

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-74246
(P2018-74246A)

(43) 公開日 平成30年5月10日(2018.5.10)

(5) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4B 10/63 (2013.01)	HO4B 10/63	5K102
HO4L 27/38 (2006.01)	HO4L 27/38	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2016-208746 (P2016-208746)
 (22) 出願日 平成28年10月25日(2016.10.25)
 特許法第30条第2項適用申請有り 刊行物名 電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会プログラム(通信講演論文集2) 発行日 2016年9月6日 発行所 一般社団法人 電子情報通信学会 該当ページ 216ページ 公開のタイトル 「16値光QAM信号のコスタスループによるホモダイン検波」 発表日 2016(平成28)年9月20日(発表日) 2016(平成28)年9月20日~9月23日(学会開催日) 集会名 電子情報通信学会 2016年ソサイエティ大会 開催場所 北海道大学 札幌キャンパス(北海道札幌市北区北8条西5丁目)

(71) 出願人 304028726
 国立大学法人 大分大学
 大分県大分市大字旦野原700番地
 (74) 代理人 100072718
 弁理士 古谷 史旺
 (74) 代理人 100116001
 弁理士 森 俊秀
 (72) 発明者 水島 明
 大分県大分市大字旦野原700番地 国立大学法人大分大学工学部内
 (72) 発明者 古賀 正文
 大分県大分市大字旦野原700番地 国立大学法人大分大学工学部内

最終頁に続く

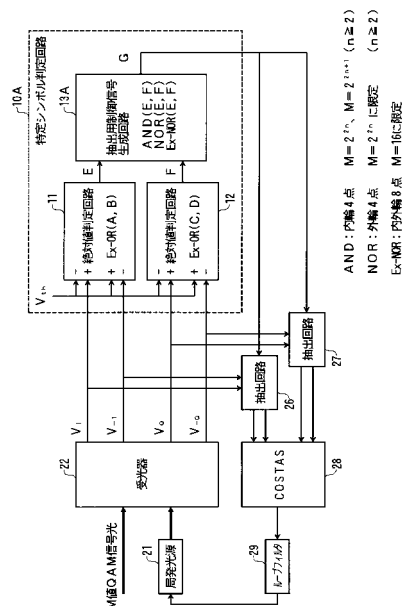
(54) 【発明の名称】 光位相同期回路

(57) 【要約】

【課題】 16値以上の多値QAM信号光から位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルの出現タイミングを判定する特定シンボル判定回路を改良する。

【解決手段】 特定シンボル判定回路は、I成分の差動電気信号の絶対値と所定の閾値との大小関係に応じた第1の判定信号を出力する第1の絶対値判定回路と、Q成分の差動電気信号の絶対値と所定の閾値との大小関係に応じた第2の判定信号を出力する第2の絶対値判定回路と、第1の判定信号と第2の判定信号の論理演算により制御信号として出力する抽出用制御信号生成回路とを備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

16値以上の多値 Q A M 信号光を局発光源から出力される局発光を用いて光ホモダイン位相同期検波し、I 成分の差動電気信号および Q 成分の差動電気信号を出力する受光器と、前記 I 成分の差動電気信号および前記 Q 成分の差動電気信号を入力し、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルの出現タイミングを示す制御信号を出力する特定シンボル判定回路と、

前記 I 成分の差動電気信号および前記 Q 成分の差動電気信号と、前記制御信号を入力し、前記制御信号に応じて前記特定シンボルにおける位相誤差信号を検出し、この位相誤差信号により前記局発光源の光周波数を制御して前記多値 Q A M 信号光と前記局発光の光位相を同期させる位相誤差制御手段と

を備えた光位相同期回路において、

前記特定シンボル判定回路は、

前記 I 成分の差動電気信号の絶対値と所定の閾値との大小関係に応じた第 1 の判定信号を出力する第 1 の絶対値判定回路と、

前記 Q 成分の差動電気信号の絶対値と前記所定の閾値との大小関係に応じた第 2 の判定信号を出力する第 2 の絶対値判定回路と、

前記第 1 の判定信号と前記第 2 の判定信号の論理演算により前記制御信号として出力する抽出用制御信号生成回路と

を備えたことを特徴とする光位相同期回路。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光位相同期回路において、

前記第 1 の絶対値判定回路は、前記 I 成分の差動電気信号と前記所定の閾値との論理演算により前記第 1 の判定信号を出力する構成であり、

前記第 2 の絶対値判定回路は、前記 Q 成分の差動電気信号と前記所定の閾値との論理演算により前記第 2 の判定信号を出力する構成である

ことを特徴とする光位相同期回路。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の光位相同期回路において、

前記抽出用制御信号生成回路は、前記所定の閾値として前記多値 Q A M 信号光の最小振幅のシンボルのみを検出できる値に設定し、前記第 1 の判定信号と前記第 2 の判定信号の論理演算により、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最小振幅の内輪 4 点の特定シンボルの出現タイミングを示す前記制御信号を出力する構成である

ことを特徴とする光位相同期回路。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の光位相同期回路において、

前記抽出用制御信号生成回路は、前記多値 Q A M 信号光の多値数 M が $M = 2^{2n}$ (n は 2 以上の整数) とし、前記所定の閾値として前記多値 Q A M 信号光の最大振幅のシンボルのみを検出できる値に設定し、前記第 1 の判定信号と前記第 2 の判定信号の論理演算により、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最大振幅の外輪 4 点の特定シンボルの出現タイミングを示す前記制御信号を出力する構成である

ことを特徴とする光位相同期回路。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の光位相同期回路において、

前記抽出用制御信号生成回路は、前記多値 Q A M 信号光が 16 Q A M 信号光とし、前記所定の閾値として前記 16 Q A M 信号光の最大振幅と最小振幅との間に設定し、前記第 1 の判定信号と前記第 2 の判定信号の論理演算により、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最大振幅の外輪 4 点と最小振幅の内輪 4 点の特定シンボルの出現タイミングを示す前記制御信号を出力する構成である

ことを特徴とする光位相同期回路。

10

20

30

40

50

【請求項 6】

請求項 1 に記載の光位同期回路において、

前記所定の閾値として、前記多値 Q A M 信号光の中間振幅以上のシンボルを検出できる第 1 の閾値と、第 1 の閾値より前記多値 Q A M 信号光の 1 シンボルの振幅差だけ大きい第 2 の閾値を設定し、

前記第 1 の絶対値判定回路は、前記第 1 の閾値を用いて第 1 - 1 の判定信号を出力する第 1 - 1 の絶対値判定回路と、前記第 2 の閾値を用いて第 1 - 2 の判定信号を出力する第 1 - 2 の絶対値判定回路とを備え、

前記第 2 の絶対値判定回路は、前記第 1 の閾値を用いて第 2 - 1 の判定信号を出力する第 2 - 1 の絶対値判定回路と、前記第 2 の閾値を用いて第 2 - 2 の判定信号を出力する第 2 - 2 の絶対値判定回路とを備え、

前記抽出用制御信号生成回路は、前記第 1 - 1 の判定信号と前記第 2 - 1 の判定信号の NOR をとった第 1 の中間制御信号を生成し、前記第 1 - 2 の判定信号と前記第 2 - 2 の判定信号の AND をとった第 2 の中間制御信号を生成し、第 1 の中間制御信号と第 2 の中間制御信号の AND をとり、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で中間振幅の 4 点の特定シンボルの出現タイミングを示す前記制御信号を出力する構成である

ことを特徴とする光位同期回路。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の光位同期回路において、

前記位相誤差制御手段は、前記 I 成分の差動電気信号および前記 Q 成分の差動電気信号から前記制御信号に応じて前記特定シンボルを抽出する抽出回路を備え、抽出回路で抽出された前記特定シンボルを前記位相誤差制御手段に入力する構成である

ことを特徴とする光位同期回路。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の光位同期回路において、

前記位相誤差制御手段は、前記 I 成分の差動電気信号および前記 Q 成分の差動電気信号から各シンボルの位相誤差を検出し、各シンボルの位相誤差から前記制御信号に応じて前記特定シンボルの位相誤差を抽出する構成である

ことを特徴とする光位同期回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、16 値以上の多値 Q A M 信号光を光ホモダイン位同期検波する光多値 Q A M 信号受信装置において、多値 Q A M 信号光に対して局発光の光位相を同期させる光位同期回路に関する。

【背景技術】

【0002】

図 10 は、Q P S K 信号光に対する従来 of 光位同期回路の構成例を示す（特許文献 1 および特許文献 2）。

【0003】

図 10 において、Q P S K 信号光と局発光源 21 から出力される局発光は、光 90 度ハイブリッド回路を含む受光器 22 に入力し、I 成分の差動電気信号の V_{I1} 、 V_{I2} および Q 成分の差動電気信号 V_{Q1} 、 V_{Q2} として C O S T A S 回路 28 に入力する。C O S T A S 回路 28 では、 V_{I1} 、 V_{I2} および V_{Q1} 、 V_{Q2} から Q P S K 信号光に対する局部発振光の位相誤差成分を検出し、ループフィルタ 29 を介して局発光源 21 にフィードバックし、Q P S K 信号光に対する局発光の位相誤差が 0 になるように光周波数制御を行う。

【0004】

C O S T A S 回路 28 では、B P S K 信号光や Q P S K 信号光に対する局部発振光の位相誤差を検出することができる。例えば Q P S K では、送信情報を $\pm \pi/4$ 、 $\pm 3\pi/4$

10

20

30

40

50

の4値位相を使って送信するが、COSTAS回路28では、 V_{I1} 、 V_{Q1} および V_{I0} 、 V_{Q0} の位相を4倍することで、送信情報に依存しない形で位相誤差を検出することができる。

【0005】

しかし、16値以上の多値QAM信号の場合は、位相を4倍したときに送信情報に依存した情報と、依存しない情報(真の位相誤差)になる信号がある。例えば16QAMでは、図11に示すIQ空間上に、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルに対応する信号と、その他のシンボルに対応する信号がそれぞれ8個ある。このうち、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルに対応する信号はその位相を4倍すると $\pm \pi$ になり、 $\pm \pi$ からのずれが位相誤差として検出できるが、信号は位相を4倍または8倍しても位相誤差だけを検出することができない。

10

【0006】

このように、COSTAS回路28は、BPSK信号光やQPSK信号光に対して位相誤差検出器として機能するが、16値以上の多値QAM信号に対する位相誤差検出器として機能させることができない。一方、インターネットが普及した現在、通信容量拡大のために変調方式の多値化が進んでいる。

【0007】

そこで、特許文献2では、図11に示すように、受光器22とCOSTAS回路28との間に特定シンボル判定回路23および抽出回路26、27を挿入し、16値以上の多値QAM信号から位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルに対応する信号を抽出し、COSTAS回路28に入力する構成を示した。

20

【0008】

特定シンボル判定回路23は、強度検出回路24で多値QAM信号のI成分とQ成分の2乗和から強度Rを検出し、比較回路25で1つ以上の閾値と比較して位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルの出現タイミングに対応する制御信号を生成する。抽出回路26、27は、この制御信号で受光器22から出力される V_{I1} 、 V_{Q1} および V_{I0} 、 V_{Q0} をラッチし、COSTAS回路28に入力する。例えば、強度Rが閾値R1以下となるタイミングを判定して16QAM信号の内輪4点を抽出し、強度Rが閾値R2($R2 > R1$)以上となるタイミングを判定して外輪4点を抽出する。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2014-138258号公報

【特許文献2】特開2015-162863号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献2に記載の特定シンボル判定回路23は、多値QAM信号のI成分とQ成分の2乗和から強度を検出して閾値判定する構成であり、通信容量拡大に伴う大きな多値数やシンボルレート的高速化に対応することが困難であった。したがって、多値QAM信号の各シンボルの強度を検出せずに、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルを抽出する方法が必要になる。

40

【0011】

本発明は、16値以上の多値QAM信号光から位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルの出現タイミングを判定する特定シンボル判定回路を改良した光位相同期回路を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、16値以上の多値QAM信号光を局発光源から出力される局発光を用いて光ホモダイン位相同期検波し、I成分の差動電気信号およびQ成分の差動電気信号を出力する

50

受光器と、I成分の差動電気信号およびQ成分の差動電気信号を入力し、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルの出現タイミングを示す制御信号を出力する特定シンボル判定回路と、I成分の差動電気信号およびQ成分の差動電気信号と、制御信号を入力し、制御信号に応じて特定シンボルにおける位相誤差信号を検出し、この位相誤差信号により局発光源の光周波数を制御して多値QAM信号光と局発光の光位相を同期させる位相誤差制御手段とを備えた光位相同期回路において、特定シンボル判定回路は、I成分の差動電気信号の絶対値と所定の閾値との大小関係に応じた第1の判定信号を出力する第1の絶対値判定回路と、Q成分の差動電気信号の絶対値と所定の閾値との大小関係に応じた第2の判定信号を出力する第2の絶対値判定回路と、第1の判定信号と第2の判定信号の論理演算により制御信号として出力する抽出用制御信号生成回路とを備える。

10

【0013】

本発明の光位相同期回路において、第1の絶対値判定回路は、I成分の差動電気信号と所定の閾値との論理演算により第1の判定信号を出力する構成であり、第2の絶対値判定回路は、Q成分の差動電気信号と所定の閾値との論理演算により第2の判定信号を出力する構成である。

【0014】

本発明の光位相同期回路において、抽出用制御信号生成回路は、所定の閾値として多値QAM信号光の最小振幅のシンボルのみを検出できる値に設定し、第1の判定信号と第2の判定信号の論理演算により、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最小振幅の内輪4点の特定シンボルの出現タイミングを示す制御信号を出力する構成である。

20

【0015】

本発明の光位相同期回路において、抽出用制御信号生成回路は、多値QAM信号光の多値数Mが $M = 2^{2n}$ （nは2以上の整数）とし、所定の閾値として多値QAM信号光の最大振幅のシンボルのみを検出できる値に設定し、第1の判定信号と第2の判定信号の論理演算により、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最大振幅の外輪4点の特定シンボルの出現タイミングを示す制御信号を出力する構成である。

【0016】

本発明の光位相同期回路において、抽出用制御信号生成回路は、多値QAM信号光が16QAM信号光とし、所定の閾値として16QAM信号光の最大振幅と最小振幅との間に設定し、第1の判定信号と第2の判定信号の論理演算により、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最大振幅の外輪4点と最小振幅の内輪4点の特定シンボルの出現タイミングを示す制御信号を出力する構成である。

30

【0017】

本発明の光位相同期回路において、所定の閾値として、多値QAM信号光の中間振幅以上のシンボルを検出できる第1の閾値と、第1の閾値より多値QAM信号光の1シンボルの振幅差だけ大きい第2の閾値を設定し、第1の絶対値判定回路は、第1の閾値を用いて第1-1の判定信号を出力する第1-1の絶対値判定回路と、第2の閾値を用いて第1-2の判定信号を出力する第1-2の絶対値判定回路とを備え、第2の絶対値判定回路は、第1の閾値を用いて第2-1の判定信号を出力する第2-1の絶対値判定回路と、第2の閾値を用いて第2-2の判定信号を出力する第2-2の絶対値判定回路とを備え、抽出用制御信号生成回路は、第1-1の判定信号と第2-1の判定信号のNORをとった第1の中間制御信号を生成し、第1-2の判定信号と第2-2の判定信号のANDをとった第2の中間制御信号を生成し、第1の中間制御信号と第2の中間制御信号のANDをとり、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で中間振幅の4点の特定シンボルの出現タイミングを示す制御信号を出力する構成である。

40

【0018】

本発明の光位相同期回路において、位相誤差制御手段は、I成分の差動電気信号およびQ成分の差動電気信号から制御信号に応じて特定シンボルを抽出する抽出回路を備え、抽出回路で抽出された特定シンボルを位相誤差制御手段に入力する構成である。

【0019】

50

本発明の光位相同期回路において、位相誤差制御手段は、I成分の差動電気信号およびQ成分の差動電気信号から各シンボルの位相誤差を検出し、各シンボルの位相誤差から制御信号に応じて特定シンボルの位相誤差を抽出する構成である。

【発明の効果】

【0020】

本発明の光位相同期回路は、特定シンボル判定回路において、I成分の差動電気信号およびQ成分の差動電気信号の絶対値判定を行い、その判定信号の論理演算により、16値以上の多値QAM信号光から位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルの出現タイミングを示す制御信号を生成することができる。この制御信号を位相誤差制御手段に与えることにより、特定シンボルから精度の高い位相誤差を検出して位相同期制御に用いることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の光位相同期回路の実施例1の構成を示す図である。

【図2】実施例1の特定シンボル判定回路10Aの動作原理を示す図である。

【図3】本発明の光位相同期回路の実施例2の構成を示す図である。

【図4】実施例2の特定シンボル判定回路10Aの動作原理を示す図である。

【図5】本発明の光位相同期回路の実施例3の構成を示す図である。

【図6】特定シンボル判定回路10Bの動作原理を示す図である。

【図7】特定シンボル判定回路10Bの動作原理を示す図である。

20

【図8】特定シンボル判定回路10Bの動作原理を示す図である。

【図9】本発明の光位相同期回路の実施例4の構成を示す図である。

【図10】QPSK信号光に対する従来の光位相同期回路の構成例を示す図である。

【図11】特許文献2に記載の光位相同期回路の構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

(実施例1)

図1は、本発明の光位相同期回路の実施例1の構成を示す。

図1において、局発光源21、受光器22、抽出回路26、27、COSTAS回路28、ループフィルタ29は、図11に示す従来構成(特許文献2の構成)と同様である。実施例1の特徴は、16値以上のM値QAM信号光から位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で、最小振幅の内輪4点または最大振幅の外輪4点またはその両方の特定シンボルを抽出するための制御信号を生成して抽出回路26、27に与える特定シンボル判定回路10Aの構成である。

30

【0023】

特定シンボル判定回路10Aは、受光器22から出力されるI成分の差動電気信号 V_I 、 V_{-I} と閾値 V_{th} とを比較したAとBの排他的論理和Eを出力する絶対値判定回路11と、Q成分の差動電気信号 V_Q 、 V_{-Q} と閾値 V_{th} とを比較したCとDの排他的論理和Fを出力する絶対値判定回路12と、絶対値判定回路11の出力Eと絶対値判定回路12の出力FのANDまたはNORまたはEX-NORのいずれかによる制御信号Gを生成する抽出用制御信号生成回路13Aにより構成される。ここで、Aは $V_I - V_{th}$ 、Bは $V_{th} - V_{-I}$ 、Cは $V_Q - V_{th}$ 、Dは $V_{th} - V_{-Q}$ がそれぞれ正であれば1、負であれば0となる。

40

【0024】

図2は、実施例1の特定シンボル判定回路10Aの動作原理を示す。

図2において、絶対値判定回路11は、 $V_I > +V_{th}$ であれば $A = 1$ 、 $V_I < +V_{th}$ であれば $A = 0$ 、 $V_{-I} < +V_{th}$ ($-V_I < +V_{th}$ 、 $V_I > -V_{th}$) であれば $B = 1$ 、 $V_{-I} > +V_{th}$ ($-V_I > +V_{th}$ 、 $V_I < -V_{th}$) であれば $B = 0$ とし、AとBの排他的論理和Eを出力する。すなわち、 $|V_I| > V_{th}$ であれば $E = 0$ 、 $|V_I| < V_{th}$ であれば $E = 1$ となる。

【0025】

50

絶対値判定回路 1 2 は、 $V_Q > +V_{th}$ であれば $C = 1$ 、 $V_Q < +V_{th}$ であれば $C = 0$ 、 $V_{-Q} < +V_{th}$ ($-V_Q < +V_{th}$ 、 $V_Q > -V_{th}$) であれば $D = 1$ 、 $V_{-Q} > +V_{th}$ ($-V_Q > +V_{th}$ 、 $V_Q < -V_{th}$) であれば $D = 0$ とし、 C と D の排他的論理和 F を出力する。すなわち、 $|V_Q| > V_{th}$ であれば $F = 0$ 、 $|V_Q| < V_{th}$ であれば $F = 1$ となる。

【0026】

抽出用制御信号生成回路 1 3 A は、閾値 V_{th} として M 値 QAM 信号光の最小振幅のシンボルのみを検出できる値に設定し、 E と F の AND をとることにより、閾値 V_{th} 、 $-V_{th}$ の内側にあり位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で、最小振幅の内輪 4 点の特定シンボル () を抽出する制御信号 G を生成することができる。この内輪 4 点の特定シンボルを抽出する場合は、 $M = 2^{2n}$ および $M = 2^{2n+1}$ (n は 2 以上の整数) の M 値 QAM 信号光に対応

10

【0027】

また、閾値 V_{th} として M 値 QAM 信号光の最大振幅のシンボルのみを検出できる値に設定し、 E と F の NOR をとることにより、閾値 V_{th} 、 $-V_{th}$ の外側にあり位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で、最大振幅の外輪 4 点のシンボル () を抽出する制御信号 G を生成することができる。なお、 $M = 2^{2n+1}$ (n は 2 以上の整数) の M 値 QAM 信号光の場合は、最大振幅となるシンボルの位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ でないため、 $M = 2^{2n}$ (n は 2 以上の整数) の M 値 QAM 信号光に限定される。

【0028】

また、16 QAM 信号光の場合は、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最小振幅の内輪 4 点のシンボルと、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最大振幅の外輪 4 点のシンボルは、1 つの閾値 V_{th} で分離できるので、 E と F の $EX-NOR$ をとることにより、閾値 V_{th} 、 $-V_{th}$ の内側および外側にある内輪 / 外輪 8 点のシンボル () を抽出する制御信号 G を生成することができる。

20

【0029】

このように、実施例 1 の特定シンボル判定回路 1 0 A は、1 つの閾値 V_{th} に対して 2 つの絶対値判定回路 1 1、1 2 を用い、抽出用制御信号生成回路 1 3 A で E と F の AND 、または NOR 、または $EX-NOR$ をとることにより、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最小振幅または最大振幅またはその両方の特定シンボルを抽出する制御信号 G を生成することができる。抽出回路 2 6、2 7 は、制御信号 G が 1 となるタイミングで、受光器 2 2 から出力される V_I 、 V_{-I} および V_Q 、 V_{-Q} をラッチし、 $COSTAS$ 回路 2 8 に入力する。

30

【0030】

(実施例 2)

図 3 は、本発明の光位相同期回路の実施例 2 の構成を示す。

図 3 において、実施例 2 の絶対値判定回路 1 1'、1 2' の構成が異なる他は、実施例 1 と同様である。

【0031】

特定シンボル判定回路 1 0 A は、受光器 2 2 から出力される I 成分の差動電気信号 V_I 、 V_{-I} と閾値 V_{th} とを比較した A と B' の否定論理和 E を出力する絶対値判定回路 1 1' と、 Q 成分の差動電気信号 V_Q 、 V_{-Q} と閾値 V_{th} とを比較した C と D' の否定論理和 F を出力する絶対値判定回路 1 2' と、絶対値判定回路 1 1' の出力 E と絶対値判定回路 1 2' の出力 F の AND または NOR または $EX-NOR$ のいずれかによる制御信号 G を生成する抽出用制御信号生成回路 1 3 A により構成される。ここで、 A は $V_I - V_{th}$ 、 B' は $V_{-I} - V_{th}$ 、 C は $V_Q - V_{th}$ 、 D' は $V_{-Q} - V_{th}$ がそれぞれ正であれば 1、負であれば 0 となる。

40

【0032】

図 4 は、実施例 2 の特定シンボル判定回路 1 0 A の動作原理を示す。

図 4 において、絶対値判定回路 1 1' は、 $V_I > +V_{th}$ であれば $A = 1$ 、 $V_I < +V_{th}$ であれば $A = 0$ 、 $V_{-I} > +V_{th}$ ($-V_I > +V_{th}$ 、 $V_I < -V_{th}$) であれば $B' = 1$ 、 $V_{-I} < +V_{th}$ ($-V_I < +V_{th}$ 、 $V_I > -V_{th}$) であれば $B' = 0$ 、 $V_Q > +V_{th}$ であれば $C = 1$ 、 $V_Q < +V_{th}$ であれば $C = 0$ 、 $V_{-Q} > +V_{th}$ ($-V_Q > +V_{th}$ 、 $V_Q < -V_{th}$) であれば $D' = 1$ 、 $V_{-Q} < +V_{th}$ ($-V_Q < +V_{th}$ 、 $V_Q > -V_{th}$) であれば $D' = 0$ とし、 E と F の AND または NOR または $EX-NOR$ のいずれかによる制御信号 G を生成する抽出用制御信号生成回路 1 3 A により構成される。

50

$V_I < +V_{th}$ ($-V_I < +V_{th}$, $V_I > -V_{th}$) であれば $B' = 0$ とし、 A と B' の否定論理和 E を出力する。すなわち、 $|V_I| > V_{th}$ であれば $E = 0$ 、 $|V_I| < V_{th}$ であれば $E = 1$ となる。

【0033】

絶対値判定回路 12' は、 $V_Q > +V_{th}$ であれば $C = 1$ 、 $V_Q < +V_{th}$ であれば $C = 0$ 、 $V_{-Q} > +V_{th}$ ($-V_Q > +V_{th}$, $V_Q < -V_{th}$) であれば $D' = 1$ 、 $V_{-Q} < +V_{th}$ ($-V_Q < +V_{th}$, $V_Q > -V_{th}$) であれば $D' = 0$ とし、 C と D の否定論理和 F を出力する。すなわち、 $|V_Q| > V_{th}$ であれば $F = 0$ 、 $|V_Q| < V_{th}$ であれば $F = 1$ となる。

【0034】

ここで、実施例 1 における排他的論理和 E 、 F と、実施例 2 における否定論理和 E 、 F は、 I 成分の差動電気信号 V_I 、 V_{-I} と閾値 V_{th} との比較結果として同じ論理であり、 Q 成分の差動電気信号 V_Q 、 V_{-Q} と閾値 V_{th} とを比較結果として同じ論理である。したがって、抽出用制御信号生成回路 13A における処理は、実施例 1 と同様である。

【0035】

また、実施例 1 における排他的論理和 E 、 F の反転出力 \underline{E} 、 \underline{F} 、または実施例 2 における否定論理和 E 、 F の反転出力 \underline{E} 、 \underline{F} を用いることも可能である。この場合には次のようになる。

【0036】

抽出用制御信号生成回路 13A は、閾値 V_{th} として M 値 QAM 信号光の最小振幅のシンボルのみを検出できる値に設定し、 \underline{E} と \underline{F} の NOR をとることにより、閾値 V_{th} 、 $-V_{th}$ の内側にあり位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で、最小振幅の内輪 4 点の特定シンボル () を抽出する制御信号 G を生成することができる。この内輪 4 点の特定シンボルを抽出する場合は、 $M = 2^{2n}$ および $M = 2^{2n+1}$ (n は 2 以上の整数) の M 値 QAM 信号光に対応できる。

【0037】

また、閾値 V_{th} として M 値 QAM 信号光の最大振幅のシンボルのみを検出できる値に設定し、 \underline{E} と \underline{F} の AND をとることにより、閾値 V_{th} 、 $-V_{th}$ の外側にあり位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で、最大振幅の外輪 4 点のシンボル () を抽出する制御信号 G を生成することができる。なお、 $M = 2^{2n+1}$ (n は 2 以上の整数) の M 値 QAM 信号光の場合は、最大振幅となるシンボルの位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ でないため、 $M = 2^{2n}$ (n は 2 以上の整数) の M 値 QAM 信号光に限定される。

【0038】

また、16QAM 信号光の場合は、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最小振幅の内輪 4 点のシンボルと、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最大振幅の外輪 4 点のシンボルは、1つの閾値 V_{th} で分離できるので、 \underline{E} と \underline{F} の Ex-NOR をとることにより、閾値 V_{th} 、 $-V_{th}$ の内側および外側にある内輪/外輪 8 点のシンボル () を抽出する制御信号 G を生成することができる。

【0039】

このように、実施例 1、2 の特定シンボル判定回路 10A は、1つの閾値 V_{th} に対して 2つの絶対値判定回路 11、12 または 11'、12' を使い、抽出用制御信号生成回路 13A で E と F の AND、NOR、Ex-NOR をとる、または \underline{E} と \underline{F} の NOR、AND、Ex-NOR をとることにより、位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で最小振幅または最大振幅またはその両方の特定シンボルを抽出する制御信号 G を生成することができる。抽出回路 26、27 は、制御信号 G が 1 となるタイミングで、受光器 22 から出力される V_I 、 V_{-I} および V_Q 、 V_{-Q} をラッチし、COSTAS 回路 28 に入力する。

【0040】

(実施例 3)

図 5 は、本発明の光位相同期回路の実施例 3 の構成を示す。実施例 3 は、図 1 に示す実施例 1 の変形であるが、同様に図 3 に示す実施例 2 にも対応させることができる。

図 5 において、局発光源 21、受光器 22、抽出回路 26、27、COSTAS 回路 2

10

20

30

40

50

8、ループフィルタ29は、図11に示す従来構成(特許文献2の構成)および実施例1の構成と同様である。実施例3の特徴は、16値以上のM値QAM信号光から位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で、中間振幅の4点の特定シンボルを抽出するための制御信号を生成する特定シンボル判定回路10Bの構成である。

【0041】

特定シンボル判定回路10Bは、2つの閾値 V_{th1} 、 V_{th2} を用いる。ただし、 $V_{th1} < V_{th2}$ とする。特定シンボル判定回路10Bは、受光器22から出力されるI成分の差動電気信号 V_I 、 V_{-I} と閾値 V_{th1} とを比較したAとBの排他的論理和E1を出力する絶対値判定回路11-1と、Q成分の差動電気信号 V_Q 、 V_{-Q} と閾値 V_{th1} とを比較したCとDの排他的論理和F1を出力する絶対値判定回路12-1と、受光器22から出力されるI成分の差動電気信号 V_I 、 V_{-I} と閾値 V_{th2} とを比較したAとBの排他的論理和E2を出力する絶対値判定回路11-2と、Q成分の差動電気信号 V_Q 、 V_{-Q} と閾値 V_{th2} とを比較したCとDの排他的論理和F2を出力する絶対値判定回路12-2と、絶対値判定回路11-1の出力E1と絶対値判定回路12-1の出力F1と、絶対値判定回路11-2の出力E2と絶対値判定回路12-2の出力F2を入力し、所定の論理演算により制御信号G3を生成する抽出用制御信号生成回路13Bにより構成される。

10

【0042】

図6および図7は、特定シンボル判定回路10Bの動作原理を示す。

図6において、絶対値判定回路11-1、11-2は、実施例1の絶対値判定回路11と同様に、閾値 V_{th1} に対して、 $|V_I| > V_{th1}$ であれば $E1 = 0$ 、 $|V_I| < V_{th1}$ であれば $E1 = 1$ を出力し、閾値 V_{th2} に対して、 $|V_I| > V_{th2}$ であれば $E2 = 0$ 、 $|V_I| < V_{th2}$ であれば $E2 = 1$ を出力する。

20

【0043】

絶対値判定回路12-1、12-2は、実施例1の絶対値判定回路12と同様に、閾値 V_{th1} に対して、 $|V_Q| > V_{th1}$ であれば $F1 = 0$ 、 $|V_Q| < V_{th1}$ であれば $F1 = 1$ を出力し、閾値 V_{th2} に対して、 $|V_Q| > V_{th2}$ であれば $F2 = 0$ 、 $|V_Q| < V_{th2}$ であれば $F2 = 1$ を出力する。

【0044】

抽出用制御信号生成回路13Bは、NOR131、AND132、133により構成される。閾値 V_{th1} としてM値QAM信号光の中間振幅以上のシンボルを検出できる値に設定し、NOR131でE1とF1のNORをとることにより、閾値 V_{th1} 、 $-V_{th1}$ の外側4隅のシンボル()を抽出する制御信号G1を生成することができる。

30

【0045】

また、閾値 V_{th2} として閾値 V_{th1} よりM値QAM信号光の1シンボルの振幅差だけ大きい値に設定し、AND132でE2とF2のANDをとることにより、閾値 V_{th2} 、 $-V_{th2}$ の内側正方のシンボル()を抽出する制御信号G2を生成することができる。

【0046】

さらに、図7において、AND133で制御信号G1、G2のANDをとることにより、閾値 V_{th1} 、 $-V_{th1}$ と閾値 V_{th2} 、 $-V_{th2}$ で挟まれた中間4点の特定シンボル()を抽出する制御信号G3を生成することができる。すなわち、制御信号G3は、 $V_{th1} < |V_I| < V_{th2}$ かつ $V_{th1} < |V_Q| < V_{th2}$ のときに1となる。抽出回路26、27は、制御信号G3が1となるタイミングで、受光器22から出力される V_I 、 V_{-I} および V_Q 、 V_{-Q} をラッチし、COSTAS回路28に入力する。

40

【0047】

このように、実施例3の特定シンボル判定回路10Bは、閾値 V_{th1} に対して2つの絶対値判定回路11-1、12-1を用い、閾値 V_{th2} に対して2つの絶対値判定回路11-2、12-2を用い、抽出用制御信号生成回路13BでE1とF1のNOR、E2とF2のAND、さらにG1とG2のANDをとることにより、 $M = 2^{2n}$ および $M = 2^{2n+1}$ (nは2以上の整数)のM値QAM信号光から位相が $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ で、閾値 V_{th1} 、 $-V_{th1}$ と閾値 V_{th2} 、 $-V_{th2}$ で挟まれた中間振幅の特定シンボルを抽出する制

50

御信号 G 3 を生成することができる。

【 0 0 4 8 】

さらに、閾値 V_{th2} として M 値 Q A M 信号光の最大振幅のシンボルのみを検出できる値設定した場合、閾値 V_{th2} に対する 2 つの絶対値判定回路 1 1 - 2 , 1 2 - 2 の出力 E 2 , F 2 の N O R を組み合わせることにより、図 8 (1) に示すように、中間 4 点と、その外側の外輪 4 点のシンボルを抽出するための制御信号を生成することができる。ただし、この場合は、位相が $\pm \pi / 4$ または $\pm 3\pi / 4$ で外輪 4 点のシンボルが存在する $M = 2^{2n}$ (n は 2 以上の整数) の M 値 Q A M 信号光に限定される。

【 0 0 4 9 】

同様に、閾値 V_{th1} として M 値 Q A M 信号光の最小振幅のシンボルのみを検出できる値に設定した場合、閾値 V_{th1} に対する 2 つの絶対値判定回路 1 1 - 1 , 1 2 - 1 の出力 E 1 , F 1 の A N D を組み合わせることにより、図 8 (2) に示すように、中間 4 点と、最小振幅の内輪 4 点のシンボルを抽出するための制御信号を生成することができる。ただし、この場合は、 $M = 2^{2n}$ および $M = 2^{2n+1}$ (n は 2 以上の整数) の M 値 Q A M 信号光に対応できる。

10

【 0 0 5 0 】

さらに、3 つの閾値と 3 ペアの絶対値判定回路を用いることにより、位相が $\pm \pi / 4$ または $\pm 3\pi / 4$ で、中間 4 点と最大振幅の外輪 4 点または最小振幅の内輪 4 点の合計 8 点の特定シンボルを抽出するための制御信号を生成することができる。また、閾値と絶対値判定回路のペア数を増やすことにより、位相が $\pm \pi / 4$ または $\pm 3\pi / 4$ で、8 点以上の

20

【 0 0 5 1 】

(実施例 4)

図 9 は、本発明の光位相同期回路の実施例 4 の構成を示す。

なお、図 9 に示す実施例 4 の構成は、図 1 に示す実施例 1 の変形であるが、同様に図 3 に示す実施例 2、図 5 に示す実施例 3 にも対応させることができる。

【 0 0 5 2 】

図 9 において、実施例 3 の特徴は、抽出回路 2 6 を C O S T A S 回路 2 8 とループフィルタ 2 9 との間に移動し、C O S T A S 回路 2 8 は M 値 Q A M 信号光のすべてのシンボルに対する位相誤差を検出し、抽出回路 2 6 はその位相誤差信号から特定シンボル判定回路 1 0 A から出力される制御信号 G により、位相が $\pm \pi / 4$ または $\pm 3\pi / 4$ の特定シンボルの位相誤差を抽出し、ループフィルタ 2 9 を介して局発光源 2 1 の光周波数を制御する。

30

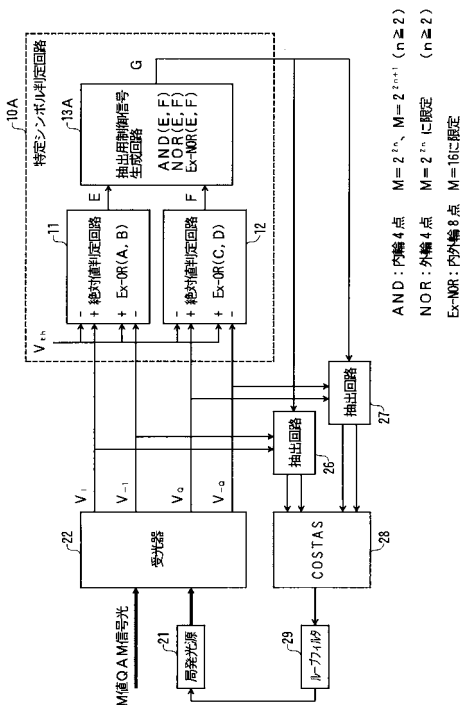
【 符号の説明 】

【 0 0 5 3 】

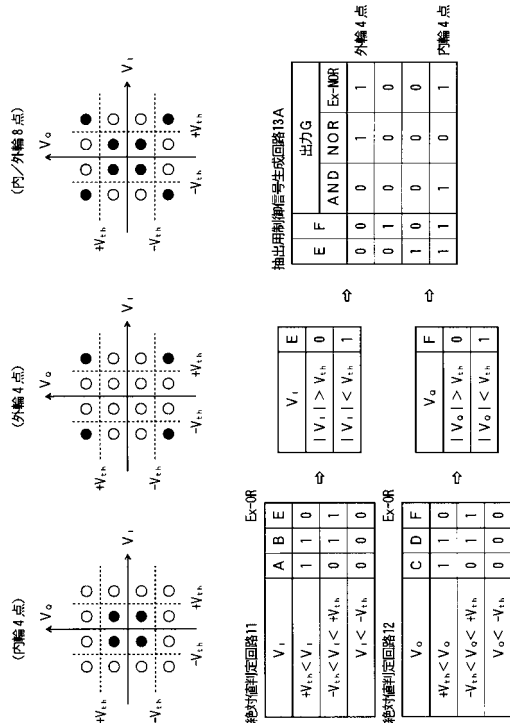
- 1 0 A , 1 0 B 特定シンボル判定回路
- 1 1 , 1 2 絶対値判定回路
- 1 3 A , 1 3 B 抽出用制御信号生成回路
- 2 1 局発光源
- 2 2 受光器
- 2 3 特定シンボル判定回路
- 2 4 強度検出回路
- 2 5 比較回路
- 2 6 , 2 7 抽出回路
- 2 8 C O S T A S 回路
- 2 9 ループフィルタ

40

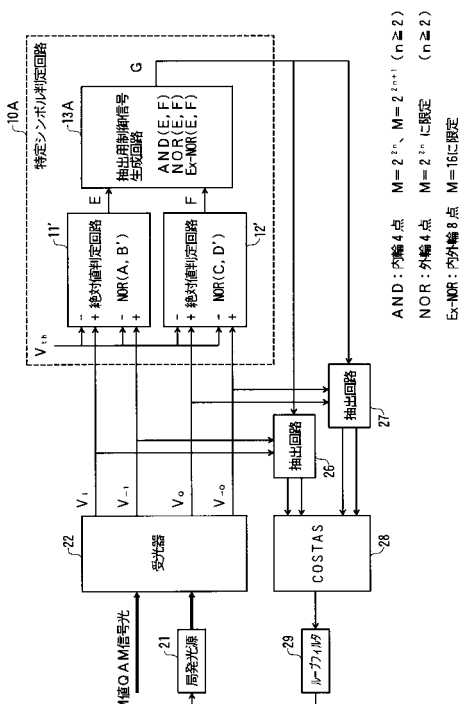
【 図 1 】



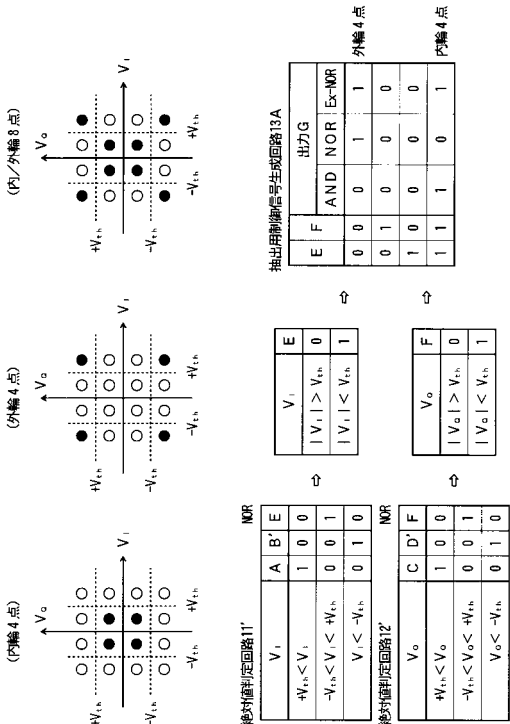
【 図 2 】



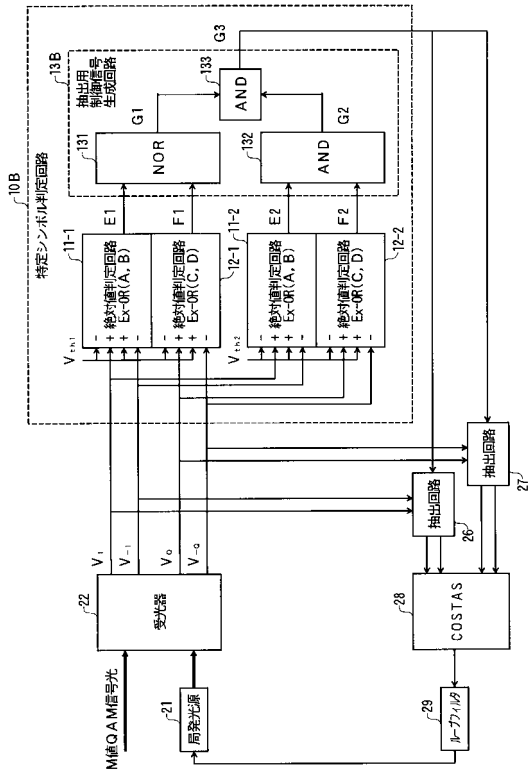
【 図 3 】



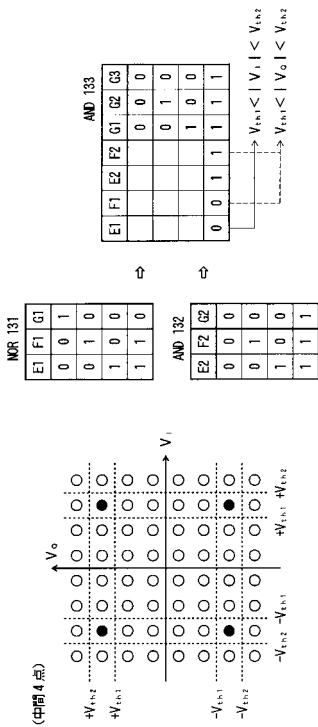
【 図 4 】



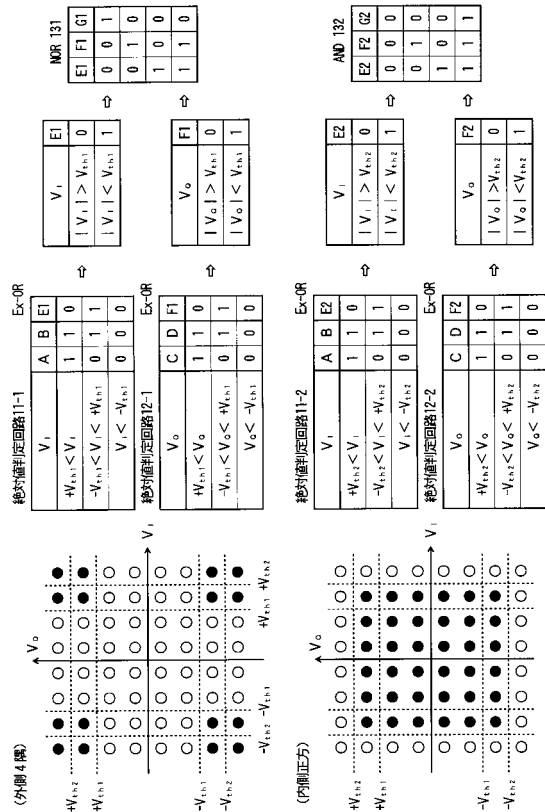
【 図 5 】



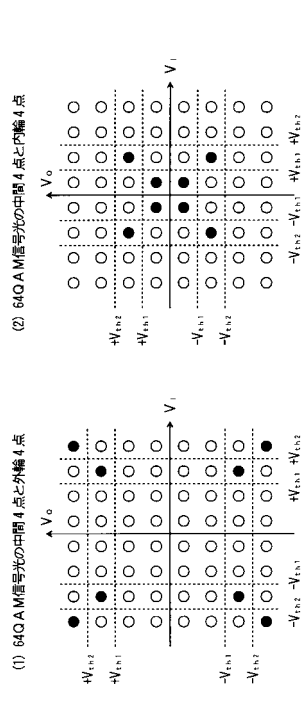
【 図 7 】



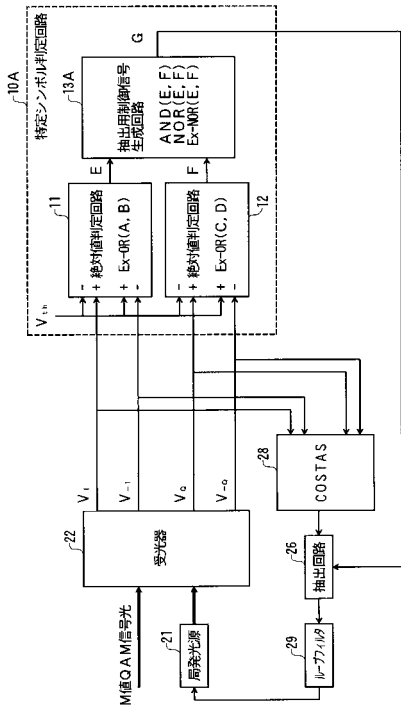
【 図 6 】



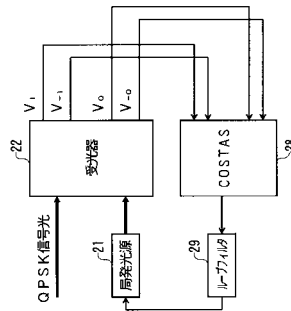
【 図 8 】



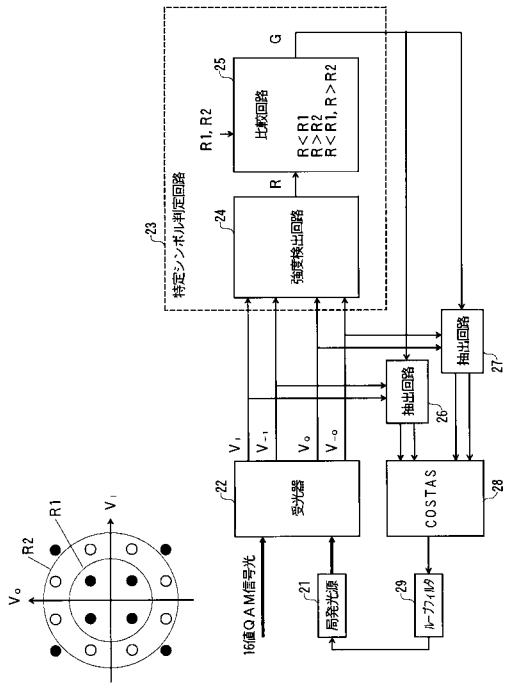
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

(出願人による申告)平成26年度、国立研究開発法人情報通信研究機構、「高度通信・放送研究開発委託研究
/光周波数・位相制御光中継伝送技術の研究開発」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

Fターム(参考) 5K102 AA61 AH13 AH14 AH22 AH24 AH26 AH27 MA02 MB03 MC03
MD01 MD03 MH03 MH14 MH27 PB13 RD02