

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6838726号
(P6838726)

(45) 発行日 令和3年3月3日(2021.3.3)

(24) 登録日 令和3年2月16日(2021.2.16)

(51) Int.Cl. F I
H04B 10/63 (2013.01) H O 4 B 10/63
H04L 27/38 (2006.01) H O 4 L 27/38

請求項の数 3 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-208746 (P2016-208746)	(73) 特許権者	304028726 国立大学法人 大分大学
(22) 出願日	平成28年10月25日(2016.10.25)		大分県大分市大字旦野原700番地
(65) 公開番号	特開2018-74246 (P2018-74246A)	(74) 代理人	100072718 弁理士 古谷 史旺
(43) 公開日	平成30年5月10日(2018.5.10)	(74) 代理人	100116001 弁理士 森 俊秀
審査請求日	令和1年7月29日(2019.7.29)	(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
		審査官	後澤 瑞征

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光位相同期回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

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 $\pm 3/4$ または $\pm 3/4$ 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QAM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論理演算により第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論理演算により第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、

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 2】

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論理演算により第 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論理演算により第 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、

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 3】

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論理演算により第 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論理演算により第 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、

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、

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相同期回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

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

【背景技術】

【0002】

図10は、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（特許文献1および特許文献2）。

【0003】

図10において、QPSK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COSTAS回路28に入力する。COSTAS回路28では、 V_{I1} 、 V_{I2} および V_{Q1} 、 V_{Q2} からQPSK信号光に対する局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、QPSK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】

COSTAS回路28では、BPSK信号光やQPSK信号光に対する局発振光の位相誤差を検出することができる。例えばQPSKでは、送信情報を $\pm \pi/4$ 、 $\pm 3\pi/4$ の4値位相を使って送信するが、COSTAS回路28では、 V_{I1} 、 V_{I2} および V_{Q1} 、 V_{Q2} 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 $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ の特定シンボルに対応する信号になり、 $\pm \pi/4$ または $\pm 3\pi/4$ 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。

【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。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

そこで、特許文献 2 では、図 1 1 に示すように、受光器 2 2 と C O S T A S 回路 2 8 との間に特定シンボル判定回路 2 3 および抽出回路 2 6 , 2 7 を挿入し、16 値以上の多値 Q A M 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、C O S T A S 回路 2 8 に入力する構成を示した。

【 0 0 0 8 】

特定シンボル判定回路 2 3 は、強度検出回路 2 4 で多値 Q A M 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 2 5 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 2 6 , 2 7 は、この制御信号で受光器 2 2 から出力される V_{I1} , V_{I2} および V_{Q1} , V_{Q2} をラッチし、C O S T A S 回路 2 8 に入力する。例えば、強度 R が閾値 R 1 以下となるタイミングを判定して 16 Q A M 信号の内輪 4 点を抽出し、強度 R が閾値 R 2 ($R 2 > R 1$) 以上となるタイミングを判定して外輪 4 点を抽出する。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 4 - 1 3 8 2 5 8 号公報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 1 5 - 1 6 2 8 6 3 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

20

【 0 0 1 0 】

特許文献 2 に記載の特定シンボル判定回路 2 3 は、多値 Q A M 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 Q A M 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できる方法が必要になる。

【 0 0 1 1 】

本発明は、16 値以上の多値 Q A M 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。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 2 】

本発明は、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、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 Q A M 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論理演算により第 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論理演算により第 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。

40

【 0 0 1 4 】

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 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、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。

【 0 0 1 5 】

50

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。

【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。

【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。

【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。

【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。

【0023】

10

20

30

40

50

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 $E \times \text{NOR}$ 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。

【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。

10

【0025】

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】

20

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、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 信号光に対応できる。

【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。

30

【0028】

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、E と F の $E \times \text{NOR}$ 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。

【0029】

40

このように、実施例 1 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 を使い、抽出用制御信号生成回路 13A で E と F の AND、または NOR、または $E \times \text{NOR}$ 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。

【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。

50

図3において、実施例2の絶対値判定回路11'、12'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'の否定論理和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'の否定論理和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 $E \times \text{NOR}$ 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 $V_{-I} - V_{th}$ 、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。

10

【0032】

図4は、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4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。

20

【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。

30

【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】

40

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 $E \times \text{NOR}$ をとることにより、閾値 V_{th} 、

50

- 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'を用い、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Eと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。

10

【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)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】

20

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。

30

【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。

【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。

40

【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。

【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} 、 $-$

50

V_{th2} の内側正方のシンボル () を抽出する制御信号 G 2 を生成することができる。

【 0 0 4 6 】

さらに、図 7 において、AND 1 3 3 で制御信号 G 1 , G 2 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 G 3 を生成することができる。すなわち、制御信号 G 3 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 2 6 , 2 7 は、制御信号 G 3 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。

【 0 0 4 7 】

このように、実施例 3 の特定シンボル判定回路 1 0 B は、閾値 V_{th1} に対して 2 つの絶対値判定回路 1 1 - 1 , 1 2 - 1 を用い、閾値 V_{th2} に対して 2 つの絶対値判定回路 1 1 - 2 , 1 2 - 2 を用い、抽出用制御信号生成回路 1 3 B で E 1 と F 1 の NOR、E 2 と F 2 の AND、さらに G 1 と G 2 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御信号 G 3 を生成することができる。

10

【 0 0 4 8 】

さらに、閾値 V_{th2} 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を設定した場合、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 NOR 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 QAM 信号光に限定される。

20

【 0 0 4 9 】

同様に、閾値 V_{th1} 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 AND 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 QAM 信号光に対応

30

【 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。

【 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。

40

【 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 COSTAS 回路 2 8 とループフィルタ 2 9 との間に移動し、COSTAS 回路 2 8 は M 値 QAM 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。

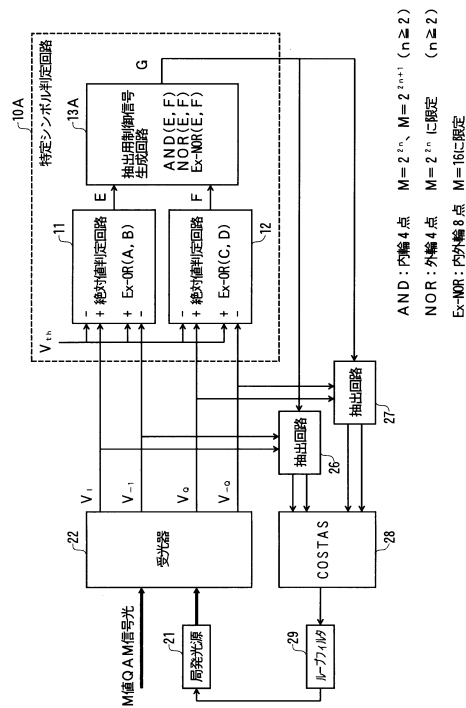
【 符号の説明 】

【 0 0 5 3 】

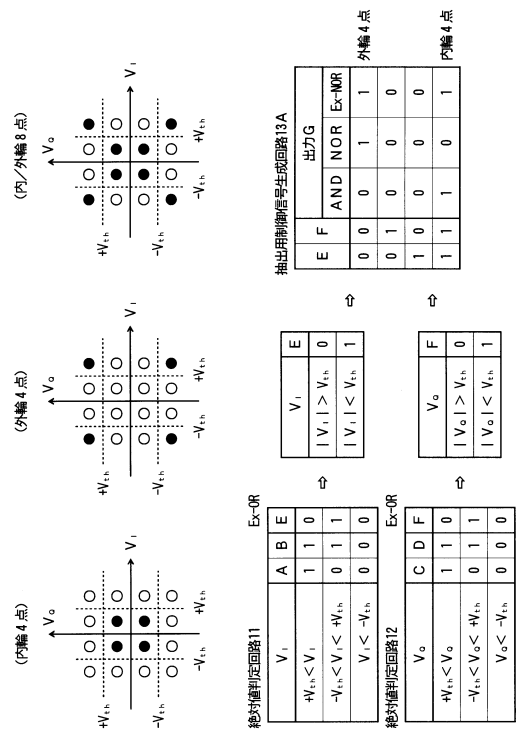
50

- 10A, 10B 特定シンボル判定回路
- 11, 12 絶対値判定回路
- 13A, 13B 抽出用制御信号生成回路
- 21 局発光源
- 22 受光器
- 23 特定シンボル判定回路
- 24 強度検出回路
- 25 比較回路
- 26, 27 抽出回路
- 28 COSTAS回路
- 29 ループフィルタ

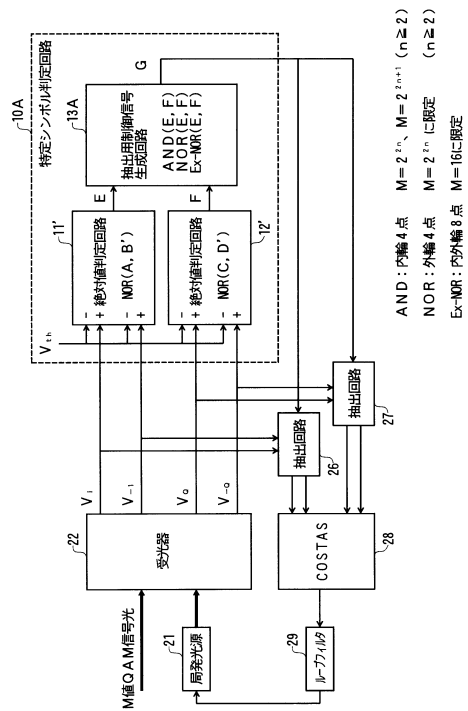
【図1】



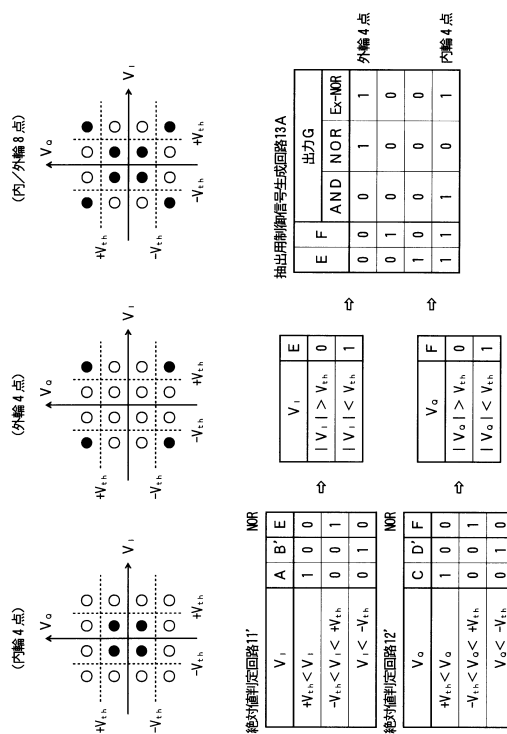
【図2】



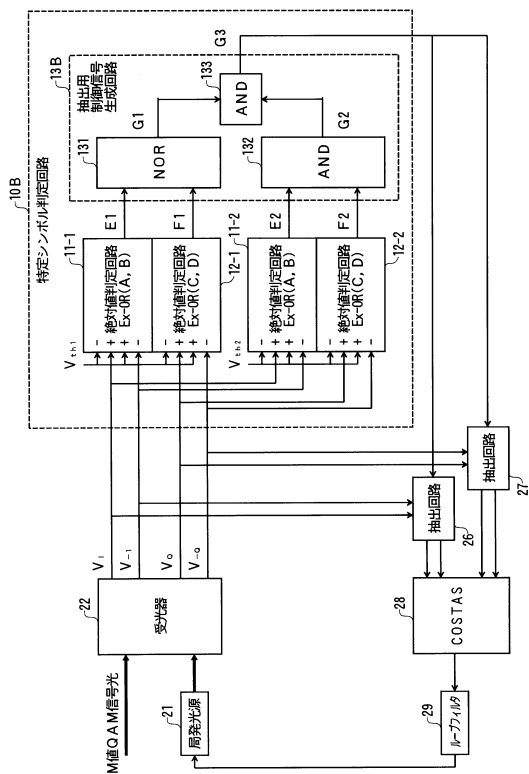
【図3】



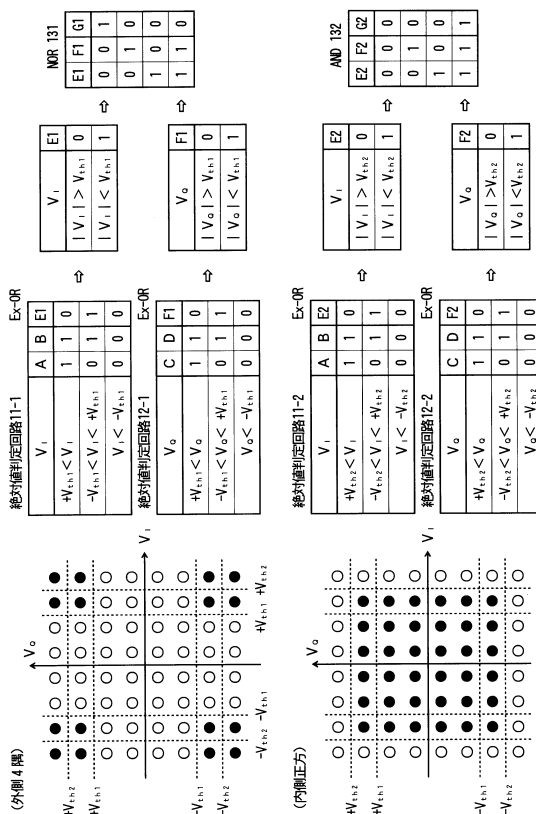
【図4】



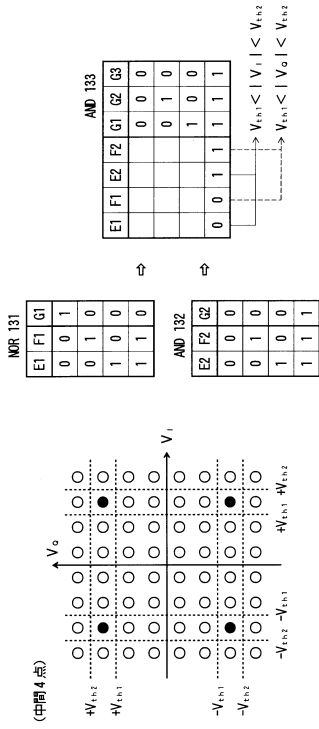
【図5】



【図6】

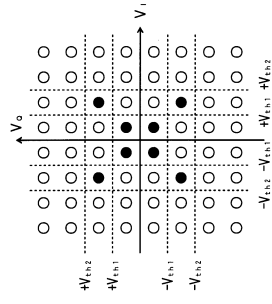


【 図 7 】

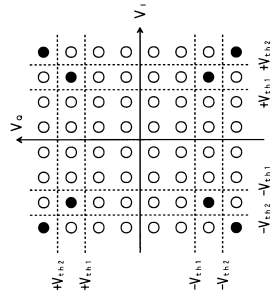


【 図 8 】

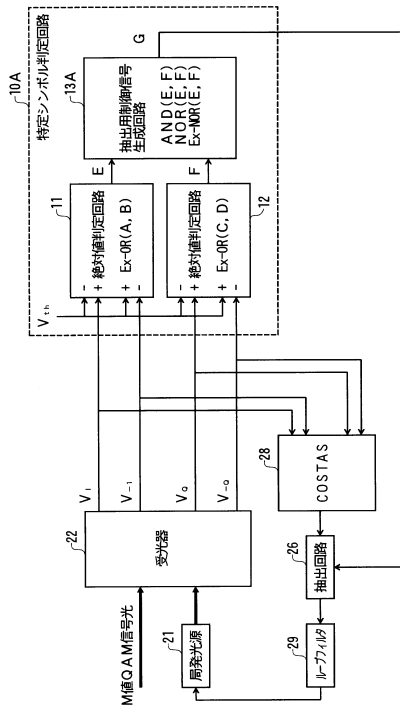
(2) 64QAM信号光の中間4点と内輪4点



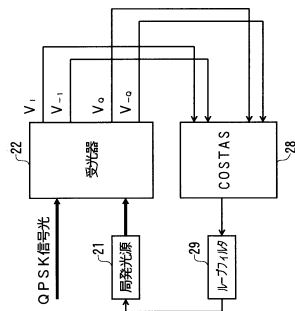
(1) 64QAM信号光の中間4点と外輪4点



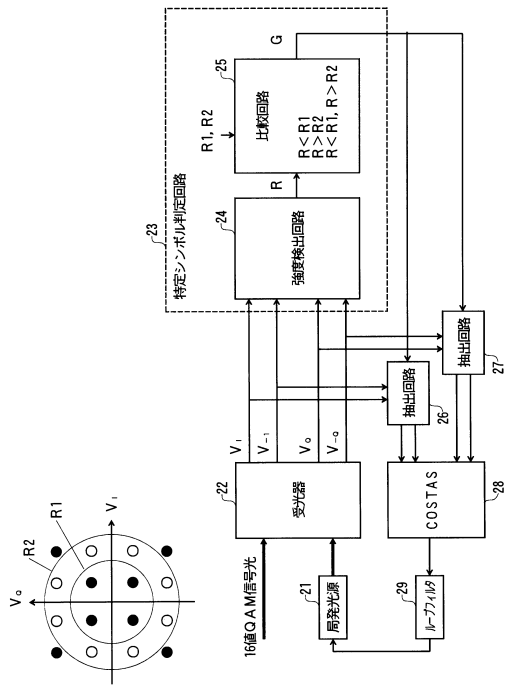
【 図 9 】



【 図 10 】



【図11】



フロントページの続き

特許法第30条第2項適用 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)

(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

(56)参考文献 特開2015-162863(JP,A)
特開2003-018232(JP,A)
国際公開第2013/046284(WO,A1)
特開2014-138258(JP,A)
特開昭62-039944(JP,A)
特開昭54-130811(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H04B 10/63

H04L 27/38