネルである I c h 用のマッハツェンダー型干渉計であり、分岐部 2 による分岐後の 2 つの光のうち、一方の光を、後述するドライバ 1 3 から出力された I c h 用の変調信号によって変調する。

また、第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 は、変調後の光である変調光の位相を、後述するバイアス信号生成回路 1 2 から出力された I c h 用のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_I によって調整し、位相調整後の変調光を位相調整電極部 5 に出力する。

図 1 に示す光送信装置では、第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 が、一方の光を I c h 用の変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相を位相バイアス ϕ_I によって調整している。しかし、これは一例に過ぎず、第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 が、一方の光の位相を位相バイアス ϕ_I によって調整してから、位相調整後の光を I c h 用の変調信号によって変調するようにしてもよい。

[0012] 第 2 のマッハツェンダー干渉計 4 は、同相チャンネルと直交しているチャンネルである Q c h 用のマッハツェンダー型干渉計であり、分岐部 2 による分岐後の 2 つの光のうち、他方の光を、ドライバ 1 3 から出力された Q c h 用の変調信号によって変調する。

また、第 2 のマッハツェンダー干渉計 4 は、変調後の光である変調光の位相を、バイアス信号生成回路 1 2 から出力された Q c h 用のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_Q によって調整し、位相調整後の変調光を位相調整電極部 5 に出力する。

図 1 に示す光送信装置では、第 2 のマッハツェンダー干渉計 4 が、他方の光を Q c h 用の変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の

位相を位相バイアス ϕ_Q によって調整している。しかし、これは一例に過ぎず、第2のマッハツェンダー干渉計4が、他方の光の位相を位相バイアス ϕ_Q によって調整してから、位相調整後の光をQch用の変調信号によって変調するようにしてもよい。

[0013] 位相調整電極部5は、第1のマッハツェンダー干渉計3から出力された変調光の位相と、第2のマッハツェンダー干渉計4から出力された変調光の位相とを、後述するバイアス信号生成回路11から出力されたバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_P によって調整する。

位相調整電極部5は、位相バイアス ϕ_P による2つの位相調整後の変調光を合波し、合波後の変調光を外部に出力する。

[0014] 光強度検出器6は、例えば、フォトデテクタによって実現される。

光強度検出器6は、IQ光変調器1による位相調整後の変調光、即ち、位相調整電極部5から出力された合波後の変調光の光強度を検出し、変調光の光強度を示す光強度信号を後述する同期検波回路7に出力する。光強度信号は、電気信号である。

[0015] 同期検波回路7は、例えば、自動バイアス制御回路によって実現される。

同期検波回路7は、光強度検出器6により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施する。

同期検波回路7は、同期検波の結果を示す同期検波信号を後述するバイアス信号生成部8に出力する。

ディザ信号は、正弦波又は三角波等の規則的な信号である。ディザ信号を発振するディザ信号源は、同期検波回路7の外部に設けられていてもよいし、同期検波回路7に内蔵されていてもよい。

[0016] バイアス信号生成部8は、変化検出回路9と、比較器10と、バイアス信号生成回路11と、バイアス信号生成回路12とを備えている。

バイアス信号生成部8は、ドライバ13から出力された変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視する。

バイアス信号生成部8は、変化の範囲が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ 以下であれば

、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成部 8 は、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きければ、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_p を維持するバイアス信号を生成する。変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_p は、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ 以下であるときの 1 つ以上の位相バイアス ϕ_p のうち、例えば、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる直前の位相バイアス ϕ_p である。ただし、これは一例に過ぎず、実用上問題がなければ、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる直前の位相バイアス ϕ_p よりも、例えば、1 サンプル前又は 2 サンプル前の位相バイアス ϕ_p であってもよい。

バイアス信号生成部 8 は、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きければ、アラームを外部に出力する。

バイアス信号生成部 8 は、生成したバイアス信号を I/Q 光変調器 1 に出力する。

第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ は、バイアス信号生成部 8 の内部メモリに格納されていてもよいし、バイアス信号生成部 8 の外部から与えられるものであってもよい。

[0017] 変化検出回路 9 は、例えば、微分回路によって実現される。

変化検出回路 9 は、変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視し、変化の範囲である変化量 ΔV_{peak} を示す信号を比較器 10 に出力する。

比較器 10 は、変化検出回路 9 の出力信号が示す変化量 ΔV_{peak} と第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ とを比較し、変化量 ΔV_{peak} と第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ との比較結果をバイアス信号生成回路 11 に出力する。

[0018] バイアス信号生成回路 11 は、比較器 10 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ 以下である旨を示していれば、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 11 は、比較器 10 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak}

が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路11は、生成したバイアス信号を位相調整電極部5に出力する。

バイアス信号生成回路11は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい旨を示していれば、アラームを外部に出力する。

[0019] バイアス信号生成回路12は、位相バイアス ϕ_I を示すIc h用のバイアス信号を生成し、Ic h用のバイアス信号を第1のマッハツェンダー干渉計3に出力する。

また、バイアス信号生成回路12は、位相バイアス ϕ_Q を示すQc h用のバイアス信号を生成し、Qc h用のバイアス信号を第2のマッハツェンダー干渉計4に出力する。

[0020] ドライバ13は、外部から変調信号が与えられると、変調信号を増幅する。外部から与えられる変調信号は、Ic h用の変調信号とQc h用の変調信号とを含んでいる。

ドライバ13は、増幅後のIc h用の変調信号を第1のマッハツェンダー干渉計3に出力し、増幅後のQc h用の変調信号を第2のマッハツェンダー干渉計4に出力する。

また、ドライバ13は、Ic h用の変調信号の振幅 $V_{peak, I}$ 、又は、Qc h用の変調信号の振幅 $V_{peak, Q}$ を監視し、振幅 $V_{peak, I}$ 又は振幅 $V_{peak, Q}$ を、振幅 V_{peak} として、バイアス信号生成部8の変化検出回路9に出力する。

[0021] 図1では、バイアス信号生成部8の構成要素である変化検出回路9、比較器10、バイアス信号生成回路11及びバイアス信号生成回路12のそれぞれが、専用のハードウェアによって実現されるものを想定している。

即ち、変化検出回路9、比較器10、バイアス信号生成回路11及びバイ

アス信号生成回路 1 2 のそれぞれは、例えば、単一回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、A S I C (A p p l i c a t i o n S p e c i f i c I n t e g r a t e d C i r c u i t)、F P G A (F i e l d - P r o g r a m m a b l e G a t e A r r a y)、又は、これらを組み合わせたものが該当する。

[0022] バイアス信号生成部 8 の構成要素は、専用のハードウェアによって実現されるものに限るものではなく、バイアス信号生成部 8 が、ソフトウェア、ファームウェア、又は、ソフトウェアとファームウェアとの組み合わせによって実現されるものであってもよい。

ソフトウェア又はファームウェアは、プログラムとして、コンピュータのメモリに格納される。コンピュータは、プログラムを実行するハードウェアを意味し、例えば、C P U (C e n t r a l P r o c e s s i n g U n i t)、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、あるいは、D S P (D i g i t a l S i g n a l P r o c e s s o r) が該当する。

図 2 は、バイアス信号生成部 8 が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

[0023] バイアス信号生成部 8 が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される場合、変化検出回路 9、比較器 1 0、バイアス信号生成回路 1 1 及びバイアス信号生成回路 1 2 の処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムがメモリ 2 1 に格納される。そして、コンピュータのプロセッサ 2 2 がメモリ 2 1 に格納されているプログラムを実行する。

[0024] また、図 2 では、バイアス信号生成部 8 の構成要素のそれぞれが専用のハードウェアによって実現される例を示し、図 3 では、バイアス信号生成部 8 が、ソフトウェア又はファームウェア等によって実現される例を示している。しかし、これは一例に過ぎず、バイアス信号生成部 8 における一部の構成要素が専用のハードウェアによって実現され、残りの構成要素がソフトウェア又はファームウェア等によって実現されるものであってもよい。

[0025] 次に、図 1 に示す光送信装置の動作について説明する。

図 3 は、バイアス信号生成部 8 の処理手順を示すフローチャートである。

図示せぬ LD 等の光源から出射された光は、I Q 光変調器 1 の分岐部 2 に入射される。

ドライバ 13 は、外部から変調信号が与えられると、変調信号に含まれている I c h 用の変調信号を増幅し、増幅後の I c h 用の変調信号を I Q 光変調器 1 の第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 に出力する。

ドライバ 13 は、変調信号に含まれている Q c h 用の変調信号を増幅し、増幅後の Q c h 用の変調信号を I Q 光変調器 1 の第 2 のマッハツェンダー干渉計 4 に出力する。

また、ドライバ 13 は、I c h 用の変調信号の振幅 $V_{peak, I}$ 、又は、Q c h 用の変調信号の振幅 $V_{peak, Q}$ を監視する。

ドライバ 13 は、振幅 $V_{peak, I}$ 又は振幅 $V_{peak, Q}$ を、振幅 V_{peak} として、バイアス信号生成部 8 の変化検出回路 9 に出力する。

[0026] バイアス信号生成回路 12 は、位相バイアス ϕ_I を示す I c h 用のバイアス信号を生成し、I c h 用のバイアス信号を第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 に出力する。

また、バイアス信号生成回路 12 は、位相バイアス ϕ_Q を示す Q c h 用のバイアス信号を生成し、Q c h 用のバイアス信号を第 2 のマッハツェンダー干渉計 4 に出力する。

[0027] 分岐部 2 は、入射された光を 2 つに分岐し、分岐後の 2 つの光のうち、一方の光を第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 に出力する。

また、分岐部 2 は、分岐後の 2 つの光のうち、他方の光を第 2 のマッハツェンダー干渉計 4 に出力する。

[0028] 第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 は、分岐部 2 による分岐後の 2 つの光のうち、一方の光を更に 2 つに分岐する。

第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 は、更に分岐したそれぞれの光を、ドライバ 13 から出力された I c h 用の変調信号によって変調する。

また、第1のマッハツェンダー干渉計3は、変調後のそれぞれの光である変調光の位相を、バイアス信号生成回路12から出力されたI c h用のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_I によって調整する。

バイアス信号生成回路12からは、第1のマッハツェンダー干渉計3による位相調整後のそれぞれの変調光の位相差が π になるような位相バイアス ϕ_I を示すバイアス信号が出力される。

第1のマッハツェンダー干渉計3は、位相調整後のそれぞれの変調光を互いに合波し、合波後の変調光を位相調整電極部5に出力する。

[0029] 第2のマッハツェンダー干渉計4は、分岐部2による分岐後の2つの光のうち、他方の光を更に2つに分岐する。

第2のマッハツェンダー干渉計4は、更に分岐したそれぞれの光を、ドライバ13から出力されたQ c h用の変調信号によって変調する。

また、第2のマッハツェンダー干渉計4は、変調後のそれぞれの光である変調光の位相を、バイアス信号生成回路12から出力されたQ c h用のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_Q によって調整する。

バイアス信号生成回路12からは、第2のマッハツェンダー干渉計4による位相調整後のそれぞれの変調光の位相差が π になるような位相バイアス ϕ_Q を示すバイアス信号が出力される。

第2のマッハツェンダー干渉計4は、位相調整後のそれぞれの変調光を互いに合波し、合波後の変調光を位相調整電極部5に出力する。

[0030] 位相調整電極部5は、第1のマッハツェンダー干渉計3による合波後の変調光の位相と、第2のマッハツェンダー干渉計4による合波後の変調光の位相とを、バイアス信号生成回路11から出力されたバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_P によって調整する。

バイアス信号生成回路11からは、位相調整電極部5による位相調整後のそれぞれの変調光の位相差が $\pi/2$ になるような位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号が出力される。

位相調整電極部5は、位相調整後のそれぞれの変調光を互いに合波し、合

波後の変調光を外部に出力する。

位相調整後のそれぞれの変調光の位相差が $\pi/2$ になる状態が理想であり、位相差が $\pi/2$ になるとき、同期検波回路7において、同期していることが検波され、同期検波回路7から出力される同期検波信号が0になる。

[0031] 光強度検出器6は、位相調整電極部5から出力された合波後の変調光の一部を取得し、合波後の変調光の光強度を検出する。

光強度検出器6は、検出した光強度を示す光強度信号を同期検波回路7に出力する。

[0032] 同期検波回路7は、光強度検出器6により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施する。

光強度信号とディザ信号との同期検波を実施する処理自体は、公知の技術であるため、詳細な説明を省略するが、例えば、以下の方法で、同期検波を実施することができる。

同期検波回路7は、例えば、光強度信号の振幅に相当する信号、又は、光強度信号の二乗平均平方根であるRMSに相当する信号と、ディザ信号とを乗算する。そして、同期検波回路7は、乗算の結果をフィルタに通すことによって、乗算の結果から、高周波成分及び直流成分のそれぞれを除去することにより、同期検波の結果を示す同期検波信号が得られる。同期している状態では、同期検波信号が0になり、同期していない状態では、同期検波信号が0以外になる。

同期検波回路7は、同期検波の結果を示す同期検波信号をバイアス信号生成部8のバイアス信号生成回路11に出力する。

[0033] バイアス信号生成部8の変化検出回路9は、ドライバ13から出力された変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視する（図3のステップST1）。

変化検出回路9は、振幅 V_{peak} の変化の範囲である変化量 ΔV_{peak} を示す信号を比較器10に出力する。

[0034] 比較器10は、変化検出回路9の出力信号が示す変化量 ΔV_{peak} と第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ とを比較する。

変調信号の変調フォーマットが、例えば、QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) から、16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) に変更される場合、変化量 ΔV_{peak} が、約300mVになることが想定される。したがって、変調信号の変調フォーマットが、QPSKから16QAMに変更されることが想定される場合、第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ としては、例えば、約300mVの80%程度の値が用いられる。

また、変調信号の変調フォーマットが、例えば、QPSKから8QAMに変更される場合、変化量 ΔV_{peak} が、約200mVになることが想定される。したがって、変調信号の変調フォーマットが、QPSKから8QAMに変更されることが想定される場合、第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ としては、例えば、約200mVの80%程度の値が用いられる。

比較器10は、変化量 ΔV_{peak} と第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ との比較結果をバイアス信号生成回路11に出力する。

[0035] バイアス信号生成回路11は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば（図3のステップST2：YESの場合）、同期検波回路7から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_p を示すバイアス信号を生成する（図3のステップST3）。

バイアス信号生成回路11は、生成したバイアス信号を位相調整電極部5に出力する。

同期検波信号に基づいて、同期検波信号が0になるようなバイアス信号を生成することができれば、バイアス信号の生成方法としては、どのような方法でもよいが、バイアス信号生成回路11が、例えば、同期検波信号とディザ信号とを加算することにより、バイアス信号を生成する方法を用いることができる。

[0036] 位相調整電極部5は、第1のマッハツェンダー干渉計3による合波後の変調光の位相と、第2のマッハツェンダー干渉計4による合波後の変調光の位相とを、バイアス信号生成回路11から出力されたバイアス信号が示す位相

バイアス ϕ_P によって調整する。

バイアス信号生成回路 11 から出力されたバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_P が適正な位相バイアスであれば、位相調整電極部 5 による位相調整後のそれぞれの変調光の位相差が $\pi/2$ になる。

[0037] バイアス信号生成回路 11 は、比較器 10 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい旨を示していれば（図 3 のステップ ST 2 : NO の場合）、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する（図 3 のステップ ST 4）。

バイアス信号生成回路 11 は、生成したバイアス信号を位相調整電極部 5 に出力する。

変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい場合、変調信号の変調フォーマットが変更されている等の状況が発生している可能性がある。したがって、同期検波回路 7 による同期検波の結果が時間的に不連続になり、その結果、バイアス信号生成回路 11 によって、同期検波信号に従って生成されるバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_P が誤った方向に調整されて、I Q 光変調器 1 の出力信号に劣化が生じてしまう可能性がある。

しかし、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい場合、バイアス信号生成回路 11 により生成されるバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_P が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる前の位相バイアスと同じである。このため、バイアス信号生成回路 11 により生成されるバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_P が誤った方向に調整されることに伴う、I Q 光変調器 1 の出力信号に劣化を抑えることができる。

[0038] また、バイアス信号生成回路 11 は、比較器 10 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい旨を示していれば、アラームを外部に出力する（図 3 のステップ ST 5）。

これにより、図 1 に示す光送信装置のユーザ、又は、図 1 に示す光送信装置の外部装置は、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従ってバイ

アス信号を生成する自動バイアス制御が停止されている状態であることを認識することができる。

[0039] バイアス信号生成回路 11 は、位相バイアス ϕ_p を維持するバイアス信号を生成したのち、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示の受け付け処理を開始する（図 3 のステップ S T 6）。

バイアス信号生成回路 11 は、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示が与えられると（図 3 のステップ S T 7 : Y E S の場合）、アラームの出力を停止して（図 3 のステップ S T 8）、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を再開する。

バイアス信号生成回路 11 は、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示が与えられなければ（図 3 のステップ S T 7 : N O の場合）、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を再開せずに、指示の受け付け処理を継続する（図 3 のステップ S T 6）。

[0040] 以上の実施の形態 1 では、入射された光を変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整して、位相調整後の変調光を出力し、又は、入射された光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整してから、位相調整後の光を変調信号によって変調して、変調後の光である変調光を出力する I Q 光変調器 1 と、I Q 光変調器 1 から出力された変調光の光強度を検出する光強度検出器 6 と、光強度検出器 6 により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す同期検波信号を出力する同期検波回路 7 と、変調信号の振幅の変化を監視し、変化の範囲が第 1 の閾値以下であれば、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従ってバイアス信号を生成し、変化の範囲が第 1 の閾値よりも大きければ、I Q 光変調器 1 に出力するバイアス信号として、変化の範囲が第 1 の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成するバイアス信号生成部 8 とを備えるように、光送信装置を構成した。したがって、光送信装置は、同期検波の結果が時間的に不連続になっても、I Q 光変調器 1 による位相

調整後の変調光の劣化を抑えることができる。

[0041] 実施の形態 2.

実施の形態 2 では、バイアス信号生成部 14 が、振幅 V_{peak} の変化を監視し、変化の範囲が第 2 の閾値 $Th_{\Delta Vp2}$ よりも小さければ、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を再開する光送信装置について説明する。

[0042] 図 4 は、実施の形態 2 に係る光送信装置を示す構成図である。図 4 において、図 1 と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

バイアス信号生成部 14 は、変化検出回路 9 と、比較器 15 と、バイアス信号生成回路 12 と、バイアス信号生成回路 16 とを備えている。

バイアス信号生成部 14 は、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きければ、図 1 に示すバイアス信号生成部 8 と同様に、変調信号の振幅 V_{peak} の変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成部 14 は、変調信号の振幅 V_{peak} の変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成すると、変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視する。

バイアス信号生成部 14 は、変化の範囲が第 2 の閾値 $Th_{\Delta Vp2}$ よりも小さければ、同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する処理を再開する。

第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 及び第 2 の閾値 $Th_{\Delta Vp2}$ のそれぞれは、バイアス信号生成部 14 の内部メモリに格納されていてもよいし、バイアス信号生成部 14 の外部から与えられるものであってもよい。

また、第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ と第 2 の閾値 $Th_{\Delta Vp2}$ との大小関係は、例えば、制御の安定性の要求度によって決められる。制御の安定性を高める必要がある場合には、第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ が第 2 の閾値 $Th_{\Delta Vp2}$ よりも大きい値であることが望ましい。

バイアス信号生成部 14 は、図 1 に示すバイアス信号生成部 8 と異なり、アラームを外部に出力しないが、図 1 に示すバイアス信号生成部 8 と同様に

、アラームを外部に出力するようにしてもよい。

[0043] 比較器 15 は、変化検出回路 9 の出力信号が示す変化量 ΔV_{peak} と第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ とを比較し、変化量 ΔV_{peak} と第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ との比較結果を、第 1 の比較結果としてバイアス信号生成回路 16 に出力する。

また、比較器 15 は、変化検出回路 9 の出力信号が示す変化量 ΔV_{peak} と第 2 の閾値 $Th_{\Delta V_{p2}}$ とを比較し、変化量 ΔV_{peak} と第 2 の閾値 $Th_{\Delta V_{p2}}$ との比較結果を、第 2 の比較結果としてバイアス信号生成回路 16 に出力する。

バイアス信号生成回路 16 は、比較器 15 の第 1 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ 以下である旨を示していれば、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 16 は、比較器 15 の第 1 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 16 は、生成したバイアス信号を位相調整電極部 5 に出力する。

バイアス信号生成回路 16 は、位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成したのち、比較器 15 の第 2 の比較結果が、振幅 V_{peak} の変化量 ΔV_{peak} が第 2 の閾値 $Th_{\Delta V_{p2}}$ よりも小さい旨を示していれば、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する処理を再開する。

[0044] 次に、図 4 に示す光送信装置の動作について説明する。

バイアス信号生成部 14 以外は、図 1 に示す光送信装置と同様であり、図 1 に示す光送信装置と異なる動作を説明する。

図 5 は、バイアス信号生成部 14 の処理手順を示すフローチャートである。

[0045] バイアス信号生成部 14 の変化検出回路 9 は、ドライバ 13 から出力された変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視する（図 5 のステップ S T 1 1）。

変化検出回路 9 は、振幅 V_{peak} の変化の範囲である変化量 ΔV_{peak} を示す信号を比較器 15 に出力する。

[0046] 比較器 15 は、変化検出回路 9 の出力信号が示す変化量 ΔV_{peak} と第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ とを比較する。

比較器 15 は、変化量 ΔV_{peak} と第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ との比較結果を、第 1 の比較結果としてバイアス信号生成回路 16 に出力する。

[0047] バイアス信号生成回路 16 は、比較器 15 の第 1 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば（図 5 のステップ S T 1 2 : YES の場合）、図 1 に示すバイアス信号生成回路 11 と同様に、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_p を示すバイアス信号を生成する（図 5 のステップ S T 1 3）。

バイアス信号生成回路 16 は、生成したバイアス信号を位相調整電極部 5 に出力する。

[0048] バイアス信号生成回路 16 は、比較器 15 の第 1 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば（図 5 のステップ S T 1 2 : NO の場合）、図 1 に示すバイアス信号生成回路 11 と同様に、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_p を維持するバイアス信号を生成する（図 5 のステップ S T 1 4）。

バイアス信号生成回路 16 は、生成したバイアス信号を位相調整電極部 5 に出力する。

[0049] 変化検出回路 9 は、バイアス信号生成回路 16 が、位相バイアス ϕ_p を維持するバイアス信号を生成した後も、ドライバ 13 から出力された変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視する（図 5 のステップ S T 1 5）。

変化検出回路 9 は、振幅 V_{peak} の変化量 ΔV_{peak} を示す信号を比較器 15 に出力する。

[0050] 比較器 15 は、変化検出回路 9 の出力信号が示す変化量 ΔV_{peak} と第 2 の

閾値 $T_{h_{\Delta V_{p2}}}$ とを比較する。

比較器 15 は、変化量 ΔV_{peak} と第 2 の閾値 $T_{h_{\Delta V_{p2}}}$ との比較結果を、第 2 の比較結果としてバイアス信号生成回路 16 に出力する。

[0051] バイアス信号生成回路 16 は、比較器 15 の第 2 の比較結果が、振幅 V_{peak} の変化量 ΔV_{peak} が第 2 の閾値 $T_{h_{\Delta V_{p2}}}$ よりも小さい旨を示していれば（図 5 のステップ ST16：YES の場合）、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_p を示すバイアス信号を生成する処理を再開する。

バイアス信号生成回路 16 は、比較器 15 の第 2 の比較結果が、振幅 V_{peak} の変化量 ΔV_{peak} が第 2 の閾値 $T_{h_{\Delta V_{p2}}}$ 以上である旨を示していれば（図 5 のステップ ST16：NO の場合）、同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_p を示すバイアス信号を生成する処理を再開しない。変化検出回路 9 は、引き続き、ドライバ 13 から出力された変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視する（図 5 のステップ ST15）。

[0052] 以上の実施の形態 2 では、バイアス信号生成部 14 が、変調信号の振幅の変化の範囲が第 1 の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成したのち、変調信号の振幅の変化を監視し、当該変化の範囲が第 2 の閾値よりも小さければ、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を再開するように、図 4 に示す光送信装置を構成した。したがって、図 4 に示す光送信装置は、図 1 に示す光送信装置と同様に、同期検波の結果が時間的に不連続になっても、I/Q 光変調器 1 による位相調整後の変調光の劣化を抑えることができる。また、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を自動的に再開することができる。

[0053] 実施の形態 3.

実施の形態 3 では、変調信号の振幅 V_{peak} と、振幅下限値 L_{lim1} 及び振幅上限値 U_{lim1} のそれぞれと比較するバイアス信号生成部 30 を有する光送信装置について説明する。

[0054] 図 6 は、実施の形態 3 に係る光送信装置を示す構成図である。図 6 におい

て、図 1 及び図 4 と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

バイアス信号生成部 30 は、第 1 の比較器 31 と、第 2 の比較器 32 と、バイアス信号生成回路 12 と、バイアス信号生成回路 33 とを備えている。

バイアス信号生成部 30 は、変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視し、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下であれば、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_p を示すバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成部 30 は、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きければ、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_p を維持するバイアス信号を生成する。

[0055] 第 1 の比較器 31 は、変調信号の振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim1} とを比較し、振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim1} との比較結果をバイアス信号生成回路 33 に出力する。

第 2 の比較器 32 は、変調信号の振幅 V_{peak} と、振幅下限値 L_{lim1} よりも第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ だけ大きい振幅上限値 U_{lim1} とを比較し、振幅 V_{peak} と振幅上限値 U_{lim1} との比較結果をバイアス信号生成回路 33 に出力する。
 $L_{lim1} + Th_{\Delta Vp1} = U_{lim1}$ である。

振幅下限値 L_{lim1} 及び振幅上限値 U_{lim1} のそれぞれは、バイアス信号生成部 30 の内部メモリに格納されていてもよいし、バイアス信号生成部 30 の外部から与えられるものであってもよい。

[0056] バイアス信号生成回路 33 は、第 1 の比較器 31 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} 以上である旨を示し、かつ、第 2 の比較器 32 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} 以下である旨を示していれば、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_p を示すバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 33 は、第 1 の比較器 31 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さい旨を示していれば、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さくなる前の位相バイアス ϕ_p を

維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 33 は、第 2 の比較器 32 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きい旨を示していれば、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

[0057] 次に、図 6 に示す光送信装置の動作について説明する。

バイアス信号生成部 30 以外は、図 1 に示す光送信装置と同様であり、図 1 に示す光送信装置と異なる動作を説明する。

図 7 は、バイアス信号生成部 30 の処理手順を示すフローチャートである。

[0058] バイアス信号生成部 30 の第 1 の比較器 31 は、ドライバ 13 から出力された変調信号の振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim1} とを比較する（図 7 のステップ ST21）。

第 1 の比較器 31 は、振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim1} との比較結果をバイアス信号生成回路 33 に出力する。

[0059] 第 2 の比較器 32 は、ドライバ 13 から出力された変調信号の振幅 V_{peak} と振幅上限値 U_{lim1} とを比較する（図 7 のステップ ST22）。

第 2 の比較器 32 は、振幅 V_{peak} と振幅上限値 U_{lim1} との比較結果をバイアス信号生成回路 33 に出力する。

[0060] バイアス信号生成回路 33 は、第 1 の比較器 31 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} 以上である旨を示し（図 7 のステップ ST23：YES の場合）、かつ、第 2 の比較器 32 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} 以下である旨を示していれば（図 7 のステップ ST24：YES の場合）、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する（図 7 のステップ ST25）。

即ち、バイアス信号生成回路 33 は、 $L_{lim1} \leq V_{peak} \leq U_{lim1}$ であれば、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を

示すバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 33 は、生成したバイアス信号を位相調整電極部 5 に出力する。

[0061] バイアス信号生成回路 33 は、第 1 の比較器 31 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さい旨を示していれば（図 7 のステップ ST23：NO の場合）、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する（図 7 のステップ ST26）。

即ち、バイアス信号生成回路 33 は、 $V_{peak} < L_{lim1}$ であれば、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 33 は、生成したバイアス信号を位相調整電極部 5 に出力する。

また、バイアス信号生成回路 33 は、アラームを外部に出力する（図 7 のステップ ST27）。

[0062] バイアス信号生成回路 33 は、第 2 の比較器 32 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きい旨を示していれば（図 7 のステップ ST24：NO の場合）、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する（図 7 のステップ ST26）。

即ち、バイアス信号生成回路 33 は、 $V_{peak} > U_{lim1}$ であれば、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 33 は、生成したバイアス信号を位相調整電極部 5 に出力する。

また、バイアス信号生成回路 33 は、アラームを外部に出力する（図 7 のステップ ST27）。

[0063] バイアス信号生成回路 33 は、位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を

生成したのち、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示の受け付け処理を開始する（図7のステップST28）。

バイアス信号生成回路33は、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示が与えられると（図7のステップST29：YESの場合）、アラームの出力を停止して（図7のステップST30）、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を再開する。

バイアス信号生成回路33は、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示が与えられなければ（図7のステップST29：NOの場合）、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を再開せずに、指示の受け付け処理を継続する（図7のステップST28）。

[0064] 以上より、図6に示す光送信装置でも、図1に示す光送信装置と同様に、同期検波の結果が時間的に不連続になっても、I/Q光変調器1による位相調整後の変調光の劣化を抑えることができる。

[0065] 実施の形態4.

実施の形態4では、バイアス信号生成部34が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成、又は、振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。その後、バイアス信号生成部34が、振幅 V_{peak} の変化を監視し、変化の範囲が第2の閾値 $Th_{\Delta V_{p2}}$ よりも小さければ、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を再開する光送信装置について説明する。

[0066] 図8は、実施の形態4に係る光送信装置を示す構成図である。図8において、図1及び図6と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

バイアス信号生成部34は、第1の比較器31と、第2の比較器32と、バイアス信号生成回路12と、バイアス信号生成回路37とを備えている。

バイアス信号生成部34は、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さければ、図6に示すバイアス信号生成部30と同様に、変調信号の

振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成部 34 は、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きければ、図 6 に示すバイアス信号生成部 30 と同様に、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成部 34 は、振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成、又は、振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成すると、変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視する。

バイアス信号生成部 34 は、変化の範囲が第 2 の閾値 $Th_{\Delta Vp2}$ よりも小さければ、同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する処理を再開する。

バイアス信号生成部 34 は、図 6 に示すバイアス信号生成部 30 と異なり、アラームを外部に出力しない。しかし、これは一例に過ぎず、バイアス信号生成部 34 は、図 6 に示すバイアス信号生成部 30 と同様に、アラームを外部に出力するようにしてもよい。

[0067] 第 1 の比較器 35 は、変調信号の振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim1} とを比較し、振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim1} との比較結果として、第 1 の比較結果をバイアス信号生成回路 37 に出力する。

また、第 1 の比較器 35 は、変調信号の振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim2} とを比較し、振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim2} との比較結果として、第 2 の比較結果をバイアス信号生成回路 37 に出力する。

振幅下限値 L_{lim1} 及び振幅下限値 L_{lim2} のそれぞれは、バイアス信号生成部 34 の内部メモリに格納されていてもよいし、バイアス信号生成部 34 の外部から与えられるものであってもよい。

また、振幅下限値 L_{lim1} と振幅下限値 L_{lim2} との大小関係は、制御の安定性の要求度によって決められる。制御の安定性を高める必要がある場合には

、振幅下限値 L_{lim1} が振幅下限値 L_{lim2} よりも小さい値であることが望ましい。

[0068] 第2の比較器36は、変調信号の振幅 V_{peak} と、振幅下限値 L_{lim1} よりも第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ だけ大きい振幅上限値 U_{lim1} とを比較し、振幅 V_{peak} と振幅上限値 U_{lim1} との比較結果として、第3の比較結果をバイアス信号生成回路37に出力する。 $L_{lim1} + Th_{\Delta Vp1} = U_{lim1}$ である。

また、第2の比較器36は、変調信号の振幅 V_{peak} と、振幅下限値 L_{lim2} よりも第2の閾値 $Th_{\Delta Vp2}$ だけ大きい振幅上限値 U_{lim2} とを比較し、振幅 V_{peak} と振幅上限値 U_{lim2} との比較結果として、第4の比較結果をバイアス信号生成回路37に出力する。 $L_{lim2} + Th_{\Delta Vp2} = U_{lim2}$ である。

振幅上限値 U_{lim1} 及び振幅上限値 U_{lim2} のそれぞれは、バイアス信号生成部34の内部メモリに格納されていてもよいし、バイアス信号生成部34の外部から与えられるものであってもよい。

また、振幅上限値 U_{lim1} と振幅上限値 U_{lim2} との大小関係は、制御の安定性の要求度によって決められる。制御の安定性を高める必要がある場合には、振幅上限値 U_{lim1} が振幅上限値 U_{lim2} よりも大きい値であることが望ましい。

[0069] バイアス信号生成回路37は、第1の比較器35の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} 以上である旨を示し、かつ、第2の比較器36の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} 以下である旨を示していれば、同期検波回路7から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_p を示すバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路37は、第1の比較器35の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さい旨を示していれば、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さくなる前の位相バイアス ϕ_p を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路37は、第2の比較器36の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きい旨を示していれば、変調信号

の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

[0070] バイアス信号生成回路 37 は、位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成したのち、第 1 の比較器 35 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim2} よりも大きい旨を示し、かつ、第 2 の比較器 36 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim2} よりも小さい旨を示していれば、同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する処理を再開する。

[0071] 次に、図 8 に示す光送信装置の動作について説明する。

バイアス信号生成部 34 以外は、図 6 に示す光送信装置と同様であり、図 6 に示す光送信装置と異なる動作を説明する。

図 9 は、バイアス信号生成部 34 の処理手順を示すフローチャートである。

[0072] バイアス信号生成部 34 の第 1 の比較器 35 は、ドライバ 13 から出力された変調信号の振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim1} とを比較する（図 9 のステップ ST31）。

第 1 の比較器 35 は、振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim1} との比較結果として、第 1 の比較結果をバイアス信号生成回路 37 に出力する。

[0073] 第 2 の比較器 36 は、ドライバ 13 から出力された変調信号の振幅 V_{peak} と振幅上限値 U_{lim1} とを比較する（図 9 のステップ ST32）。

第 2 の比較器 36 は、振幅 V_{peak} と振幅上限値 U_{lim1} との比較結果として、第 3 の比較結果をバイアス信号生成回路 37 に出力する。

[0074] バイアス信号生成回路 37 は、第 1 の比較器 35 の第 1 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} 以上である旨を示し（図 9 のステップ ST33：YES の場合）、かつ、第 2 の比較器 36 の第 3 の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} 以下である旨を示していれば（図 9 のステップ ST34：YES の場合）、同期検波回路 7 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する（図

9のステップST35)。

即ち、バイアス信号生成回路37は、 $L_{lim1} \leq V_{peak} \leq U_{lim1}$ であれば、同期検波回路7から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路37は、生成したバイアス信号を位相調整電極部5に出力する。

[0075] バイアス信号生成回路37は、第1の比較器35の第1の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さい旨を示していれば(図9のステップST33:NOの場合)、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する(図9のステップST36)。

即ち、バイアス信号生成回路37は、 $V_{peak} < L_{lim1}$ であれば、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim1} よりも小さくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路37は、生成したバイアス信号を位相調整電極部5に出力する。

[0076] バイアス信号生成回路37は、第2の比較器36の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きい旨を示していれば(図9のステップST34:NOの場合)、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する(図9のステップST36)。

即ち、バイアス信号生成回路33は、 $V_{peak} > U_{lim1}$ であれば、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim1} よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路37は、生成したバイアス信号を位相調整電極部5に出力する。

[0077] 第1の比較器35は、ドライバ13から出力された変調信号の振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim2} とを比較する。

第1の比較器35は、振幅 V_{peak} と振幅下限値 L_{lim2} との比較結果として、第2の比較結果をバイアス信号生成回路37に出力する。

[0078] 第2の比較器36は、ドライバ13から出力された変調信号の振幅 V_{peak} と振幅上限値 U_{lim2} とを比較する。

第2の比較器36は、振幅 V_{peak} と振幅上限値 U_{lim2} との比較結果として、第4の比較結果をバイアス信号生成回路37に出力する。

[0079] バイアス信号生成回路37は、位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成したのち、第1の比較器35の第2の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim2} よりも大きい旨を示し、かつ、第2の比較器36の第4の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim2} よりも小さい旨を示していれば（図9のステップST37：YESの場合）、同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する処理を再開する。

[0080] バイアス信号生成回路37は、位相バイアス ϕ_P を維持するバイアス信号を生成したのち、第1の比較器35の第2の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅下限値 L_{lim2} 以下である旨を示し、あるいは、第2の比較器36の第4の比較結果が、変調信号の振幅 V_{peak} が振幅上限値 U_{lim2} 以上である旨を示していれば（図9のステップST37：NOの場合）、同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_P を示すバイアス信号を生成する処理を再開しない。

[0081] 以上の実施の形態4では、バイアス信号生成部34が、変調信号の振幅の変化の範囲が第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成したのち、変調信号の振幅の変化を監視し、当該変化の範囲が第2の閾値よりも小さければ、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を再開するように、図8に示す光送信装置を構成した。したがって、図8に示す光送信装置は、図1に示す光送信装置と同様に、同期検波の結果が時間的に不連続になっても、IQ光変調器1による位相調整後の変調光の劣化を抑えることができる。また、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を自動的に再開することができる。

[0082] 実施の形態5.

実施の形態5では、バイアス信号生成回路45が、第1のマッハツェンダー干渉計3が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_1 を示す第1のバイアス信号及び第2のマッハツェンダー干渉計4が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_2 を示す第2のバイアス信号のそれぞれを生成する光送信装置について説明する。

[0083] 図10は、実施の形態5に係る光送信装置を示す構成図である。図10において、図1と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

図10に示す光送信装置では、光強度検出器6が第1の光強度検出器であり、同期検波回路7が第1の同期検波回路である。

第2の光強度検出器41は、例えば、フォトデテクタによって実現される。

第2の光強度検出器41は、第1のマッハツェンダー干渉計3から出力された変調光の光強度を検出し、変調光の光強度を示す光強度信号を後述する第2の同期検波回路43に出力する。光強度信号は、電気信号である。

第3の光強度検出器42は、例えば、フォトデテクタによって実現される。

第3の光強度検出器42は、第2のマッハツェンダー干渉計4から出力された変調光の光強度を検出し、変調光の光強度を示す光強度信号を第2の同期検波回路43に出力する。光強度信号は、電気信号である。

[0084] 第2の同期検波回路43は、例えば、自動バイアス制御回路によって実現される。

第2の同期検波回路43は、第2の光強度検出器41により検出された光強度を示す光強度信号と、第1のディザ信号源から発振されたディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す第1の同期検波信号をバイアス信号生成回路45に出力する。

第1のディザ信号源は、例えば、第2の同期検波回路43に内蔵されていてもよいし、第2の同期検波回路43の外部に設けられていてもよい。また、第1のディザ信号源は、例えば、同期検波回路7に内蔵されているディザ

信号源と同じディザ信号源であってもよい。

また、第2の同期検波回路43は、第3の光強度検出器42により検出された光強度を示す光強度信号と、第2のディザ信号源から発振されたディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す第2の同期検波信号をバイアス信号生成回路45に出力する。

第2のディザ信号源は、例えば、第2の同期検波回路43に内蔵されていてもよいし、第2の同期検波回路43の外部に設けられていてもよい。

[0085] バイアス信号生成部44は、変化検出回路9と、比較器10と、バイアス信号生成回路11と、バイアス信号生成回路45とを備えている。

バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば、第2の同期検波回路43から出力された第1の同期検波信号に従って、第1のマッハツェンダー干渉計3が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_1 を示す第1のバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_1 を維持する第1のバイアス信号を生成する。変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_1 は、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下であるときの1つ以上の位相バイアス ϕ_1 のうち、例えば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる直前の位相バイアス ϕ_1 である。ただし、これは一例に過ぎず、実用上問題がなければ、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる直前の位相バイアス ϕ_1 よりも、例えば、1サンプリング前又は2サンプリング前の位相バイアス ϕ_1 であってもよい。

バイアス信号生成回路45は、生成した第1のバイアス信号を第1のマッハツェンダー干渉計3に出力する。

[0086] バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば、第2の同期検波回路4

3から出力された第2の同期検波信号に従って、第2のマッハツェンダー干渉計4が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_Q を示す第2のバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_Q を維持する第2のバイアス信号を生成する。変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_Q は、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下であるときの1つ以上の位相バイアス ϕ_Q のうち、例えば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる直前の位相バイアス ϕ_Q である。ただし、これは一例に過ぎず、実用上問題がなければ、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる直前の位相バイアス ϕ_Q よりも、例えば、1サンプリング前又は2サンプリング前の位相バイアス ϕ_Q であってもよい。

バイアス信号生成回路45は、生成した第2のバイアス信号を第2のマッハツェンダー干渉計4に出力する。

バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、アラームを外部に出力する。

[0087] 図10に示す光送信装置では、第2の光強度検出器41、第3の光強度検出器42、第2の同期検波回路43及びバイアス信号生成部44が、図1に示す光送信装置に適用されている。しかし、これは一例に過ぎず、第2の光強度検出器41、第3の光強度検出器42、第2の同期検波回路43及びバイアス信号生成部44が、図4に示す光送信装置、図6に示す光送信装置、又は、図8に示す光送信装置に適用されていてもよい。

[0088] 次に、図10に示す光送信装置の動作について説明する。

第2の光強度検出器41、第3の光強度検出器42、第2の同期検波回路43及びバイアス信号生成回路45以外は、図1に示す光送信装置と同様であり、図1に示す光送信装置と異なる動作を説明する。

[0089] 第2の光強度検出器41は、第1のマッハツェンダー干渉計3から出力された合波後の変調光の一部を取得し、合波後の変調光の光強度を検出する。

第2の光強度検出器41は、検出した光強度を示す光強度信号を第2の同期検波回路43に出力する。

第2の同期検波回路43は、第2の光強度検出器41により検出された光強度を示す光強度信号と、第1のディザ信号源から発振されたディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す第1の同期検波信号をバイアス信号生成回路45に出力する。

第2の同期検波回路43の同期検波処理は、同期検波回路7と同様の同期検波処理である。

[0090] 第3の光強度検出器42は、第2のマッハツェンダー干渉計4から出力された合波後の変調光の一部を取得し、合波後の変調光の光強度を検出する。

第3の光強度検出器42は、検出した光強度を示す光強度信号を第2の同期検波回路43に出力する。

第2の同期検波回路43は、第3の光強度検出器42により検出された光強度を示す光強度信号と、第2のディザ信号源から発振されたディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す第2の同期検波信号をバイアス信号生成回路45に出力する。

[0091] バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば、第2の同期検波回路43から出力された第1の同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_1 を示す第1のバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路45は、生成した第1のバイアス信号を第1のマッハツェンダー干渉計3に出力する。

また、バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば、第2の同期検波回路43から出力された第2の同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_Q を示す第2のバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路45は、生成した第2のバイアス信号を第2のマッハツェンダー干渉計4に出力する。

同期検波信号に基づいて、同期検波信号が0になるようなバイアス信号を生成することができれば、バイアス信号の生成方法としては、どのような方法でもよいが、バイアス信号生成回路45が、例えば、同期検波信号とディザ信号とを加算することにより、バイアス信号を生成する方法を用いることができる。

[0092] バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_I を維持する第1のバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路45は、生成した第1のバイアス信号を第1のマッハツェンダー干渉計3に出力する。

また、バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_Q を維持する第2のバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路45は、生成した第2のバイアス信号を第2のマッハツェンダー干渉計4に出力する。

[0093] 変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい場合、変調信号の変調フォーマットが変更されている等の状況が発生している可能性がある。したがって、第2の同期検波回路43による同期検波の結果が時間的に不連続になる。その結果、バイアス信号生成回路45によって、第1の同期検波信号に従って生成される第1のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_I 及び第2の同期検波信号に従って生成される第2のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_Q のそれぞれが誤った方向に調整されて、I/Q光変調器1の出力信号に劣化が生じてしまう可能性がある。

しかし、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい場合、バイア

ス信号生成回路45により生成される第1のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_I 及び第2のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_Q のそれぞれが、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる前の位相バイアスと同じである。このため、バイアス信号生成回路45により生成される第1のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_I 及び第2のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_Q のそれぞれが誤った方向に調整されることに伴う、I/Q光変調器1の出力信号に劣化を抑えることができる。

[0094] また、バイアス信号生成回路45は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい旨を示していれば、アラームを外部に出力する。

これにより、図10に示す光送信装置のユーザ、又は、図10に示す光送信装置の外部装置は、第2の同期検波回路43から出力された第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれに従って第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する自動バイアス制御が停止されている状態であることを認識することができる。

[0095] バイアス信号生成回路45は、位相バイアス ϕ_I 及び位相バイアス ϕ_Q のそれぞれを維持するバイアス信号を生成したのち、外部から、第1の同期検波信号及び第2の同期検波信号のそれぞれに従って、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する旨の指示の受け付け処理を開始する。

バイアス信号生成回路45は、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示が与えられると、アラームの出力を停止して、第1の同期検波信号及び第2の同期検波信号のそれぞれに従って、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する処理を再開する。

バイアス信号生成回路45は、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示が与えられなければ、第1の同期検波信号及び第2の同期検波信号のそれぞれに従って、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する処理を再開せずに、指示の受け付け処理を継続

する。

[0096] 以上の実施の形態5では、バイアス信号生成回路45が、変化の範囲が第1の閾値以下であれば、第2の同期検波回路43から出力された第1の同期検波信号に従って、第1のマッハツェンダー干渉計3が位相の調整に用いる位相バイアスを示す第1のバイアス信号を生成し、第2の同期検波回路43から出力された第2の同期検波信号に従って、第2のマッハツェンダー干渉計4が位相の調整に用いる位相バイアスを示す第2のバイアス信号を生成し、変化の範囲が第1の閾値よりも大きければ、第1のバイアス信号として、変化の範囲が第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持する第1のバイアス信号を生成し、第2のバイアス信号として、変化の範囲が第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持する第2のバイアス信号を生成するように、光送信装置を構成した。したがって、光送信装置は、同期検波の結果が時間的に不連続になっても、I/Q光変調器1による位相調整後の変調光の劣化を抑えることができる。

[0097] 実施の形態6.

実施の形態6では、第1の直交光変調器（以下、「第1のI/Q光変調器」と称する）1-1と、第2の直交光変調器（以下、「第2のI/Q光変調器」と称する）1-2とが並列に接続されている光送信装置について説明する。

[0098] 図11は、実施の形態6に係る光送信装置を示す構成図である。図11において、図1と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

第1のI/Q光変調器1-1及び第2のI/Q光変調器1-2のそれぞれは、図1に示すI/Q光変調器1と同一構成のI/Q光変調器である。

第1のI/Q光変調器1-1と第2のI/Q光変調器1-2とは、互いに並列に接続されている。

図11に示す光送信装置では、第1のI/Q光変調器1-1及び第2のI/Q光変調器1-2が、図1に示す光送信装置に適用されている。しかし、これは一例に過ぎず、第1のI/Q光変調器1-1及び第2のI/Q光変調器1-2が、図4に示す光送信装置、図6に示す光送信装置、図8に示す光送信装置

、又は、図 10 に示す光送信装置に適用されていてもよい。

[0099] 分岐部 51 は、入射された光を 2 つに分岐し、分岐後の 2 つの光のうち、一方の光を第 1 の I Q 光変調器 1-1 に出力し、他方の光を第 2 の I Q 光変調器 1-2 に出力する。

合波部 52 は、第 1 の I Q 光変調器 1-1 から出力された変調光と、第 2 の I Q 光変調器 1-2 から出力された変調光とを合波し、合波後の変調光を外部に出力する。

光強度検出器 53 は、例えば、フォトデテクタによって実現される。

光強度検出器 53 は、合波部 52 による合波後の変調光の光強度を検出し、変調光の光強度を示す光強度信号を後述する同期検波回路 54 に出力する。光強度信号は、電気信号である。

[0100] 同期検波回路 54 は、例えば、自動バイアス制御回路によって実現される。

同期検波回路 54 は、光強度検出器 53 により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施する。

同期検波回路 54 は、同期検波の結果を示す同期検波信号を後述するバイアス信号生成部 55 に出力する。

ディザ信号は、正弦波又は三角波等の規則的な信号である。ディザ信号を発振するディザ信号源は、同期検波回路 54 の外部に設けられていてもよいし、同期検波回路 54 に内蔵されていてもよい。

[0101] バイアス信号生成部 55 は、変化検出回路 9 と、比較器 10 と、バイアス信号生成回路 56 と、バイアス信号生成回路 57 とを備えている。

バイアス信号生成部 55 は、ドライバ 13 から出力された変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視する。

バイアス信号生成部 55 は、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ 以下であれば、同期検波回路 54 から出力された同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成部 55 は、変化の範囲が第 1 の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大き

ければ、変化の範囲が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成部55は、変化の範囲が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きければ、アラームを外部に出力する。

バイアス信号生成部55は、生成したバイアス信号を第1のIQ光変調器1-1及び第2のIQ光変調器1-2のそれぞれに出力する。

第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ は、バイアス信号生成部55の内部メモリに格納されていてもよいし、バイアス信号生成部55の外部から与えられるものであってもよい。

[0102] バイアス信号生成回路56は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ 以下である旨を示していれば、同期検波回路54から出力された同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路56は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路56は、生成したバイアス信号を、第1のIQ光変調器1-1及び第2のIQ光変調器1-2におけるそれぞれの位相調整電極部5に出力する。

バイアス信号生成回路56は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta V_{p1}}$ よりも大きい旨を示していれば、アラームを外部に出力する。

[0103] バイアス信号生成回路57は、位相バイアス ϕ_I を示すIch用のバイアス信号を生成し、Ich用のバイアス信号を、第1のIQ光変調器1-1及び第2のIQ光変調器1-2におけるそれぞれの第1のマッハツェンダー干渉計3に出力する。

また、バイアス信号生成回路57は、位相バイアス ϕ_Q を示すQch用のバイアス信号を生成し、Qch用のバイアス信号を、第1のIQ光変調器1-

1 及び第 2 の I Q 光変調器 1-2 におけるそれぞれの第 2 のマッハツェンダ一干渉計 4 に出力する。

[0104] 次に、図 11 に示す光送信装置の動作について説明する。

分岐部 51 は、入射された光を 2 つに分岐し、分岐後の 2 つの光のうち、一方の光を第 1 の I Q 光変調器 1-1 に出力し、他方の光を第 2 の I Q 光変調器 1-2 に出力する。

第 1 の I Q 光変調器 1-1 は、分岐部 51 から出力された光が入射されると、図 1 に示す I Q 光変調器 1 と同様に動作し、位相調整後の光である変調光を合波部 52 に出力する。

第 2 の I Q 光変調器 1-2 は、分岐部 51 から出力された光が入射されると、図 1 に示す I Q 光変調器 1 と同様に動作し、位相調整後の光である変調光を合波部 52 に出力する。

合波部 52 は、第 1 の I Q 光変調器 1-1 から出力された変調光と、第 2 の I Q 光変調器 1-2 から出力された変調光とを合波し、合波後の変調光を外部に出力する。

[0105] 光強度検出器 53 は、合波部 52 による合波後の変調光の一部を取得し、合波後の変調光の光強度を検出する。

光強度検出器 53 は、検出した光強度を示す光強度信号を同期検波回路 54 に出力する。

[0106] 同期検波回路 54 は、光強度検出器 53 により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施する。

同期検波回路 54 は、同期検波の結果を示す同期検波信号をバイアス信号生成部 55 のバイアス信号生成回路 56 に出力する。

同期検波回路 54 の同期検波処理は、図 1 に示す同期検波回路 7 と同様の同期検波処理である。

[0107] バイアス信号生成部 8 の変化検出回路 9 は、ドライバ 13 から出力された変調信号の振幅 V_{peak} の変化を監視する。

変化検出回路 9 は、振幅 V_{peak} の変化の範囲である変化量 ΔV_{peak} を示す

信号を比較器 10 に出力する。

比較器 10 は、変化検出回路 9 の出力信号が示す変化量 ΔV_{peak} と第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ とを比較する。

比較器 10 は、変化量 ΔV_{peak} と第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ との比較結果をバイアス信号生成回路 56 に出力する。

[0108] バイアス信号生成回路 56 は、比較器 10 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば、同期検波回路 54 から出力された同期検波信号に従って、位相バイアス ϕ_p を示すバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 56 は、生成したバイアス信号を、第 1 の I Q 光変調器 1-1 及び第 2 の I Q 光変調器 1-2 におけるそれぞれの位相調整電極部 5 に出力する。

[0109] 第 1 の I Q 光変調器 1-1 及び第 2 の I Q 光変調器 1-2 におけるそれぞれの位相調整電極部 5 は、第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 から出力された変調光の位相と、第 2 のマッハツェンダー干渉計 4 から出力された変調光の位相とを、バイアス信号生成回路 11 から出力されたバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_p によって調整する。

バイアス信号生成回路 56 から出力されたバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_p が適正な位相バイアスであれば、位相調整電極部 5 による位相調整後のそれぞれの変調光の位相差が $\pi/2$ になる。

[0110] バイアス信号生成回路 56 は、比較器 10 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_p を維持するバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 56 は、生成したバイアス信号を、第 1 の I Q 光変調器 1-1 及び第 2 の I Q 光変調器 1-2 におけるそれぞれの位相調整電極部 5 に出力する。

変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい場合、変調信号の変調

フォーマットが変更されている等の状況が発生している可能性がある。したがって、同期検波回路54による同期検波の結果が時間的に不連続になり、その結果、バイアス信号生成回路56によって、同期検波信号に従って生成されるバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_p が誤った方向に調整されて、第1のIQ光変調器1-1及び第2のIQ光変調器1-2におけるそれぞれの出力信号に劣化が生じてしまう可能性がある。

しかし、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい場合、バイアス信号生成回路56により生成されるバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_p が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアスと同じである。このため、バイアス信号生成回路56により生成されるバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_p が誤った方向に調整されることに伴う、第1のIQ光変調器1-1及び第2のIQ光変調器1-2におけるそれぞれの出力信号に劣化を抑えることができる。

[0111] また、バイアス信号生成回路56は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、アラームを外部に出力する。

これにより、図11に示す光送信装置のユーザ、又は、図11に示す光送信装置の外部装置は、同期検波回路54から出力された同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する自動バイアス制御が停止されている状態であることを認識することができる。

[0112] バイアス信号生成回路56は、位相バイアス ϕ_p を維持するバイアス信号を生成したのち、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示の受け付け処理を開始する。

バイアス信号生成回路56は、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示が与えられると、アラームの出力を停止して、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する処理を再開する。

バイアス信号生成回路56は、外部から、同期検波信号に従ってバイアス信号を生成する旨の指示が与えられなければ、同期検波信号に従ってバイア

ス信号を生成する処理を再開せずに、指示の受け付け処理を継続する。

[0113] 以上より、第1のI/Q光変調器1-1と、第2のI/Q光変調器1-2とが並列に接続されている光送信装置であっても、同期検波の結果が時間的に不連続になっても、第1のI/Q光変調器1-1及び第2のI/Q光変調器1-2におけるそれぞれの位相調整後の変調光の劣化を抑えることができる。

[0114] 実施の形態7.

実施の形態7では、バイアス信号生成回路47が、第1のマッハツェンダー干渉計3が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_1 を示す第1のバイアス信号及び第2のマッハツェンダー干渉計4が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_2 を示す第2のバイアス信号のそれぞれを生成する光送信装置について説明する。

[0115] 図12は、実施の形態7に係る光送信装置を示す構成図である。図12において、図1と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

同期検波回路7'は、例えば、自動バイアス制御回路によって実現される。

同期検波回路7'は、光強度検出器6により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施する。

同期検波回路7'は、同期検波の結果を示す同期検波信号をバイアス信号生成回路11及びバイアス信号生成回路47の双方に出力する。

ディザ信号を発振するディザ信号源は、同期検波回路7'の外部に設けられていてもよいし、同期検波回路7'に内蔵されていてもよい。

[0116] 図12に示す光送信装置は、同期信号をバイアス信号生成回路11及びバイアス信号生成回路47のそれぞれに出力する同期検波回路7'を備えている。しかし、これは一例に過ぎず、光送信装置が、同期検波回路7'の代わりに、例えば、図1に示す同期検波回路7と同様の同期検波回路を2つ備えるようにしてもよい。

このとき、2つの同期検波回路のうち、一方の同期検波回路は、同期信号をバイアス信号生成回路11に出力し、他方の同期検波回路は、同期信号を

バイアス信号生成回路47に出力する。なお、2つの同期検波回路のそれぞれが用いるディザ信号は、同じディザ信号であってもよいし、異なるディザ信号であってもよい。

[0117] バイアス信号生成部46は、変化検出回路9と、比較器10と、バイアス信号生成回路11と、バイアス信号生成回路47とを備えている。

バイアス信号生成回路47は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば、同期検波回路7'から出力された同期検波信号に従って、第1のマッハツェンダー干渉計3が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_I を示す第1のバイアス信号を生成する。

また、バイアス信号生成回路47は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば、同期検波回路7'から出力された同期検波信号に従って、第2のマッハツェンダー干渉計4が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_Q を示す第2のバイアス信号を生成する。

[0118] バイアス信号生成回路47は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_I を維持する第1のバイアス信号を生成する。ただし、これは一例に過ぎず、実用上問題がなければ、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる直前の位相バイアス ϕ_I よりも、例えば、1サンプリング前又は2サンプリング前の位相バイアス ϕ_I であってもよい。

[0119] また、バイアス信号生成回路47は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_Q を維持する第2のバイアス信号を生成する。ただし、これは一例に過ぎず、実用上問題がなければ、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる直前の位相バイアス ϕ_Q よりも、例えば、1サンプリング前又は2サンプリング前の位相バイアス ϕ_Q であってもよい。

バイアス信号生成回路 47 は、生成した第 1 のバイアス信号を第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 に出力し、生成した第 2 のバイアス信号を第 2 のマッハツェンダー干渉計 4 に出力する。

バイアス信号生成回路 47 は、比較器 10 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、アラームを外部に出力する。

[0120] 図 12 に示す光送信装置では、同期検波回路 7' 及びバイアス信号生成部 46 が、図 1 に示す光送信装置に適用されている。しかし、これは一例に過ぎず、同期検波回路 7' 及びバイアス信号生成部 46 が、図 4 に示す光送信装置、図 6 に示す光送信装置、図 8 に示す光送信装置、又は、図 10 に示す光送信装置に適用されていてもよい。

[0121] 次に、図 12 に示す光送信装置の動作について説明する。

同期検波回路 7' 及びバイアス信号生成部 46 以外は、図 1 に示す光送信装置と同様であり、図 1 に示す光送信装置と異なる動作を説明する。

[0122] 同期検波回路 7' は、図 1 に示す同期検波回路 7 と同様に、光強度検出器 6 により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施する。

同期検波回路 7' は、同期検波の結果を示す同期検波信号をバイアス信号生成回路 11 及びバイアス信号生成回路 47 の双方に出力する。

[0123] バイアス信号生成回路 47 は、比較器 10 の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第 1 の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば、同期検波回路 7' から出力された同期検波信号に従って、第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_1 を示す第 1 のバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路 47 は、生成した第 1 のバイアス信号を第 1 のマッハツェンダー干渉計 3 に出力する。

同期検波信号に基づいて、同期検波信号が 0 になるような第 1 のバイアス信号を生成することができれば、第 1 のバイアス信号の生成方法としては、どのような方法でもよいが、バイアス信号生成回路 47 が、例えば、同期検

波信号とディザ信号とを加算することにより、第1のバイアス信号を生成する方法を用いることができる。

- [0124] また、バイアス信号生成回路47は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ 以下である旨を示していれば、同期検波回路7'から出力された同期検波信号に従って、第2のマッハツェンダー干渉計4が位相の調整に用いる位相バイアス ϕ_Q を示す第2のバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路47は、生成した第2のバイアス信号を第2のマッハツェンダー干渉計4に出力する。

同期検波信号に基づいて、同期検波信号が0になるような第2のバイアス信号を生成することができれば、第2のバイアス信号の生成方法としては、どのような方法でもよいが、バイアス信号生成回路47が、例えば、同期検波信号とディザ信号とを加算することにより、第2のバイアス信号を生成する方法を用いることができる。

- [0125] バイアス信号生成回路47は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_I を維持する第1のバイアス信号を生成する。

また、バイアス信号生成回路47は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアス ϕ_Q を維持する第2のバイアス信号を生成する。

バイアス信号生成回路47は、生成した第1のバイアス信号を第1のマッハツェンダー干渉計3に出力し、生成した第2のバイアス信号を第2のマッハツェンダー干渉計4に出力する。

- [0126] 変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい場合、変調信号の変調フォーマットが変更されている等の状況が発生している可能性がある。したがって、同期検波回路7'による同期検波の結果が時間的に不連続になる。

その結果、バイアス信号生成回路47によって、同期検波信号に従って生成される第1のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_I 及び同期検波信号に従って生成される第2のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_Q のそれぞれが誤った方向に調整されて、I/Q光変調器1の出力信号に劣化が生じてしまう可能性がある。

しかし、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい場合、バイアス信号生成回路47により生成される第1のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_I 及び第2のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_Q のそれぞれが、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きくなる前の位相バイアスと同じである。このため、バイアス信号生成回路47により生成される第1のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_I 及び第2のバイアス信号が示す位相バイアス ϕ_Q のそれぞれが誤った方向に調整されることに伴う、I/Q光変調器1の出力信号に劣化を抑えることができる。

[0127] また、バイアス信号生成回路47は、比較器10の比較結果が、変化量 ΔV_{peak} が第1の閾値 $Th_{\Delta Vp1}$ よりも大きい旨を示していれば、アラームを外部に出力する。

これにより、図12に示す光送信装置のユーザ、又は、図12に示す光送信装置の外部装置は、同期検波回路7'から出力された同期検波信号に従って第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する自動バイアス制御が停止されている状態であることを認識することができる。

[0128] バイアス信号生成回路47は、位相バイアス ϕ_I を維持する第1のバイアス信号及び位相バイアス ϕ_Q を維持する第2のバイアス信号のそれぞれを生成したのち、外部から、同期検波信号に従って、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する旨の指示の受け付け処理を開始する。

バイアス信号生成回路47は、外部から、同期検波信号に従って、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する旨の指示が与えられると、アラームの出力を停止して、同期検波信号に従って、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する処理を再開する。

バイアス信号生成回路47は、外部から、同期検波信号に従って、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する旨の指示が与えられなければ、同期検波信号に従って、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する処理を再開せずに、指示の受け付け処理を継続する。

[0129] なお、位相バイアス ϕ_1 及び位相バイアス ϕ_2 を維持する状態から、同期検波信号に従って、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のそれぞれを生成する状態に復帰する際には、バイアス信号生成回路11により生成されるバイアス信号、第1のバイアス信号及び第2のバイアス信号のうち、いずれかのバイアス信号から順番に復帰される。

[0130] 以上の実施の形態7では、バイアス信号生成回路47が、変化の範囲が第1の閾値以下であれば、同期検波回路7'から出力された同期検波信号に従って、第1のマッハツェンダー干渉計3が位相の調整に用いる位相バイアスを示す第1のバイアス信号及び第2のマッハツェンダー干渉計4が位相の調整に用いる位相バイアスを示す第2のバイアス信号のそれぞれを生成し、変化の範囲が第1の閾値よりも大きければ、第1のバイアス信号として、変化の範囲が第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持する第1のバイアス信号を生成し、第2のバイアス信号として、変化の範囲が第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持する第2のバイアス信号を生成するように、光送信装置を構成した。したがって、光送信装置は、同期検波の結果が時間的に不連続になっても、I/Q光変調器1による位相調整後の変調光の劣化を抑えることができる。

[0131] 実施の形態8.

実施の形態8では、I/Q光変調器1から変調光の出力が停止されるバースト運用時に、ディザ信号源61から同期検波回路7に与えられるディザ信号を遮断する遮断回路62を備えている光送信装置について説明する。

[0132] 図13は、実施の形態8に係る光送信装置を示す構成図である。図13において、図1と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

ディザ信号源 6 1 は、ディザ信号を同期検波回路 7 に出力する信号源である。

図 1 3 に示す光送信装置では、ディザ信号源 6 1 が同期検波回路 7 の外部に設けられている。しかし、これは一例に過ぎず、ディザ信号源 6 1 が同期検波回路 7 に内蔵されていてもよい。

遮断回路 6 2 は、I Q 光変調器 1 から変調光の出力が停止されるバースト運用時に、ディザ信号源 6 1 から同期検波回路 7 に与えられるディザ信号を遮断する。

[0133] 図 1 3 に示す光送信装置では、ディザ信号源 6 1 及び遮断回路 6 2 が、図 1 に示す光送信装置に適用されている。しかし、これは一例に過ぎず、ディザ信号源 6 1 及び遮断回路 6 2 が、図 4 に示す光送信装置、図 6 に示す光送信装置、図 8 に示す光送信装置、図 1 0 に示す光送信装置、又は、図 1 2 に示す光送信装置に適用されていてもよい。

[0134] 次に、図 1 3 に示す光送信装置の動作について説明する。

ディザ信号源 6 1 及び遮断回路 6 2 以外は、図 1 に示す光送信装置と同様であり、図 1 に示す光送信装置と異なる動作を説明する。

[0135] I Q 光変調器 1 から変調光の出力が停止されるバースト運用時では、I Q 光変調器 1 から変調光が出力されないことが理想である。

しかし、位相バイアス ϕ_I 及び位相バイアス ϕ_Q を維持する状態であるとき、ディザ信号源 6 1 からディザ信号が同期検波回路 7 に与えられると、ディザ信号の振幅に応じた変調光が、I Q 光変調器 1 から出力されることがある。

図 1 3 に示す光送信装置では、バースト運用時に、遮断回路 6 2 が、ディザ信号源 6 1 から同期検波回路 7 に与えられるディザ信号を遮断する。

ディザ信号源 6 1 から同期検波回路 7 に与えられるディザ信号が遮断されることによって、I Q 光変調器 1 からの変調光の出力が停止される。

[0136] なお、本開示は、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素

の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0137] 本開示は、直交光変調器を備える光送信装置に適している。

符号の説明

[0138] 1 I Q光変調器、1-1 第1のI Q光変調器、1-2 第2のI Q光変調器、2 分岐部、3 第1のマッハツエンダー干渉計、4 第2のマッハツエンダー干渉計、5 位相調整電極部、6 光強度検出器、7, 7' 同期検波回路、8 バイアス信号生成部、9 変化検出回路、10 比較器、11 バイアス信号生成回路、12 バイアス信号生成回路、13 ドライバ、14 バイアス信号生成部、15 比較器、16 バイアス信号生成回路、21 メモリ、22 プロセッサ、30 バイアス信号生成部、31 第1の比較器、32 第2の比較器、33 バイアス信号生成回路、34 バイアス信号生成部、35 第1の比較器、36 第2の比較器、37 バイアス信号生成回路、41 第2の光強度検出器、42 第3の光強度検出器、43 第2の同期検波回路、44, 46 バイアス信号生成部、45, 47 バイアス信号生成回路、51 分岐部、52 合波部、53 光強度検出器、54 同期検波回路、55 バイアス信号生成部、56 バイアス信号生成回路、57 バイアス信号生成回路、61 ディザ信号源、62 遮断回路。

請求の範囲

[請求項1]

入射された光を変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整して、位相調整後の変調光を出力し、又は、前記入射された光の位相を前記バイアス信号が示す位相バイアスによって調整してから、位相調整後の光を前記変調信号によって変調して、変調後の光である変調光を出力する直交光変調器と、

前記直交光変調器から出力された変調光の光強度を検出する光強度検出器と、

前記光強度検出器により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す同期検波信号を出力する同期検波回路と、

前記変調信号の振幅の変化を監視し、前記変化の範囲が第1の閾値以下であれば、前記同期検波回路から出力された同期検波信号に従って前記バイアス信号を生成し、前記変化の範囲が前記第1の閾値よりも大きければ、前記バイアス信号として、前記変化の範囲が前記第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成するバイアス信号生成部と

を備えた光送信装置。

[請求項2]

前記バイアス信号生成部は、

前記変調信号の振幅の変化を検出する変化検出回路と、

前記変化検出回路により検出された変化の範囲と前記第1の閾値とを比較する比較器と、

前記比較器の比較結果が、前記変化の範囲が前記第1の閾値以下である旨を示していれば、前記同期検波回路から出力された同期検波信号に従って前記バイアス信号を生成し、前記比較器の比較結果が、前記変化の範囲が前記第1の閾値よりも大きい旨を示していれば、前記バイアス信号として、前記変化の範囲が前記第1の閾値よりも大きく

なる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成するバイアス信号生成回路と

を備えていることを特徴とする請求項 1 記載の光送信装置。

[請求項3]

前記バイアス信号生成部は、

前記変調信号の振幅と振幅下限値とを比較する第 1 の比較器と、

前記変調信号の振幅と、前記振幅下限値よりも前記第 1 の閾値だけ大きい振幅上限値とを比較する第 2 の比較器と、

前記第 1 の比較器の比較結果が、前記変調信号の振幅が前記振幅下限値以上である旨を示し、かつ、前記第 2 の比較器の比較結果が、前記変調信号の振幅が前記振幅上限値以下である旨を示していれば、前記同期検波回路から出力された同期検波信号に従って前記バイアス信号を生成し、前記変調信号の振幅が前記振幅下限値よりも小さい旨を示していれば、前記バイアス信号として、前記変調信号の振幅が前記振幅下限値よりも小さくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成し、前記第 2 の比較器の比較結果が、前記変調信号の振幅が前記振幅上限値よりも大きい旨を示していれば、前記バイアス信号として、前記変調信号の振幅が前記振幅上限値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成するバイアス信号生成回路と

を備えていることを特徴とする請求項 1 記載の光送信装置。

[請求項4]

前記バイアス信号生成部は、前記変化の範囲が前記第 1 の閾値よりも大きければ、アラームを出力することを特徴とする請求項 1 記載の光送信装置。

[請求項5]

前記バイアス信号生成部は、前記変化の範囲が前記第 1 の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成したのち、外部から、前記同期検波信号に従って前記バイアス信号を生成する旨の指示が与えられると、前記同期検波信号に従って前記バイアス信号を生成する処理を再開することを特徴とする請求項 1 記載の光送

信装置。

[請求項6]

前記バイアス信号生成部は、前記変化の範囲が前記第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成したのち、前記変調信号の振幅の変化を監視し、当該変化の範囲が第2の閾値よりも小さければ、前記同期検波信号に従って前記バイアス信号を生成する処理を再開することを特徴とする請求項1記載の光送信装置。

[請求項7]

前記直交光変調器は、

前記入射された光を2つに分岐する分岐部と、

前記分岐部による分岐後の2つの光のうち、一方の光を前記変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相を調整して、位相調整後の変調光を出力し、又は、前記一方の光の位相を調整してから、位相調整後の光を前記変調信号によって変調して、変調後の光である変調光を出力する第1のマッハツェンダー干渉計と、

前記分岐部による分岐後の2つの光のうち、他方の光を前記変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相を調整して、位相調整後の変調光を出力し、又は、前記他方の光の位相を調整してから、位相調整後の光を前記変調信号によって変調して、変調後の光である変調光を出力する第2のマッハツェンダー干渉計と、

前記第1のマッハツェンダー干渉計から出力された変調光の位相と、前記第2のマッハツェンダー干渉計から出力された変調光の位相とを前記バイアス信号が示す位相バイアスによって調整し、当該位相バイアスによる2つの位相調整後の変調光を合波する位相調整電極部とを備えていることを特徴とする請求項1記載の光送信装置。

[請求項8]

前記光強度検出器は、前記位相調整電極部による合波後の変調光の光強度を検出し、

前記同期検波回路は、前記光強度検出器により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果

を示す同期検波信号を出力し、

前記バイアス信号生成部は、前記変調信号の振幅の変化を監視し、前記変化の範囲が第1の閾値以下であれば、前記バイアス信号として、前記同期検波回路から出力された同期検波信号に従って、前記位相調整電極部が位相の調整に用いる位相バイアスを示すバイアス信号を生成し、前記変化の範囲が前記第1の閾値よりも大きければ、前記バイアス信号として、前記変化の範囲が前記第1の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成することを特徴とする請求項7記載の光送信装置。

[請求項9]

前記光強度検出器が第1の光強度検出器、前記同期検波回路が第1の同期検波回路であり、

前記第1のマッハツェンダー干渉計から出力された変調光の光強度を検出する第2の光強度検出器と、

前記第2のマッハツェンダー干渉計から出力された変調光の光強度を検出する第3の光強度検出器と、

前記第2の光強度検出器により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す第1の同期検波信号を出力し、前記第3の光強度検出器により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施し、当該同期検波の結果を示す第2の同期検波信号を出力する第2の同期検波回路とを備え、

前記バイアス信号生成部は、前記変化の範囲が第1の閾値以下であれば、前記第2の同期検波回路から出力された第1の同期検波信号に従って、前記第1のマッハツェンダー干渉計が位相の調整に用いる位相バイアスを示す第1のバイアス信号を生成し、前記第2の同期検波回路から出力された第2の同期検波信号に従って、前記第2のマッハツェンダー干渉計が位相の調整に用いる位相バイアスを示す第2のバイアス信号を生成し、前記変化の範囲が前記第1の閾値よりも大きけ

れば、前記第 1 のバイアス信号として、前記変化の範囲が前記第 1 の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持する第 1 のバイアス信号を生成し、前記第 2 のバイアス信号として、前記変化の範囲が前記第 1 の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持する第 2 のバイアス信号を生成することを特徴とする請求項 8 記載の光送信装置。

[請求項10]

入射された光を 2 つに分岐する分岐部と、

前記分岐部による分岐後の 2 つの光のうち、一方の光を変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相をバイアス信号が示す位相バイアスによって調整して、位相調整後の変調光を出力し、又は、前記一方の光の位相を前記バイアス信号が示す位相バイアスによって調整してから、位相調整後の光を前記変調信号によって変調して、変調後の光である変調光を出力する第 1 の直交光変調器と、

前記分岐部による分岐後の 2 つの光のうち、他方の光を前記変調信号によって変調してから、変調後の光である変調光の位相を前記バイアス信号が示す位相バイアスによって調整して、位相調整後の変調光を出力し、又は、前記他方の光の位相を前記バイアス信号が示す位相バイアスによって調整してから、位相調整後の光を前記変調信号によって変調して、変調後の光である変調光を出力する第 2 の直交光変調器と、

前記第 1 の直交光変調器から出力された変調光と前記第 2 の直交光変調器から出力された変調光とを合波する合波部と、

前記合波部による合波後の変調光の光強度を検出する光強度検出器と、

前記光強度検出器により検出された光強度を示す光強度信号とディザ信号との同期検波を実施し、同期検波の結果を示す同期検波信号を出力する同期検波回路と、

前記変調信号の振幅の変化を監視し、前記変化の範囲が第 1 の閾値以下であれば、前記同期検波回路から出力された同期検波信号に従っ

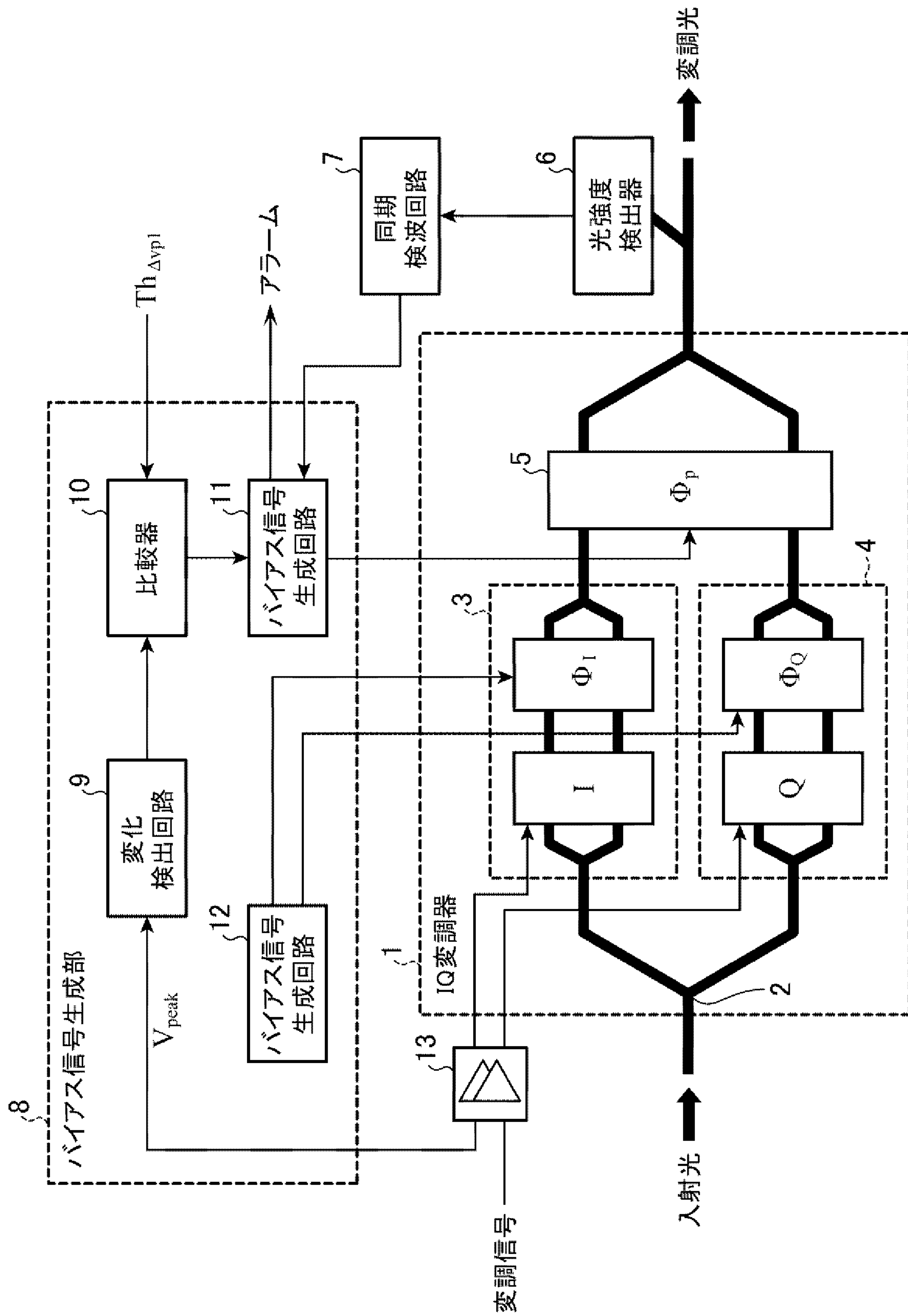
て前記バイアス信号を生成し、前記変化の範囲が第 1 の閾値よりも大きければ、前記バイアス信号として、前記変化の範囲が前記第 1 の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持するバイアス信号を生成するバイアス信号生成部と

を備えた光送信装置。

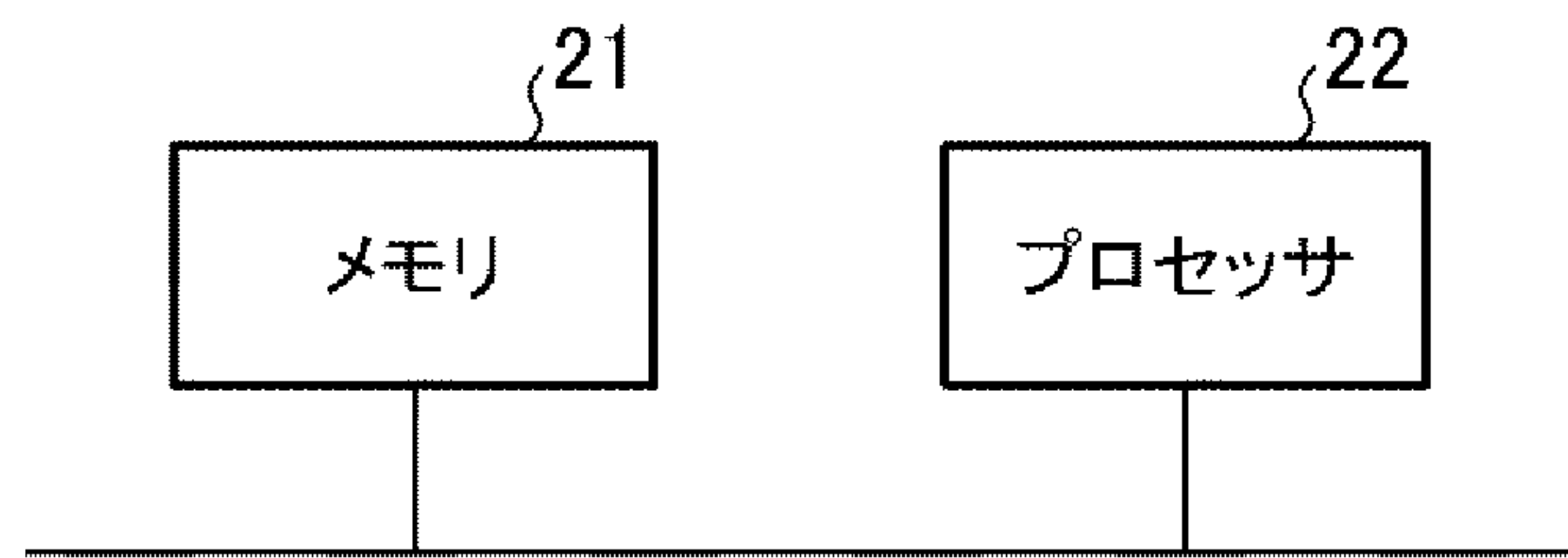
[請求項11] 前記バイアス信号生成部は、前記変調信号の振幅の変化を監視し、前記変化の範囲が第 1 の閾値以下であれば、前記同期検波回路から出力された同期検波信号に従って、前記第 1 のマッハツェンダー干渉計が位相の調整に用いる位相バイアスを示す第 1 のバイアス信号及び前記第 2 のマッハツェンダー干渉計が位相の調整に用いる位相バイアスを示す第 2 のバイアス信号のそれぞれを生成し、前記変化の範囲が前記第 1 の閾値よりも大きければ、前記第 1 のバイアス信号として、前記変化の範囲が前記第 1 の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持する第 1 のバイアス信号を生成し、前記第 2 のバイアス信号として、前記変化の範囲が前記第 1 の閾値よりも大きくなる前の位相バイアスを維持する第 2 のバイアス信号を生成することを特徴とする請求項 8 記載の光送信装置。

[請求項12] 前記直交光変調器から変調光の出力が停止されるバースト運用時に、ディザ信号源から前記同期検波回路に与えられるディザ信号を遮断する遮断回路を備えていることを特徴とする請求項 1 記載の光送信装置。

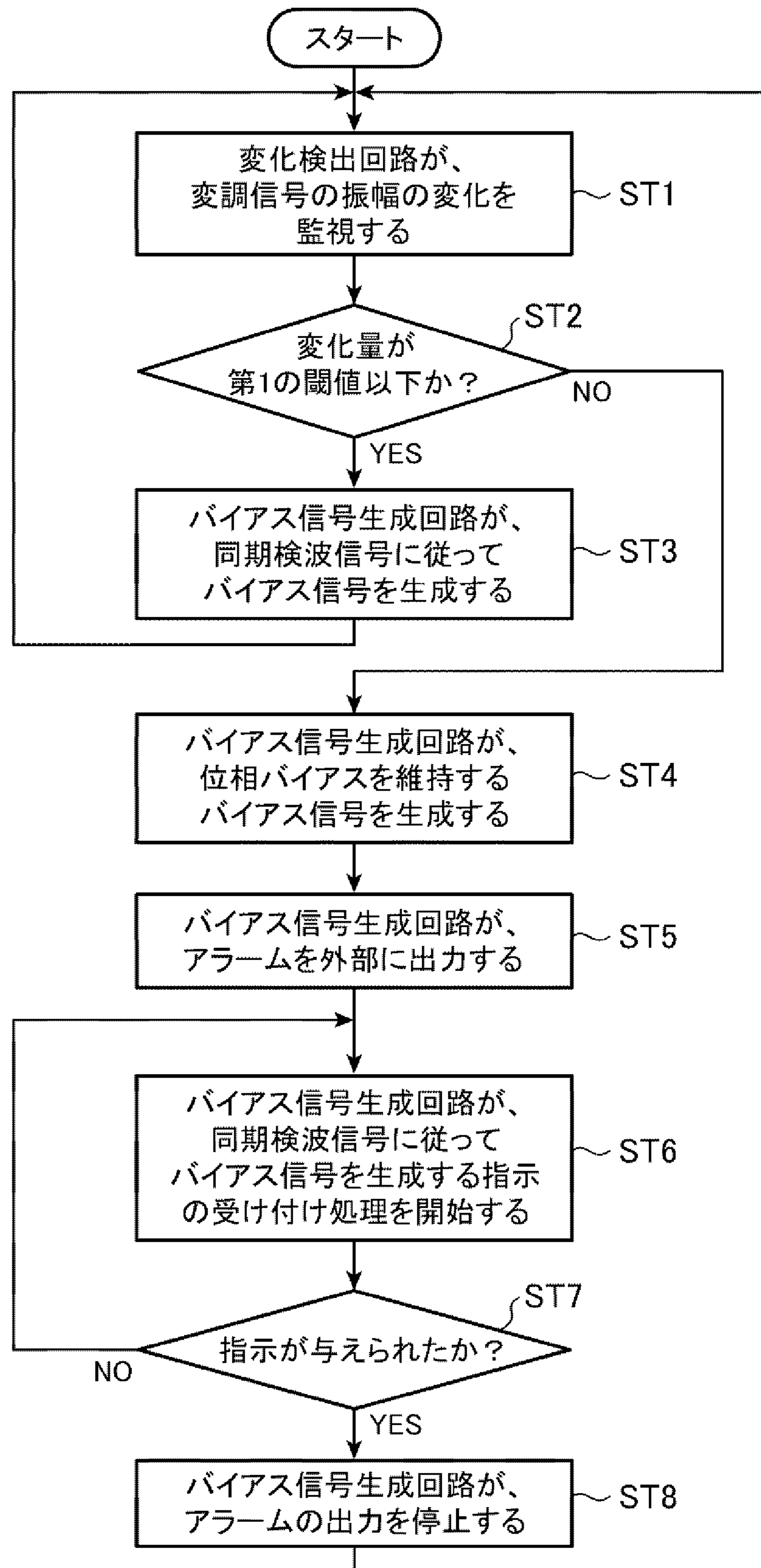
[図1]



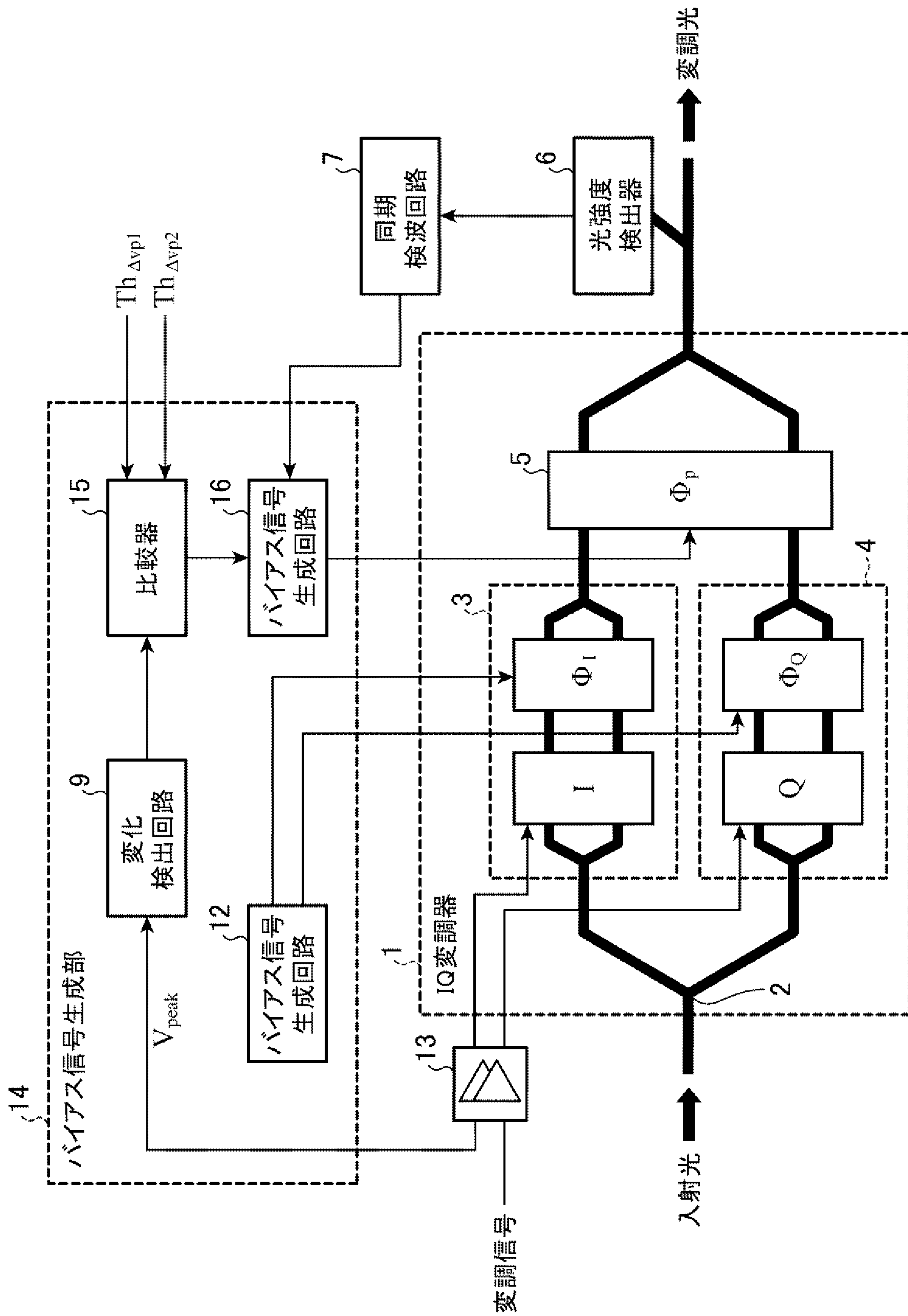
[図2]



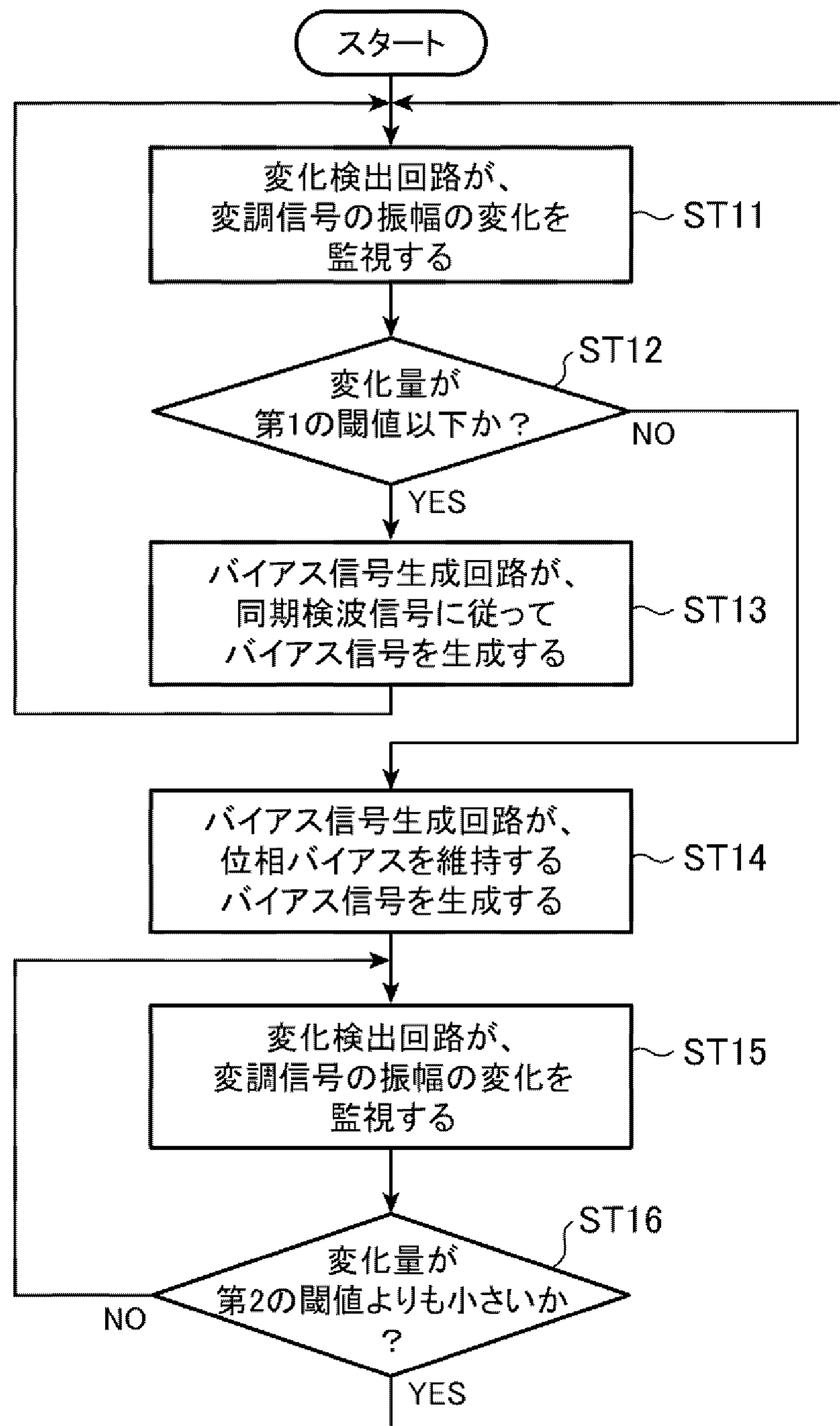
[図3]



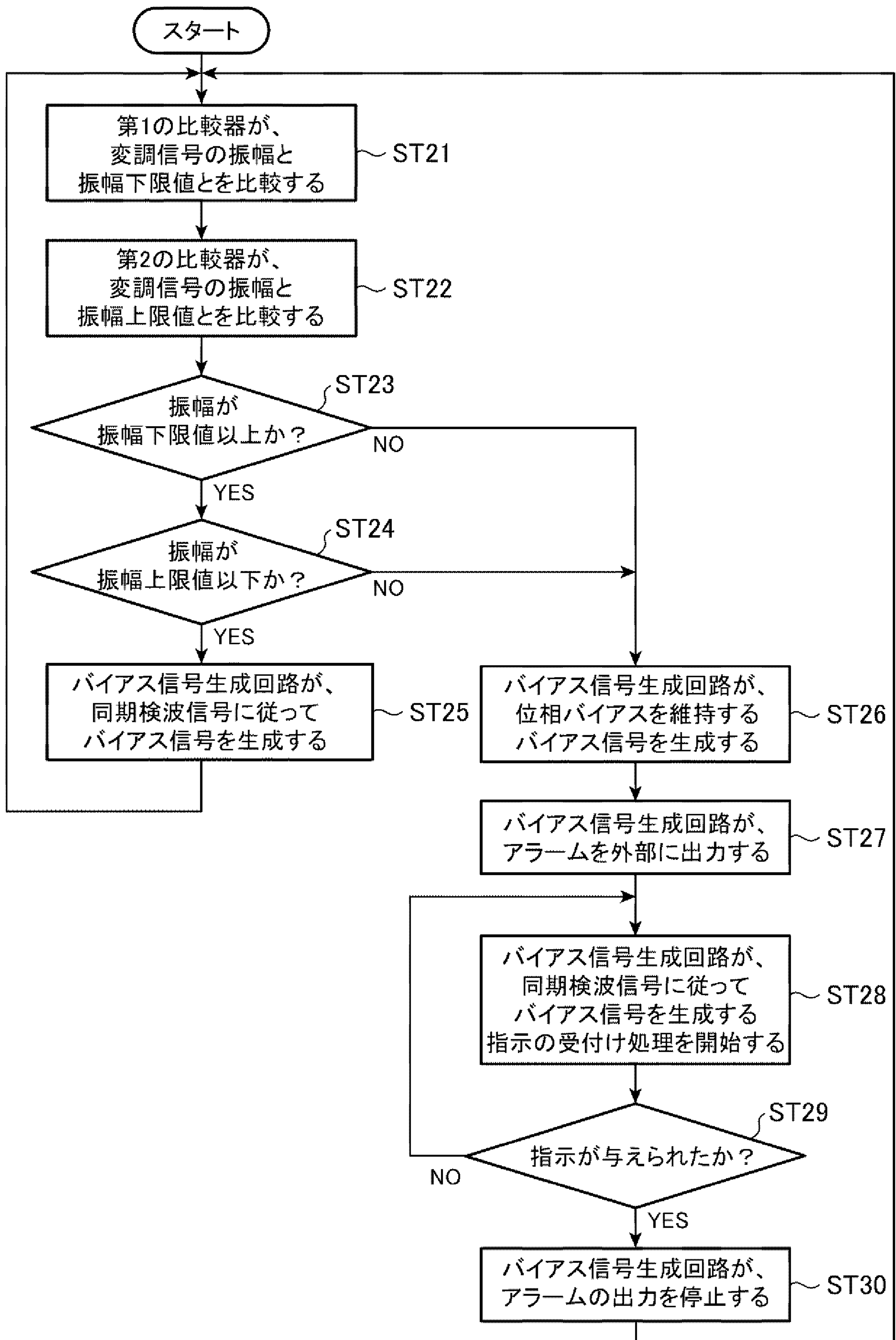
[図4]



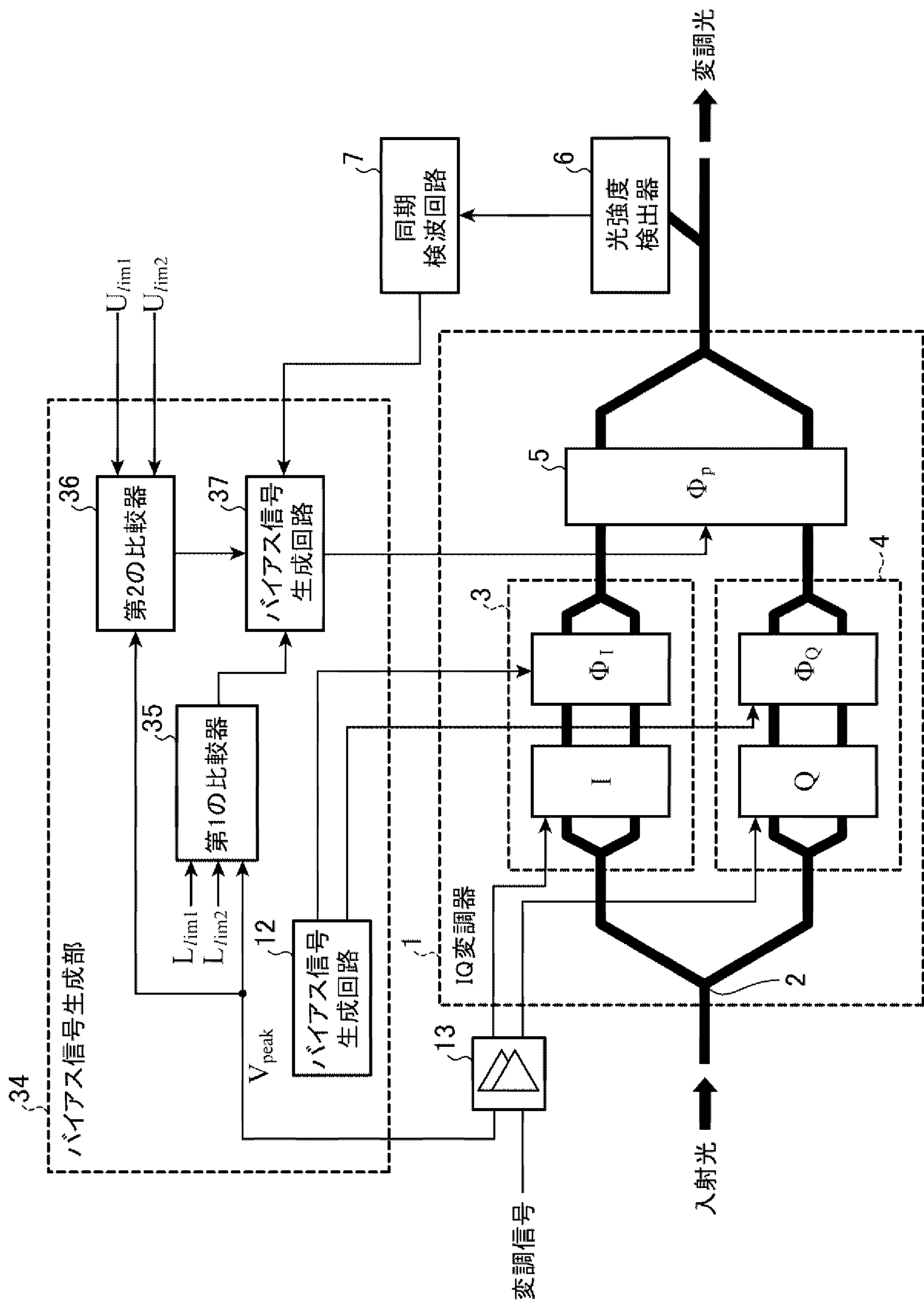
[図5]



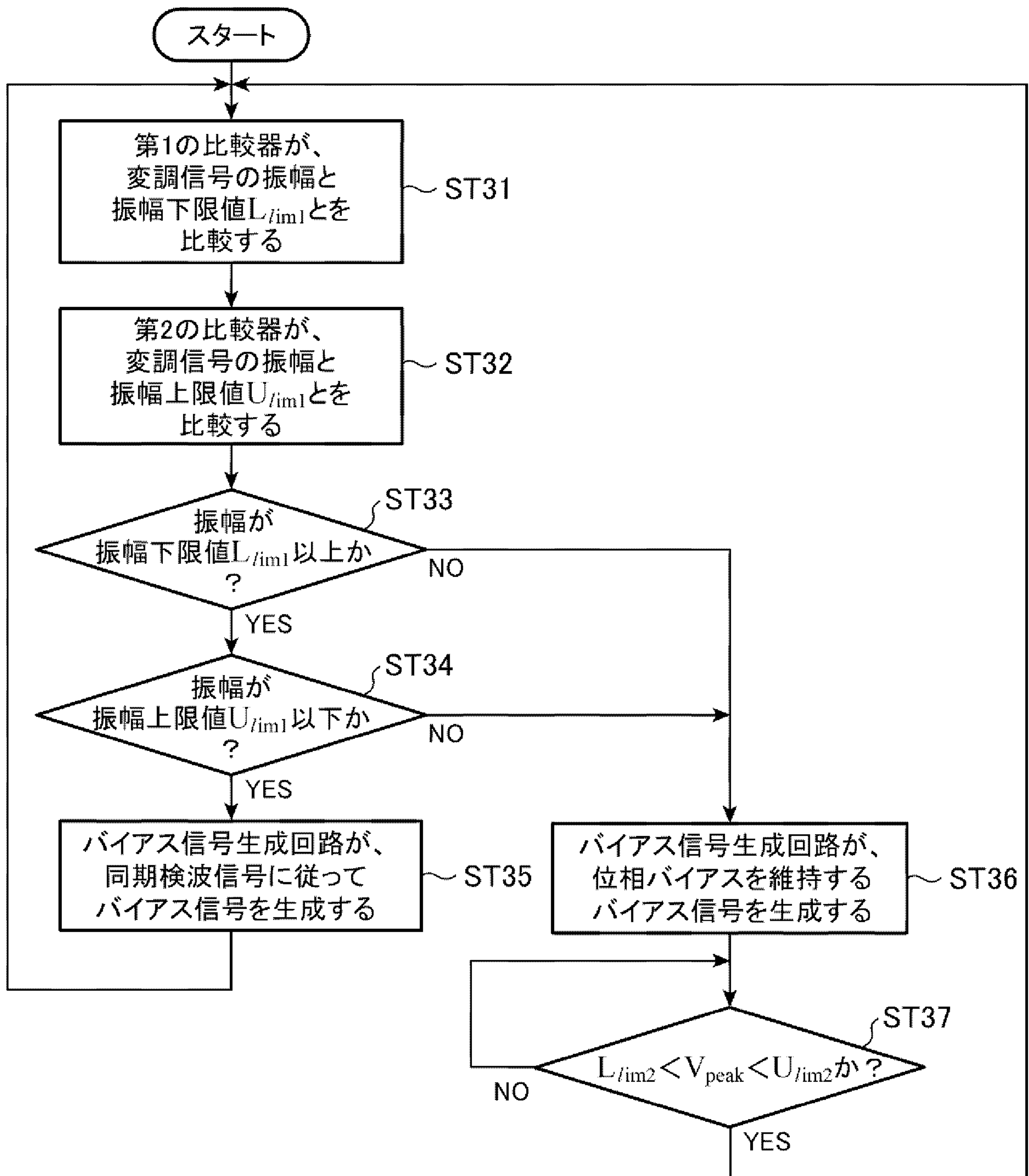
[図7]



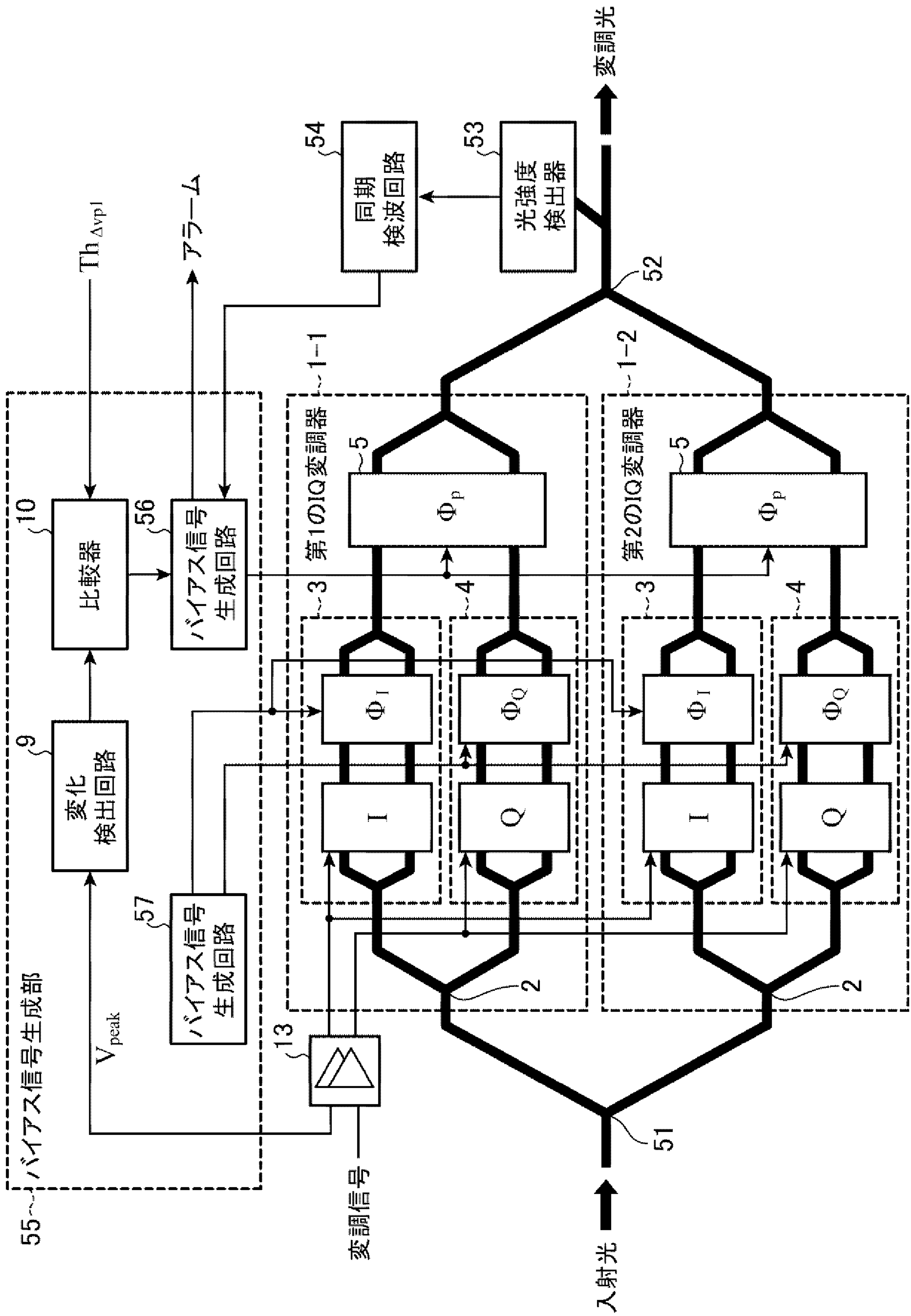
[図8]



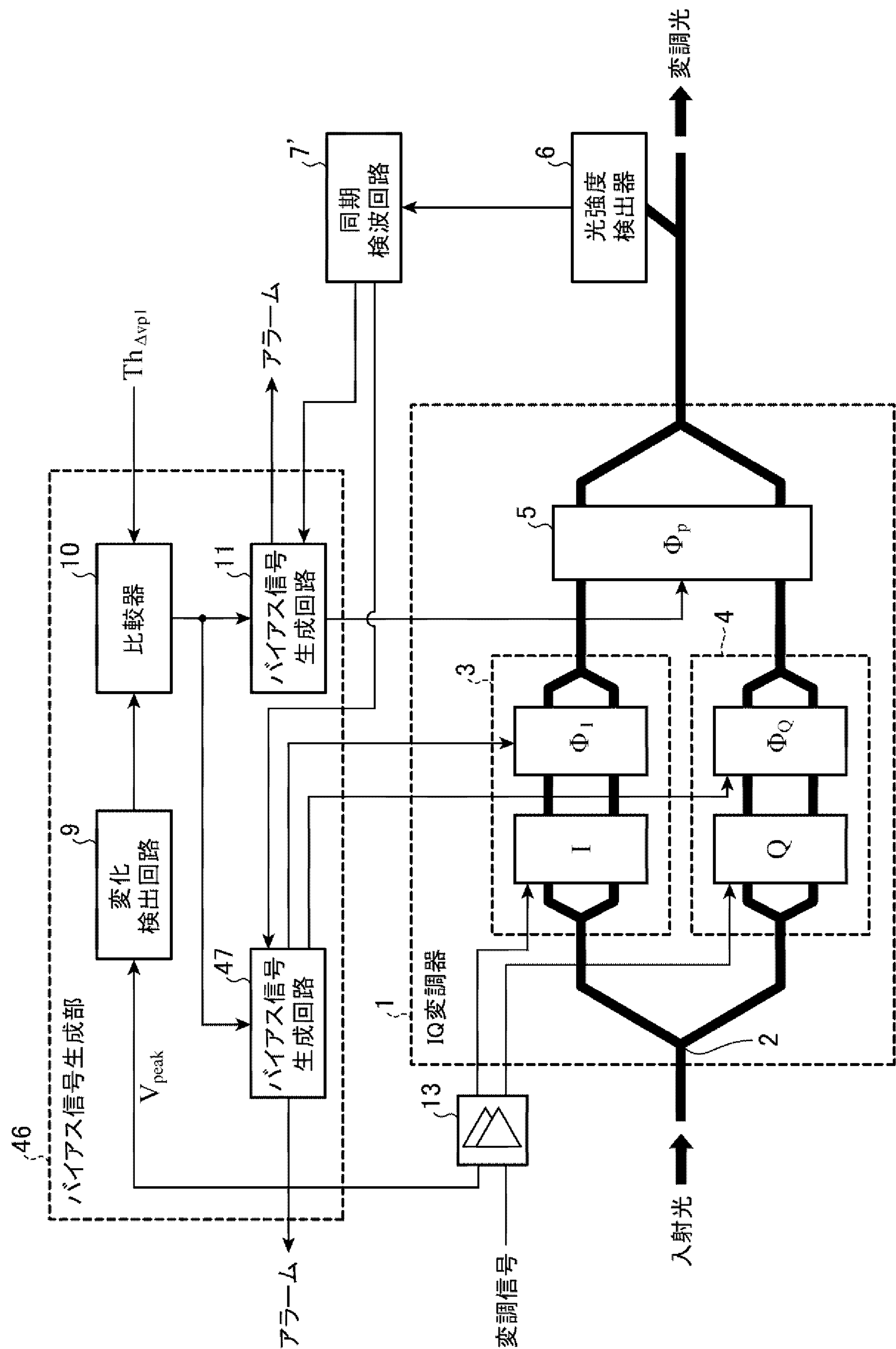
[図9]



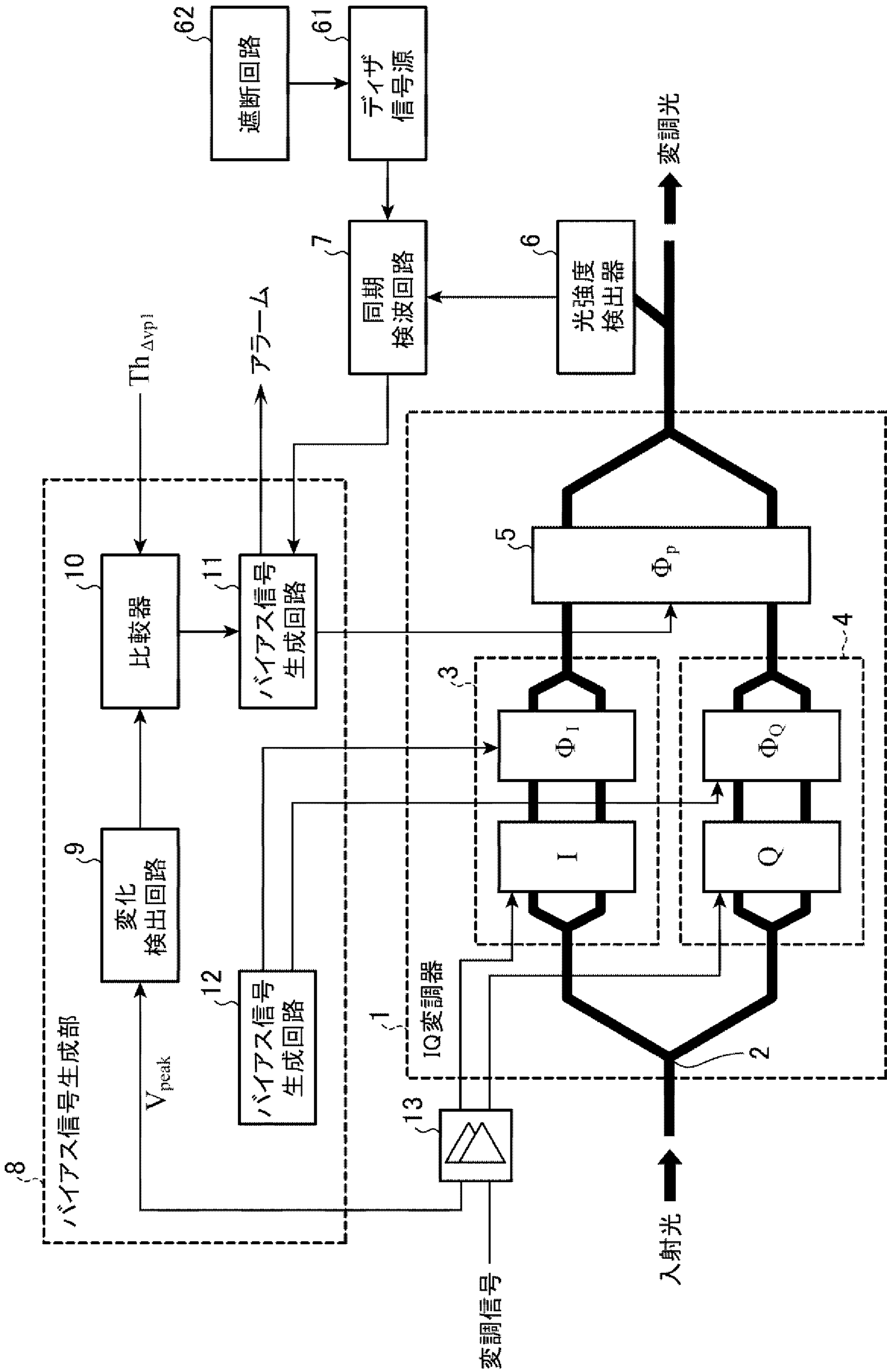
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/037937

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H04B10/079(2013.01) i, H04B10/516(2013.01) i
FI: H04B10/516, H04B10/079190

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. H04B10/079, H04B10/516

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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.
A	WO 2013/114628 A1 (FUJITSU LIMITED) 08 August 2013 (2013-08-08), entire text, all drawings	1-12
A	JP 2016-102870 A (FUJITSU OPTICAL COMPONENTS LTD.) 02 June 2016 (2016-06-02), entire text, all drawings	1-12
A	WO 2011/030763 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 17 March 2011 (2011-03-17), entire text, all drawings	1-12
A	JP 2016-149685 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 18 August 2016 (2016-08-18), entire text, all drawings	1-12
A	JP 2010-28741 A (YOKOGAWA ELECTRIC CORPORATION) 04 February 2010 (2010-02-04), entire text, all drawings	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“T” 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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 December 2020

Date of mailing of the international search report
28 December 2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/037937

WO 2013/114628 A1 08 August 2013

US 2014/0334829 A1
entire text, all drawings

JP 2016-102870 A 02 June 2016

US 2016/0156416 A1
entire text, all drawings
EP 3026832 A1
CN 105656563 A

WO 2011/030763 A1 17 March 2011

US 2012/0155865 A1
entire text, all drawings

JP 2016-149685 A 18 August 2016

(Family: none)

JP 2010-28741 A 04 February 2010

US 2010/0021182 A1
entire text, all drawings
EP 2148457 A2

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2020/037937
A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） H04B 10/079(2013.01)i; H04B 10/516(2013.01)i FI: H04B10/516; H04B10/079 190		
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（I P C）） H04B10/079; H04B10/516		
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 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 2 0 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 2 0 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 2 0 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
A	W0 2013/114628 A1（富士通株式会社）08.08.2013（2013 - 08 - 08） 全文, 全図	1-12
A	JP 2016-102870 A（富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社）02.06.2016 (2016 - 06 - 02) 全文, 全図	1-12
A	W0 2011/030763 A1（日本電信電話株式会社）17.03.2011（2011 - 03 - 17） 全文, 全図	1-12
A	JP 2016-149685 A（住友電気工業株式会社）18.08.2016（2016 - 08 - 18） 全文, 全図	1-12
A	JP 2010-28741 A（横河電機株式会社）04.02.2010（2010 - 02 - 04） 全文, 全図	1-12
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ 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の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抵触するものではなく、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 16. 12. 2020	国際調査報告の発送日 28. 12. 2020	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 対馬 英明 5K 1211 電話番号 03-3581-1101 内線 3556	

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2013/114628	A1	08.08.2013	US	2014/0334829	A1	
				全文, 全図			
JP	2016-102870	A	02.06.2016	US	2016/0156416	A1	
				全文, 全図			
				EP	3026832	A1	
				CN	105656563	A	
WO	2011/030763	A1	17.03.2011	US	2012/0155865	A1	
				全文, 全図			
JP	2016-149685	A	18.08.2016	(ファミリーなし)			
JP	2010-28741	A	04.02.2010	US	2010/0021182	A1	
				全文, 全図			
				EP	2148457	A2	