

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7196682号
(P7196682)

(45)発行日 令和4年12月27日(2022.12.27)

(24)登録日 令和4年12月19日(2022.12.19)

(51)国際特許分類		F I			
G 0 2 F	1/03 (2006.01)	G 0 2 F	1/03	5 0 2	
G 0 2 F	1/035(2006.01)	G 0 2 F	1/035		
H 0 4 B	10/516(2013.01)	H 0 4 B	10/516		
H 0 4 B	10/079(2013.01)	H 0 4 B	10/079	1 9 0	

請求項の数 8 (全29頁)

(21)出願番号	特願2019-31917(P2019-31917)	(73)特許権者	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22)出願日	平成31年2月25日(2019.2.25)	(74)代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(65)公開番号	特開2020-134883(P2020-134883 A)	(74)代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
(43)公開日	令和2年8月31日(2020.8.31)	(74)代理人	100136722 弁理士 高 木 邦夫
審査請求日	令和3年12月21日(2021.12.21)	(74)代理人	100174399 弁理士 寺澤 正太郎
		(74)代理人	100171583 弁理士 梅景 篤
		(72)発明者	山中 慎吾

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光送信器及び光送信器の制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光入力信号から分岐した第1分岐光信号を第1駆動信号に応じて位相変調させることによって第1変調光信号を生成する第1変調部と、前記光入力信号から前記第1分岐光信号が分岐した残余の第2分岐光信号を第2駆動信号に応じて位相変調させることによって第2変調光信号を生成する第2変調部と、前記第1変調光信号及び前記第2変調光信号から光出力信号を生成する第3変調部と、を有する光変調器と、

前記第1変調部に前記第1駆動信号の基準電圧となる第1バイアス電圧を供給し、前記第2変調部に前記第2駆動信号の基準電圧となる第2バイアス電圧を供給し、前記第3変調部に第3バイアス電圧を供給するバイアス供給部と、

前記光出力信号のパワーを検出する検出部と、
を備え、

前記第1駆動信号及び前記第2駆動信号の最大振幅は、前記第1変調部及び前記第2変調部のいずれかにおいて光信号の位相を180°変化させる半波長電圧値に等しいか、または前記半波長電圧値よりも小さく、

前記バイアス供給部は、

前記第1変調部に前記第1駆動信号が供給されていると共に前記第2変調部に前記第2駆動信号が供給されている駆動状態において、前記第1バイアス電圧を変化させることによって、前記光出力信号の平均パワーが最大となる第1電圧値を求め、

前記駆動状態において、前記第2バイアス電圧を変化させることによって、前記光出力

信号の平均パワーが最大となる第 2 電圧値を求め、

前記駆動状態において、前記第 3 バイアス電圧を変化させることによって、前記光出力信号の平均パワーが最大となる第 3 電圧値を求め、

前記第 1 電圧値に基づき前記第 1 バイアス電圧の電圧値を決定し、前記第 2 電圧値に基づき前記第 2 バイアス電圧の電圧値を決定し、前記第 3 電圧値に基づき前記第 3 バイアス電圧の電圧値を決定する、

光送信器。

【請求項 2】

前記バイアス供給部は、

前記第 1 電圧値に対して、前記半波長電圧値を加算又は減算することで、前記第 1 バイアス電圧の電圧値を決定し、

10

前記第 2 電圧値に対して、前記半波長電圧値を加算又は減算することで、前記第 2 バイアス電圧の電圧値を決定し、

前記第 3 電圧値に対して、前記半波長電圧値の半分の値を加算又は減算することで、前記第 3 バイアス電圧の電圧値を決定する、

請求項 1 に記載の光送信器。

【請求項 3】

前記バイアス供給部は、

前記第 1 バイアス電圧を前記半波長電圧値の 4 倍の範囲を有する第 1 範囲内で変化させることによって、前記第 1 電圧値を求め、

20

前記第 2 バイアス電圧を前記半波長電圧値の 4 倍の範囲を有する第 2 範囲内で変化させることによって、前記第 2 電圧値を求め、

前記第 3 バイアス電圧を前記半波長電圧値の 2 倍の範囲を有する第 3 範囲内で変化させることによって、前記第 3 電圧値を求める、

請求項 1 または請求項 2 に記載の光送信器。

【請求項 4】

前記バイアス供給部は、前記第 1 電圧値が前記第 1 範囲の中央の値よりも小さい場合には、前記第 1 電圧値に前記半波長電圧値を加算することで前記第 1 バイアス電圧の電圧値を決定し、前記第 1 電圧値が前記第 1 範囲の中央の値よりも大きい場合には、前記第 1 電圧値から前記半波長電圧値を減算することで前記第 1 バイアス電圧の電圧値を決定する、

30

請求項 3 に記載の光送信器。

【請求項 5】

前記バイアス供給部は、前記第 2 電圧値が前記第 2 範囲の中央の値よりも小さい場合には、前記第 2 電圧値に前記半波長電圧値を加算することで前記第 2 バイアス電圧の電圧値を決定し、前記第 2 電圧値が前記第 2 範囲の中央の値よりも大きい場合には、前記第 2 電圧値から前記半波長電圧値を減算することで前記第 2 バイアス電圧の電圧値を決定する、

請求項 3 または請求項 4 に記載の光送信器。

【請求項 6】

前記バイアス供給部は、前記第 3 電圧値が前記第 3 範囲の中央の値よりも小さい場合には、前記第 3 電圧値に前記半波長電圧値の半分の値を加算することで前記第 3 バイアス電圧の電圧値を決定し、前記第 3 電圧値が前記第 3 範囲の中央の値よりも大きい場合には、前記第 3 電圧値から前記半波長電圧値の半分の値を減算することで前記第 3 バイアス電圧の電圧値を決定する、

40

請求項 3 から請求項 5 のいずれか一項に記載の光送信器。

【請求項 7】

前記検出部は、前記光出力信号の一部であるモニタ光のパワーを検出することによって、前記光出力信号のパワーを検出する、

請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の光送信器。

【請求項 8】

光入力信号から分岐した第 1 分岐光信号を第 1 駆動信号に応じて位相変調させることに

50

よって第1変調光信号を生成する第1変調部と、前記光入力信号から前記第1分岐光信号が分岐した残余の第2分岐光信号を第2駆動信号に応じて位相変調させることによって第2変調光信号を生成する第2変調部と、前記第1変調光信号及び前記第2変調光信号から光出力信号を生成する第3変調部と、を有する光送信器の制御方法であって、

前記第1変調部に前記第1駆動信号が供給されていると共に前記第2変調部に前記第2駆動信号が供給されている駆動状態において、前記第1変調部に供給する第1バイアス電圧を変化させることによって、前記光出力信号の平均パワーが最大となる第1電圧値を求めるステップと、

前記駆動状態において、前記第2変調部に供給する第2バイアス電圧を変化させることによって、前記光出力信号の平均パワーが最大となる第2電圧値を求めるステップと、

10

前記駆動状態において、前記第3変調部に供給する第3バイアス電圧を変化させることによって、前記光出力信号の平均パワーが最大となる第3電圧値を求めるステップと、

前記第1電圧値に基づき前記第1バイアス電圧の電圧値を決定し、前記第2電圧値に基づき前記第2バイアス電圧の電圧値を決定し、前記第3電圧値に基づき前記第3バイアス電圧の電圧値を決定するステップと、

を備え、

前記第1駆動信号及び前記第2駆動信号の最大振幅は、前記第1変調部及び前記第2変調部のいずれかにおいて光信号の位相を 180° 変化させる半波長電圧値に等しいか、または前記半波長電圧値よりも小さい、

光送信器の制御方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光送信器及び光送信器の制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

マッハツエンダ型変調器が入れ子構造となっている光変調器を備える光送信器が知られている。このような光送信器は、各マッハツエンダ型変調器の光導波路に駆動信号及びバイアス電圧を印加することで変調光信号を生成している。各マッハツエンダ型変調器を適切な電圧でバイアスするために、光変調器の出力光の状態をモニタして、バイアス電圧にフィードバックする制御が行われる。特許文献1には、各マッハツエンダ型変調器及び各マッハツエンダ型変調器により変調された光信号同士に位相差を与える移相器のそれぞれにバイアス電圧を印加する光送信器が記載されている。この光送信器では、光変調器から出力される光信号のモニタ信号のパワーが最大又は最小となるように各バイアス電圧が調整されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2007-208472号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述のような光送信器において、各マッハツエンダ型変調器に与える駆動信号の最大振幅の値を半波長電圧以下に設定して、光入力信号を変調する場合がある。この場合、モニタ信号のパワー（平均パワー）が最小となるように、各マッハツエンダ型変調器に印加するバイアス電圧を調整することが望まれる。しかしながら、各マッハツエンダ型変調器から出力される変調光信号同士に位相差を与える移相器のバイアス電圧の電圧値が、最適な電圧値からずれている場合、各マッハツエンダ型変調器に印加するバイアス電圧の電圧値が最適ではない値に調整されてもモニタ信号の平均パワーが最小となることがある。このため、各マッハツエンダ型変調器に印加するバイアス電圧及び変調光信号同士に位相差を

50

与える移相器のバイアス電圧の調整が、適切になされないおそれがある。

【 0 0 0 5 】

本発明は、光変調器に対するバイアス電圧を適切に調整可能な、光送信器及び光送信器の制御方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の一側面に係る光送信器は、光入力信号から分岐した第1分岐光信号を第1駆動信号に応じて位相変調させることによって第1変調光信号を生成する第1変調部と、光入力信号から第1分岐光信号が分岐した残余の第2分岐光信号を第2駆動信号に応じて位相変調させることによって第2変調光信号を生成する第2変調部と、第1変調光信号及び第2変調光信号から光出力信号を生成する第3変調部と、を有する光変調器と、第1変調部に第1駆動信号の基準電圧となる第1バイアス電圧を供給し、第2変調部に第2駆動信号の基準電圧となる第2バイアス電圧を供給し、第3変調部に第3バイアス電圧を供給するバイアス供給部と、光出力信号のパワーを検出する検出部と、を備える。第1駆動信号及び第2駆動信号の最大振幅は、第1変調部及び第2変調部のいずれかにおいて光信号の位相を180°変化させる半波長電圧値に等しいか、または半波長電圧値よりも小さい。バイアス供給部は、第1変調部に第1駆動信号が供給されていると共に第2変調部に第2駆動信号が供給されている駆動状態において、第1バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第1電圧値を求め、駆動状態において、第2バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第2電圧値を求め、駆動状態において、第3バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第3電圧値を求め、第1電圧値に基づき第1バイアス電圧の電圧値を決定し、第2電圧値に基づき第2バイアス電圧の電圧値を決定し、第3電圧値に基づき第3バイアス電圧の電圧値を決定する。

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

本発明によれば、光変調器に対するバイアス電圧を適切に調整することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図1】図1は、一実施形態に係る光送信器の構成概略図である。

【図2】図2は、図1のバイアス供給部の詳細構成を示す図である。

【図3】図3は、図1に示される光変調器におけるモニタ光の平均パワーの計算結果である。

【図4】図4は、駆動信号の最大振幅が半波長電圧値よりも大きい場合のモニタ光の平均パワーの計算結果である。

【図5】図5は、駆動信号の最大振幅が半波長電圧値以下である場合のモニタ光の平均パワーの計算結果である。

【図6】図6は、1つの変調部のバイアス電圧に応じたモニタ光の平均パワーの計算結果の一例を示すグラフである。

【図7】図7は、他の変調部のバイアス電圧に応じたモニタ光の平均パワーの計算結果の一例を示すグラフである。

【図8】図8は、バイアス電圧調整処理の一例を示すフローチャートである。

【図9】図9は、図8に示される第1電圧値取得処理を示すフローチャートである。

【図10】図10は、図8に示される最適値決定処理を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

[本願発明の実施形態の説明]

最初に本発明の実施形態の内容を列記して説明する。

【 0 0 1 0 】

本発明の一側面に係る光送信器は、光入力信号から分岐した第1分岐光信号を第1駆動

10

20

30

40

50

信号に応じて位相変調させることによって第1変調光信号を生成する第1変調部と、光入力信号から第1分岐光信号が分岐した残余の第2分岐光信号を第2駆動信号に応じて位相変調させることによって第2変調光信号を生成する第2変調部と、第1変調光信号及び第2変調光信号から光出力信号を生成する第3変調部と、を有する光変調器と、第1変調部に第1駆動信号の基準電圧となる第1バイアス電圧を供給し、第2変調部に第2駆動信号の基準電圧となる第2バイアス電圧を供給し、第3変調部に第3バイアス電圧を供給するバイアス供給部と、光出力信号のパワーを検出する検出部と、を備える。第1駆動信号及び第2駆動信号の最大振幅は、第1変調部及び第2変調部のいずれかにおいて光信号の位相を 180° 変化させる半波長電圧値に等しいか、または半波長電圧値よりも小さい。バイアス供給部は、第1変調部に第1駆動信号が供給されていると共に第2変調部に第2駆動信号が供給されている駆動状態において、第1バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第1電圧値を求め、駆動状態において、第2バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第2電圧値を求め、駆動状態において、第3バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第3電圧値を求め、第1電圧値に基づき第1バイアス電圧の電圧値を決定し、第2電圧値に基づき第2バイアス電圧の電圧値を決定し、第3電圧値に基づき第3バイアス電圧の電圧値を決定する。

10

【0011】

この光送信器では、第1変調部に供給する第1バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第1電圧値が求められ、第2変調部に供給する第2バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第2電圧値が求められ、第3変調部に供給する第3バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第3電圧値が求められる。第1駆動信号及び第2駆動信号の最大振幅が半波長電圧値以下である場合、光出力信号の平均パワーが最小となるように第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値が調整される。光出力信号の平均パワーが最小となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値は、第3バイアス電圧の電圧値に応じて変化する。一方、光出力信号の平均パワーが最大となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値は、第3バイアス電圧の電圧値によらず、光出力信号の平均パワーが最小となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値と一定の関係性を有する電圧値となる。また、光出力信号の平均パワーが最大となる第3バイアス電圧の電圧値は、第1変調光信号と第2変調光信号との位相差が所望の値となる第3バイアス電圧の電圧値と一定の関係性を有する電圧値となる。したがって、求められた第1電圧値、第2電圧値及び第3電圧値それぞれから、光出力信号の平均パワーが最小となるように第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値が決定され、第1変調光信号と第2変調光信号との位相差が所望の値となるように第3バイアス電圧の電圧値が決定される。このため、光出力信号の平均パワーが最小となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値が第3バイアス電圧の電圧値に応じて変化したとしても、第1バイアス電圧、第2バイアス電圧及び第3バイアス電圧を適切に調整することができる。

20

30

【0012】

バイアス供給部は、第1電圧値に対して、半波長電圧値を加算又は減算することで、第1バイアス電圧の電圧値を決定してもよく、第2電圧値に対して、半波長電圧値を加算又は減算することで、第2バイアス電圧の電圧値を決定してもよく、第3電圧値に対して、半波長電圧値の半分の値を加算又は減算することで、第3バイアス電圧の電圧値を決定してもよい。

40

【0013】

第1駆動信号及び第2駆動信号の最大振幅が半波長電圧値以下である場合、第1バイアスの電圧及び第2バイアス電圧の最適な電圧値は、第1変調光信号と第2変調光信号との位相差が 90° となる第3バイアス電圧の電圧値において、光出力信号の平均パワーが最小となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値である。第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の最適な電圧値は、第3バイアス電圧の電圧値によらず、光出力信号の

50

平均パワーが最大となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値に対して半波長電圧値を加算又は減算した値になることが見出された。さらに、第1変調光信号と第2変調光信号との位相差が90°となる第3バイアス電圧の電圧値は、第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値によらず、光出力信号の平均パワーが最大となる第3バイアス電圧の電圧値に対して半波長電圧値の半分の値を加算又は減算した値となることが見出された。このため、光出力信号の平均パワーが最大となる第1電圧値及び第2電圧値それぞれに対して半波長電圧値を加算又は減算することで、第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の最適な電圧値を決定することができる。また、光出力信号の平均パワーが最大となる第3電圧値に対して半波長電圧値の半分の値を加算又は減算することで、第1変調光信号と第2変調光信号との位相差が90°となる第3バイアス電圧の電圧値を決定することが

10

【0014】

バイアス供給部は、第1バイアス電圧を半波長電圧値の4倍の範囲を有する第1範囲内で変化させることによって、第1電圧値を求めてもよく、第2バイアス電圧を半波長電圧値の4倍の範囲を有する第2範囲内で変化させることによって、第2電圧値を求めてもよく、第3バイアス電圧を半波長電圧値の2倍の範囲を有する第3範囲内で変化させることによって、第3電圧値を求めてもよい。

【0015】

第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧それぞれの電圧値の変化に対する光出力信号の平均パワーの変化は、最大で半波長電圧値の4倍の周期にて周期性を有している。また、第3バイアス電圧の電圧値の変化に対する光出力信号の平均パワーの変化は、最大で半波長電圧値の2倍の周期にて周期性を有している。このため、第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧を、半波長電圧値の4倍の範囲を有する第1範囲及び第2範囲内でそれぞれ変化させれば、その第1範囲及び第2範囲内に、光出力信号の平均パワーが最大となる第1電圧値及び第2電圧値がそれぞれ含まれる。また、第3バイアス電圧の電圧値を、半波長電圧値の2倍の範囲を有する第3範囲内で変化させれば、その第3範囲内に、光出力信号の平均パワーが最大となる第3電圧値が含まれる。このように変化させる範囲を一定範囲に制限することにより、第1電圧値、第2電圧値及び第3電圧値を求めるために要する時間を短縮することができる。

20

【0016】

バイアス供給部は、第1電圧値が第1範囲の中央の値よりも小さい場合には、第1電圧値に半波長電圧値を加算することで第1バイアス電圧の電圧値を決定してもよく、第1電圧値が第1範囲の中央の値よりも大きい場合には、第1電圧値から半波長電圧値を減算することで第1バイアス電圧の電圧値を決定してもよい。

30

【0017】

この場合、決定される第1バイアス電圧の電圧値は、中央の値から半波長電圧値を減算して得られる値から、中央の値に半波長電圧値を加算して得られる値までの範囲に含まれる。このため、決定される第1バイアス電圧の電圧値の絶対値を小さくすることができる。その結果、第1変調部に供給する第1バイアス電圧を容易に生成することができる。

【0018】

バイアス供給部は、第2電圧値が第2範囲の中央の値よりも小さい場合には、第2電圧値に半波長電圧値を加算することで第2バイアス電圧の電圧値を決定してもよく、第2電圧値が第2範囲の中央の値よりも大きい場合には、第2電圧値から半波長電圧値を減算することで第2バイアス電圧の電圧値を決定してもよい。

40

【0019】

この場合、決定される第2バイアス電圧の電圧値は、中央の値から半波長電圧値を減算して得られる値から、中央の値に半波長電圧値を加算して得られる値までの範囲に含まれる。このため、決定される第2バイアス電圧の電圧値の絶対値を小さくすることができる。その結果、第2変調部に供給する第2バイアス電圧を容易に生成することができる。

【0020】

50

バイアス供給部は、第3電圧値が第3範囲の中央の値よりも小さい場合には、第3電圧値に半波長電圧値の半分の値を加算することで第3バイアス電圧の電圧値を決定してもよく、第3電圧値が第3範囲の中央の値よりも大きい場合には、第3電圧値から半波長電圧値の半分の値を減算することで第3バイアス電圧の電圧値を決定してもよい。

【0021】

この場合、決定される第3バイアス電圧の電圧値は、中央の値から半波長電圧値の半分の値を減算して得られる値から、中央の値に半波長電圧値の半分の値を加算して得られる値までの範囲に含まれる。このため、決定される第3バイアス電圧の電圧値の絶対値を小さくすることができる。その結果、第3変調部に供給する第3バイアス電圧を容易に生成することができる。

【0022】

検出部は、光出力信号の一部であるモニタ光のパワーを検出することによって、光出力信号のパワーを検出してよい。

【0023】

モニタ光は光出力信号の一部であるので、光出力信号のパワーは、モニタ光のパワーに略比例する。すなわち、モニタ光のパワーを検出することで、光出力信号のパワーを検出することができる。このため、上記構成では、光出力信号のパワーを容易に検出することができる。

【0024】

本発明の別の側面に係る光送信器の制御方法は、光入力信号から分岐した第1分岐光信号を第1駆動信号に応じて位相変調させることによって第1変調光信号を生成する第1変調部と、光入力信号から第1分岐光信号が分岐した残余の第2分岐光信号を第2駆動信号に応じて位相変調させることによって第2変調光信号を生成する第2変調部と、第1変調光信号及び第2変調光信号から光出力信号を生成する第3変調部と、を有する光送信器の制御方法である。この制御方法は、第1変調部に第1駆動信号が供給されていると共に第2変調部に第2駆動信号が供給されている駆動状態において、第1変調部に供給する第1バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第1電圧値を求めるステップと、駆動状態において、第2変調部に供給する第2バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第2電圧値を求めるステップと、駆動状態において、第3変調部に供給する第3バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第3電圧値を求めるステップと、第1電圧値に基づき第1バイアス電圧の電圧値を決定し、第2電圧値に基づき第2バイアス電圧の電圧値を決定し、第3電圧値に基づき第3バイアス電圧の電圧値を決定するステップと、を備える。第1駆動信号及び第2駆動信号の最大振幅は、第1変調部及び第2変調部のいずれかにおいて光信号の位相を180°変化させる半波長電圧値に等しいか、または半波長電圧値よりも小さい。

【0025】

この光送信器の制御方法では、第1変調部に供給する第1バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第1電圧値が求められ、第2変調部に供給する第2バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第2電圧値が求められ、第3変調部に供給する第3バイアス電圧を変化させることによって、光出力信号の平均パワーが最大となる第3電圧値が求められる。第1駆動信号及び第2駆動信号の最大振幅が半波長電圧値以下である場合、光出力信号の平均パワーが最小となるように第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値が調整される。光出力信号の平均パワーが最小となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値は、第3バイアス電圧の電圧値に応じて変化する。一方、光出力信号の平均パワーが最大となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値は、第3バイアス電圧の電圧値によらず、光出力信号の平均パワーが最小となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値と一定の関係性を有する電圧値となる。また、光出力信号の平均パワーが最大となる第3バイアス電圧の電圧値は、第1変調光信号と第2変調光信号との位相差が所望の値となる第3バ

10

20

30

40

50

イアス電圧の電圧値と一定の関係を有する電圧値となる。したがって、求められた第1電圧値、第2電圧値及び第3電圧値それぞれから、光出力信号の平均パワーが最小となるように第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値が決定され、第1変調光信号と第2変調光信号との位相差が所望の値となるように第3バイアス電圧の電圧値が決定される。このため、光出力信号の平均パワーが最小となる第1バイアス電圧及び第2バイアス電圧の電圧値が第3バイアス電圧の電圧値に応じて変化したとしても、第1バイアス電圧、第2バイアス電圧及び第3バイアス電圧を適切に調整することができる。

【0026】

[本願発明の実施形態の詳細]

本発明の実施形態に係る光送信器及び光送信器の制御方法の具体例を、図面を参照しつつ以下に説明する。図面の説明において同一又は相当する部分には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

10

【0027】

図1は、一実施形態に係る光送信器の構成概略図である。光送信器1は、CW(Continuous Wave)光L1を変調することで得られる偏波多重光信号L6を外部に出力する。具体的には、光送信器1は、レーザダイオード等の光源によって生成されたCW光L1を、DP-QPSK(Dual Polarization - Quadrature Phase Shift Keying; 偏波多重四値位相)変調方式によって変調することで偏波多重光信号L6を生成し外部に出力する。光送信器1は、光変調器10, 20と、検出部17, 27と、駆動部19と、バイアス供給部30と、を備える。光変調器10, 20は、電気光学効果を有する基板上に形成される。例えば、光変調器10, 20は、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)結晶を用いて形成された基板上、インジウムリン系化合物半導体によって形成された半導体チップ上、あるいはSi半導体によって形成された半導体チップ上に形成される。検出部17, 27は、光変調器10, 20と同じ基板上にそれぞれ形成され、光変調器10, 20にそれぞれ内蔵されていてもよい。

20

【0028】

光送信器1では、所定の周波数のCW光L1が光導波路wg1に入力される。入力されたCW光L1は、互いに偏波面が異なる2つの光(X偏波光及びY偏波光)として光導波路wg2, wg3に分岐される。例えば、光変調器10には、X偏波光が光導波路wg2を介して光入力信号L2として入力される。光変調器20には、Y偏波光が光導波路wg3を介して光入力信号L3として入力される。X偏波光とY偏波光とのそれぞれの偏波面は互いに90°異なっている。例えば、X偏波光のパワー(強度)は、Y偏波光のパワーとほぼ等しい。

30

【0029】

光変調器10は、光入力信号L2に対してQPSK変調を行うことで光出力信号L4を生成する。光変調器10は、光導波路wg4を介して光導波路wg6に光出力信号L4を出力する。光変調器20は、光入力信号L3に対してQPSK変調を行うことで光出力信号L5を生成する。光変調器20は、光導波路wg5を介して光導波路wg6に光出力信号L5を出力する。光入力信号L2と光入力信号L3とがそれぞれ光変調器10及び光変調器20を通過しても、互いの偏波面の関係は維持されるので、光出力信号L4と光出力信号L5とのそれぞれの偏波面は互いに90°異なっている。光出力信号L4と光出力信号L5とが、光導波路wg6において合成されて偏波多重光信号L6として光送信器1から外部に出力される。

40

【0030】

光変調器10は、変調部11, 12, 15を備える。光入力信号L2は、2つの分岐光信号L21, L22として光導波路wg21, wg22に分岐される。分岐光信号L22は、光入力信号L2から分岐光信号L21が分岐した残余の光信号である。

【0031】

50

変調部 1 1 (第 1 変調部) は、1 対の光導波路 1 1 a , 1 1 b を有するマッハツエンダ型変調器である。変調部 1 1 は、分岐光信号 L 2 1 (第 1 分岐光信号) を位相変調することで変調光信号 L 4 1 (第 1 変調光信号) を生成する。変調部 1 1 は、光導波路 1 5 a に変調光信号 L 4 1 を出力する。変調部 1 2 (第 2 変調部) は、1 対の光導波路 1 2 a , 1 2 b を有するマッハツエンダ型変調器である。変調部 1 2 は、分岐光信号 L 2 2 (第 2 分岐光信号) を位相変調することで変調光信号 L 4 2 (第 2 変調光信号) を生成する。変調部 1 2 は、光導波路 1 5 b に変調光信号 L 4 2 を出力する。なお、変調部 1 1 , 1 2 は、子変調器とも称される。変調部 1 1 , 1 2 のそれぞれは、例えば二位相偏移変調 (B P S K : Binary Phase Shift Keying) を行う。変調部 1 1 , 1 2 は、光信号の位相変調に関して互いに略同一の光学的特性及び電気的特性を有していてもよい。

10

【 0 0 3 2 】

変調部 1 5 (第 3 変調部) は、1 対の光導波路 1 5 a , 1 5 b を有する移相器である。変調部 1 5 は、変調光信号 L 4 1 及び変調光信号 L 4 2 から光出力信号 L 4 を生成する。変調部 1 5 は、光導波路 w g 4 に光出力信号 L 4 を出力する。なお、変調部 1 5 は、親変調器とも称される。変調部 1 5 は、変調光信号 L 4 1 の位相と変調光信号 L 4 2 の位相との差 (位相差) を印加されたバイアス電圧に応じて変化させる。

【 0 0 3 3 】

光変調器 2 0 は、変調部 2 1 , 2 2 , 2 5 を備える。光入力信号 L 3 は、2 つの分岐光信号 L 3 1 , L 3 2 として光導波路 w g 3 1 , w g 3 2 に分岐される。分岐光信号 L 3 2 は、光入力信号 L 3 から分岐光信号 L 3 1 が分岐した残余の光信号である。

20

【 0 0 3 4 】

変調部 2 1 は、1 対の光導波路 2 1 a , 2 1 b を有するマッハツエンダ型変調器である。変調部 2 1 は、分岐光信号 L 3 1 を位相変調することで変調光信号 L 5 1 を生成する。変調部 2 1 は、光導波路 2 5 a に変調光信号 L 5 1 を出力する。変調部 2 2 は、1 対の光導波路 2 2 a , 2 2 b を有するマッハツエンダ型変調器である。変調部 2 2 は、分岐光信号 L 3 2 を位相変調することで変調光信号 L 5 2 を生成する。変調部 2 2 は、光導波路 2 5 b に変調光信号 L 5 2 を出力する。なお、変調部 2 1 , 2 2 は、子変調器とも称される。変調部 2 1 , 2 2 のそれぞれは、例えば二位相偏移変調 (B P S K) を行う。変調部 2 1 , 2 2 は、光信号の位相変調に関して互いに略同一の光学的特性及び電気的特性を有していてもよい。

30

【 0 0 3 5 】

変調部 2 5 は、1 対の光導波路 2 5 a , 2 5 b を有する移相器である。変調部 2 5 は、変調光信号 L 5 1 及び変調光信号 L 5 2 から光出力信号 L 5 を生成する。変調部 2 5 は、光導波路 w g 5 に光出力信号 L 5 を出力する。なお、変調部 2 5 は、親変調器とも称される。変調部 2 5 は、変調光信号 L 5 1 の位相と変調光信号 L 5 2 の位相との差 (位相差) を印加されたバイアス電圧に応じて変化させる。

【 0 0 3 6 】

検出部 1 7 は、光出力信号 L 4 のパワー (強度) を検出する。検出部 1 7 は、光出力信号 L 4 の一部であるモニタ光を検出することによって、光出力信号 L 4 のパワーを検出してもよい。具体的には、検出部 1 7 は、光出力信号 L 4 から分岐したモニタ光を検出し、当該モニタ光を電流信号 (光電流) に変換する。検出部 1 7 は、光電流をバイアス供給部 3 0 に出力する。検出部 1 7 は、例えば、フォトダイオードである。フォトダイオードは、モニタ光のパワー (入射光量) に略比例した光電流を出力する。光出力信号 L 4 のパワーは、例えば、モニタ光のパワーに対して一次式にて表すことができる (モニタ光のパワーに略比例する)。このため、モニタ光のパワーが検出されることで、光出力信号 L 4 のパワーが高い精度にて推定 (検出) される。このように、光出力信号 L 4 のパワーの検出では、モニタ光の平均パワーが検出されるので、光 - 電気変換は例えば Q P S K のシンボルレートよりも遅くてもよく、例えば、検出部 1 7 に含まれるフォトダイオードの帯域は数 G H z であればよい。検出部 2 7 は、光出力信号 L 5 から分岐したモニタ光を検出する点を除き、検出部 1 7 と同様の機能を有するので、詳細な説明を省略する。なお、検出部

40

50

17, 27はそれぞれ光変調器10, 20に含まれてもよい。

【0037】

駆動部19は、不図示のホスト装置（外部装置）等から出力される送信データ信号に基づいて差動電圧信号（駆動信号）を生成する。駆動信号は、正相信号と逆相信号とを有する。逆相信号は、正相信号の位相と180°異なる位相を有する。例えば、正相信号が増加するときに逆相信号は減少し、正相信号が減少するときに逆相信号は増加する。正相信号が最大値（ピーク値）に達するときに逆相信号は最小値（ボトム値）に達し、正相信号がボトム値に達するときに逆相信号はピーク値に達する。正相信号と逆相信号とは互いに略等しい振幅を有する。駆動部19は、変調部11, 12及び変調部21, 22に、ここでは4つの駆動信号を供給する。具体的には、駆動部19は、光導波路11a上に設けられた電極13a及び光導波路11b上に設けられた電極13bに駆動信号Vd1（第1駆動信号）を印加し、光導波路12a上に設けられた電極14a及び光導波路12b上に設けられた電極14bに駆動信号Vd2（第2駆動信号）を印加する。変調部11は、駆動信号Vd1に応じて分岐光信号L21を位相変調し、変調部12は、駆動信号Vd2に応じて分岐光信号L22を位相変調する。

10

【0038】

駆動信号Vd1は、2値の状態として「ハイレベル」の状態と「ローレベル」の状態とを含む。駆動信号Vd1は、送信データ信号に基づいて生成され、互いに位相が反対の正相信号と逆相信号とを含む。例えば、駆動信号Vd1が「ハイレベル」のとき、その正相信号はピーク値であり、その逆相信号はボトム値となっている。すなわち、正相信号の電圧から逆相信号の電圧を引いた差は、正の値となり最大値となっている。また、駆動信号Vd1が「ローレベル」のとき、その正相信号はボトム値であり、その逆相信号はピーク値となっている。すなわち、正相信号の電圧から逆相信号の電圧を引いた差は、負の値となり、最小値となっている。駆動部19は、例えば、電極13aに駆動信号Vd1の正相信号を印加し、電極13bに駆動信号Vd1の逆相信号を印加する。変調光信号L41は、変調部11によりBPSKで変調された光信号である。

20

【0039】

駆動信号Vd2は、2値の状態として「ハイレベル」の状態と「ローレベル」の状態とを含む。駆動信号Vd2は、送信データ信号に基づいて生成され、互いに位相が反対の正相信号と逆相信号とを含む。例えば、駆動信号Vd2が「ハイレベル」のとき、その正相信号はピーク値であり、その逆相信号はボトム値となっている。すなわち、正相信号の電圧から逆相信号の電圧を引いた差は、正の値となり最大値となっている。駆動信号Vd2が「ローレベル」のとき、その正相信号はボトム値であり、その逆相信号はピーク値となっている。すなわち、正相信号の電圧から逆相信号の電圧を引いた差は、負の値となり、最小値となっている。駆動部19は、電極14aに駆動信号Vd2の正相信号を印加し、電極14bに駆動信号Vd2の逆相信号を印加する。変調光信号L42は、変調部12によりBPSKで変調された光信号である。なお、駆動部19は、光導波路21a, 21b上に設けられた電極23a, 23b及び光導波路22a, 22b上に設けられた電極24a, 24bのそれぞれにも駆動信号を印加するが、図示は省略されている。

30

【0040】

バイアス供給部30は、バイアス電圧を変調部11, 12, 15及び変調部21, 22, 25に供給する。具体的には、バイアス供給部30は、バイアス電圧Vc1（第1バイアス電圧）を電極13a及び電極13bに印加し、バイアス電圧Vc2（第2バイアス電圧）を電極14a及び電極14bに印加し、バイアス電圧Vp（第3バイアス電圧）を光導波路15a上に設けられた電極16a及び光導波路15b上に設けられた電極16bに印加する。

40

【0041】

バイアス電圧Vc1は、電極13aに印加される電圧と電極13bに印加される電圧との電位差であり、駆動信号Vd1の基準電圧である。例えば、バイアス電圧Vc1が最適な電圧値に調整されている場合、駆動信号Vd1がローレベルであるときに、変調光信号

50

L 4 1 の位相が分岐光信号 L 2 1 の位相に対して 0° ずれる（ここで「 0° ずれる」というのは便宜的な表現であって、この状態では変調光信号 L 4 1 は分岐光信号 L 2 1 の位相と同じ位相を有している）。つまり、変調光信号 L 4 1 の分岐光信号 L 2 1 に対する位相差（以下、「変調光信号 L 4 1 の位相差」という）が 0° となる。また、駆動信号 V d 1 がハイレベルであるときに、変調光信号 L 4 1 の位相が分岐光信号 L 2 1 の位相に対して 180° ずれる。つまり、変調光信号 L 4 1 の位相差が 180° となる。この例のように、変調光信号 L 4 1 は、駆動信号 V d 1 に応じて位相差が 0° である状態と位相差が 180° である状態とのいずれかの状態となる。

【 0 0 4 2 】

バイアス電圧 V c 2 は、電極 1 4 a に印加される電圧と電極 1 4 b に印加される電圧との電位差であり、駆動信号 V d 2 の基準電圧である。例えば、バイアス電圧 V c 2 が最適な電圧値に調整されている場合、駆動信号 V d 2 がローレベルであるときに、変調光信号 L 4 2 の位相が分岐光信号 L 2 2 の位相に対して 0° ずれる。つまり、変調光信号 L 4 2 の分岐光信号 L 2 2 に対する位相差（以下、「変調光信号 L 4 2 の位相差」という）が 0° となる。また、駆動信号 V d 2 がハイレベルであるときに、変調光信号 L 4 2 の位相が分岐光信号 L 2 2 の位相に対して 180° ずれる。つまり、変調光信号 L 4 2 の位相差が 180° となる。この例のように、変調光信号 L 4 2 は、駆動信号 V d 2 に応じて位相差が 0° である状態と位相差が 180° である状態とのいずれかの状態となる。

【 0 0 4 3 】

バイアス電圧 V p は、電極 1 6 a に印加される電圧と電極 1 6 b に印加される電圧との電位差である。バイアス電圧 V p が最適な電圧値に設定されているときに、バイアス電圧 V p によって、変調光信号 L 4 1 の位相と変調光信号 L 4 2 の位相とが互いに 90° ずらされる。なお、バイアス供給部 3 0 は、電極 2 3 a , 2 3 b、電極 2 4 a , 2 4 b 及び光導波路 2 5 a , 2 5 b 上に設けられた電極 2 6 a , 2 6 b のそれぞれにも上述のバイアス電圧 V c 1、バイアス電圧 V c 2、及びバイアス電圧 V p と同様のバイアス電圧を供給するが、図示は省略されている。D P - Q P S K 変調方式の光送信器 1 では、バイアス供給部 3 0 は合計で 6 つのバイアス電圧を光変調器 1 0 , 2 0 に供給する。

【 0 0 4 4 】

図 2 は、図 1 のバイアス供給部の詳細構成を示す図である。バイアス供給部 3 0 は、例えば、抵抗器 3 1 と、増幅回路 3 2 と、A D C (Analog to Digital Converter ; アナログ - デジタル変換回路) 3 3 と、制御部 3 4 と、D A C (Digital to Analog Converter ; デジタル - アナログ変換回路) 3 5 と、増幅回路 3 6 と、を備える。

【 0 0 4 5 】

抵抗器 3 1 は、検出部 1 7 , 2 7 からバイアス供給部 3 0 に入力される光電流をモニタ電圧に変換する。入力された光電流が抵抗器 3 1 を流れることで発生する電圧降下に基づいて、モニタ電圧が生成される。すなわち、モニタ電圧は、光電流の大きさに略比例したアナログ値の電圧である。抵抗器 3 1 は、モニタ電圧を増幅回路 3 2 に出力する。なお、検出部 1 7 から入力される光電流と検出部 2 7 から入力される光電流は、それぞれ別々の抵抗器 3 1 を流れることによって別々のモニタ電圧に変換される。図 2 では、検出部 1 7 , 2 7 は光変調器 1 0 , 2 0 の外部に図示されているが、上述したように、それぞれ光変調器 1 0 , 2 0 に内蔵されていてもよい。その場合には、例えば、光変調器 1 0 , 2 0 に光電流を出力するための端子がそれぞれ設けられ、検出部 1 7 , 2 7 はそれぞれの端子を介してバイアス供給部 3 0 に接続されてもよい。

【 0 0 4 6 】

増幅回路 3 2 はモニタ電圧を増幅する。モニタ電圧が増幅されることによって、A D C 3 3 によって行われるアナログ - デジタル変換の精度が向上する。増幅回路 3 2 には、ローパスフィルタが設けられる。モニタ電圧がローパスフィルタを通過することによって積分され、モニタ電圧の値が時間的に平均化される。このため、バイアス供給部 3 0 では、モニタ光の平均パワーが検出される。増幅回路 3 2 は、増幅及び平均化されたモニタ電圧を A D C 3 3 に出力する。なお、検出部 1 7 及び検出部 2 7 から入力された光電流に対

10

20

30

40

50

して生成される上述の別々のモニタ電圧は、別々の増幅回路 3 2 によってそれぞれ増幅される。

【 0 0 4 7 】

A D C 3 3 は、増幅回路 3 2 から出力されたモニタ電圧をデジタル値のモニタ値に変換する。A D C 3 3 は、変換したモニタ値を制御部 3 4 に出力する。これにより、制御部 3 4 には、モニタ光の平均パワーの大きさに応じたモニタ値が入力される。なお、検出部 1 7 , 2 7 に基づいた 2 つのモニタ値が制御部 3 4 に入力されるが、図 2 では 1 つのモニタ値が入力される経路のみが示されている。すなわち、検出部 1 7 からの光電流は、抵抗器 3 1、増幅回路 3 2、及び A D C 3 3 を介してモニタ値（デジタル値）に変換されて制御部 3 4 に入力され、検出部 2 7 からの光電流は、別の抵抗器 3 1、別の増幅回路 3 2、及び別の A D C 3 3 を介してモニタ値（デジタル値）に変換されて制御部 3 4 に入力される。

10

【 0 0 4 8 】

制御部 3 4 は、検出部 1 7 , 2 7 で検出したモニタ光の平均パワーに応じてバイアス電圧を決定するバイアス電圧調整処理を行う。バイアス電圧調整処理の詳細については後述する。制御部 3 4 がバイアス電圧調整処理を行うことで、バイアス供給部 3 0 は各変調部 1 1 , 1 2 , 1 5 及び各変調部 2 1 , 2 2 , 2 5 に供給するバイアス電圧の電圧値を決定する。制御部 3 4 は、例えば、C P U (Central Processing Unit)、R A M (Random Access Memory)、及び R O M (Read Only Memory) 等から構成される I C (Integrated Circuit; 集積回路) である。制御部 3 4 は、R O M に格納されている所定のプログラムを R A M に読み出し、C P U によってプログラムが実行されることによって、バイアス電圧調整処理を行うように動作する。制御部 3 4 は、例えば、C P L D (Complex Programmable Logic Device) 又は F P G A (Field Programmable Gate Array) などのロジックデバイスであってもよい。制御部 3 4 は、バイアス電圧の電圧値に対応するデジタル値の設定値を D A C 3 5 に出力する。

20

【 0 0 4 9 】

D A C 3 5 は、制御部 3 4 から出力された設定値に基づいて、アナログ値の電圧である設定電圧を生成する。D A C 3 5 は、設定電圧を増幅回路 3 6 に出力する。

【 0 0 5 0 】

増幅回路 3 6 は、D A C 3 5 から出力された設定電圧を増幅することで、バイアス電圧を生成する。増幅回路 3 6 は、生成したバイアス電圧を光変調器 1 0 , 2 0 に供給する。制御部 3 4 は、D A C 3 5 に出力する設定値を変化させることで、各変調部に供給されるバイアス電圧の電圧値を調整する。なお、D A C 3 5 及び増幅回路 3 6 を介して光変調器 1 0 , 2 0 には 6 つのバイアス電圧が供給されるが、図 2 では 1 つのバイアス電圧が供給される経路が示されている。従って、実際には、D A C 3 5 及び増幅回路 3 6 は、それぞれバイアス電圧の数だけ用意され、互いに並列に制御部 3 4 に接続されて使用される。より詳細には、上述したように、1 つのバイアス電圧は、一对の光導波路のそれぞれに設けられた電極に印加される電圧の差として与えられるため、増幅回路 3 6 からは 2 つの電圧が出力される。あるいは、1 つの D A C 3 5 と 1 つの増幅回路 3 6 とが光導波路上に設けられた 1 つの電極に 1 つの電圧を与えるように構成されてもよい。その場合には、1 2 個の D A C 3 5 及び 1 2 個の増幅回路 3 6 が設けられる。バイアス供給部 3 0 は、1 2 個の電圧を出力し、互いに異なる配線を介して電極 1 3 a , 1 3 b、電極 1 4 a , 1 4 b、電極 1 6 a , 1 6 b、電極 2 3 a , 2 3 b、電極 2 4 a , 2 4 b、及び電極 2 6 a , 2 6 b の各電極に電圧を印加する。

30

40

【 0 0 5 1 】

次に、図 3 ~ 図 7 を用いてバイアス電圧とモニタ光の平均パワーとの関係を理論上の計算値を用いて説明する。図 3 は、図 1 に示される光変調器におけるモニタ光の平均パワーの計算結果である。図 4 は、駆動信号の最大振幅が半波長電圧値よりも大きい場合のモニタ光の平均パワーの計算結果である。図 5 は、駆動信号の最大振幅が半波長電圧値以下である場合のモニタ光の平均パワーの計算結果である。図 6 は、1 つの変調部のバイアス電

50

圧に応じたモニタ光の平均パワーの計算結果の一例を示すグラフである。図7は、他の変調部のバイアス電圧に応じたモニタ光の平均パワーの計算結果の一例を示すグラフである。

【0052】

図3には、駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} よりも大きい場合及び駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下である場合のそれぞれにおける、バイアス電圧 V_{c1} の電圧値及びバイアス電圧 V_{c2} の電圧値とモニタ光の平均パワーとの関係が示されている。各関係は、バイアス電圧 V_p が最適な電圧値に設定されている場合の計算結果である。なお、半波長電圧値 V_{pi} は、変調部11及び変調部12のいずれかにおいて光信号の位相を 180° 変化させる電圧値であり、計算で求められる既知の値（理論値）である。光変調器10に含まれる対となる光導波路上に設けられた1対の電極間に互いの電位差が半波長電圧値 V_{pi} となるようにそれぞれ電圧が印加された場合に、対となる光導波路から出力される光信号同士の位相差が 180° となる。バイアス電圧 V_p は、変調光信号 L_{41} と変調光信号 L_{42} との位相差が 90° となる最適な電圧値に設定されている。

10

【0053】

ここでは、平均パワーの計算値が 0.2 (mW) 単位で示されている。図3では、縦軸はバイアス電圧 V_{c1} の最適な電圧値からのずれ量を示し、縦軸の値が0のときにバイアス電圧 V_{c1} は最適な電圧値に一致している。横軸はバイアス電圧 V_{c2} の最適な電圧値からのずれ量を示し、横軸の値が0のときにバイアス電圧 V_{c2} は最適な電圧値に一致している。バイアス電圧 V_{c1} が最適な電圧値に設定されている場合、駆動信号 V_{d1} がハイレベルであるときの変調光信号 L_{41} の位相差は 180° となる。バイアス電圧 V_{c2} が最適な電圧値に設定されている場合、駆動信号 V_{d2} がハイレベルであるときの変調光信号 L_{42} の位相差は 180° となる。図3の縦軸及び横軸において、各軸の値が $+V_{pi}$ のときに、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} は、最適な電圧値から位相差 180° に相当する半波長電圧値 V_{pi} ずれている。各軸の値が $-V_{pi}$ のときに、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} は、最適な電圧値から位相差 -180° に相当する電圧値 $-V_{pi}$ ずれている。

20

【0054】

図3に示されるように、駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} よりも大きい場合、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} が最適な電圧値のときにモニタ光の平均パワーは最大となる。駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下である場合（半波長電圧値 V_{pi} に等しいか、または小さい場合）、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} が最適な電圧値のときにモニタ光の平均パワーは最小となる。図3では、平均パワーの計算値が 0.2 (mW) 単位で示されているので、バイアス電圧 V_{c1} 及びバイアス電圧 V_{c2} の電圧値の広い範囲に亘って平均パワーが最大又は最小となっているが、実際の計算値ではバイアス電圧 V_{c1} 及びバイアス電圧 V_{c2} が最適な電圧値のときに、平均パワーは最大又は最小となる。なお、駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下に設定されることで、例えば、駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} による消費電力を削減することができ、あるいは変調部11、12にて線形な光応答を得る必要があるQAM変調（Quadrature Amplitude Modulation；直交振幅変調）に対応することができる。

30

【0055】

上述のように、バイアス電圧 V_p が最適な電圧値に設定されているという条件下では、駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} よりも大きい場合、モニタ光の平均パワーが最大となるように、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} の電圧値を調整することで、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} の最適な電圧値が得られる。同様に、バイアス電圧 V_p が最適な電圧値に設定されているという条件下では、駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下である場合、モニタ光の平均パワーが最小となるように、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} の電圧値を調整することで、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} の最適な電圧値が得られる。しかしながら、バイアス電圧 V_p が常に最適な電圧値に設定されているとは限らない。そこで、バイアス電圧 V_p が変動した場合のバイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} の電圧値とモニタ光の平均パワーとの関係について以下に説明する。

40

50

【 0 0 5 6 】

図 4 には、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} よりも大きい場合での、バイアス電圧 V_p の 3 つの電圧値それぞれにおける平均パワーの計算結果が示されている。図 5 には、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下である場合での、バイアス電圧 V_p の 3 つの電圧値それぞれにおける平均パワーの計算結果が示されている。バイアス電圧 V_p の 3 つの電圧値としては、バイアス電圧 V_p の最適な電圧値、最適な電圧値よりも $V_{pi} / 2$ 小さい電圧値、最適な電圧値よりも $V_{pi} / 2$ 大きい電圧値が用いられる。

【 0 0 5 7 】

なお、説明を簡略化するために、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} よりも大きい場合では、最適な電圧値から半波長電圧値 V_{pi} だけずれた値から、最適な電圧値から電圧値 $-V_{pi}$ だけずれた値までの範囲でバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} を変化させた計算結果が示されている。一方、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下である場合では、最適な電圧値から電圧値 V_{pi} の 2 倍 (電圧値 $2V_{pi}$) だけずれた値から、最適な電圧値から電圧値 $-V_{pi}$ の 2 倍 (電圧値 $-2V_{pi}$) だけずれた値までの範囲でバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} を変化させた計算結果が示されている。

10

【 0 0 5 8 】

図 4 に示されるように、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} よりも大きい場合、バイアス電圧 V_p の電圧値によらずに、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} が最適な電圧値であるときに平均パワーは最大となる。一方、図 5 に示されるように、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下である場合、バイアス電圧 V_p の 3 つの電圧値それぞれにおいて、平均パワーが最小となるバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の電圧値が異なる。これらの計算結果から、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} よりも大きい場合には、バイアス電圧 V_p の電圧値によらずに、平均パワーが最大となるようにバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} を調整することでバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の最適な値を求めることができる。これに対して、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下である場合には、平均パワーが最小となるようにバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} を調整しても、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の最適な値を求めることができない。このため、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下である場合には、平均パワーが最小となるようにバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} を調整する方法以外の方法にてバイアス電圧の最適な電圧値を求める必要がある。

20

30

【 0 0 5 9 】

図 6 には、バイアス電圧 V_{c2} の電圧値を固定し、バイアス電圧 V_{c1} を変化させた場合の平均パワーの計算結果が示されている。図 6 に示される平均パワーは、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下に設定され、バイアス電圧 V_{c2} が最適な電圧値から電圧値 V_{pi} ずれた値に固定されているという条件で計算された。図 6 には、最適な電圧値から電圧値 $-2V_{pi}$ だけずれた値から、最適な電圧値から電圧値 $2V_{pi}$ だけずれた値までの範囲でバイアス電圧 V_{c1} の電圧値を変化させた計算結果が示されている。換言すると、最適な電圧値を中心として、半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲でバイアス電圧 V_{c1} の電圧値を変化させた計算結果が示されている。

40

【 0 0 6 0 】

グラフ C 1 は、バイアス電圧 V_p を最適な電圧値から電圧値 $(-V_{pi} / 2)$ だけずらした値に固定させた場合の計算結果である。グラフ C 2 は、バイアス電圧 V_p を最適な電圧値から電圧値 $(-V_{pi} / 3)$ だけずらした値に固定させた場合の計算結果である。グラフ C 3 は、バイアス電圧 V_p を最適な電圧値から電圧値 $(-V_{pi} / 6)$ だけずらした値に固定させた場合の計算結果である。グラフ C 4 は、バイアス電圧 V_p を最適な電圧値に固定させた場合の計算結果である。

【 0 0 6 1 】

グラフ C 1 ~ C 4 に示されるように、モニタ光の平均パワーは、バイアス電圧 V_{c1} の

50

変化に対して半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍を周期として周期的に変化する（上述したように図 6 には半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲のみが示されている）。具体的には、グラフ C 1 ~ C 3 に示されるように、バイアス電圧 V_p が最適な電圧値から電圧値 $(-V_{pi}/2)$, $(-V_{pi}/3)$, $(-V_{pi}/6)$ だけずれている場合には、バイアス電圧 V_{c1} の電圧値が半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲で変化する間に、平均パワーの最大値と最小値とがそれぞれ 1 回ずつ出現する。また、バイアス電圧 V_{c1} が最適な電圧値から電圧値 $-V_{pi}$ だけずれた値であるときに平均パワーが最大となっている。

【0062】

グラフ C 4 に示されるように、バイアス電圧 V_p が最適な電圧値である場合には、バイアス電圧 V_{c1} の電圧値が半波長電圧値 V_{pi} の 2 倍の範囲で変化する間に、平均パワーの最大値と最小値とがそれぞれ 1 回ずつ出現する。また、バイアス電圧 V_{c1} が最適な電圧値から $-V_{pi}$ だけずれた値であるとき、及び V_{pi} だけずれた値であるときに、平均パワーが最大となっている。つまり、グラフ C 1 ~ C 4 により示される計算結果では、半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲に平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_{c1} の電圧値が含まれている。なお、モニタ光の平均パワーは、バイアス電圧 V_{c2} の変化に対しても周期的に変化する。例えば、変調部 1 2 が光信号の位相変調に関して変調部 1 1 と略同一の電気的特性および光学的特性を有する場合、バイアス電圧 V_{c1} と同様に、平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_{c2} の電圧値は、半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲に含まれる。

【0063】

図 7 には、バイアス電圧 V_{c1} 及びバイアス電圧 V_{c2} の電圧値を固定し、バイアス電圧 V_p を変化させた場合の平均パワーの計算結果が示されている。図 7 に示される平均パワーは、駆動信号 V_{d1} , V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下に設定されており、バイアス電圧 V_{c1} が最適な電圧値から電圧値 $-V_{pi}$ ずれた値に固定されており、バイアス電圧 V_{c2} が最適な電圧値から電圧値 V_{pi} ずれた値に固定されているという条件で計算された。図 7 では、横軸はバイアス電圧 V_p の最適な電圧値からのずれ量を示し、値が 0 のときにバイアス電圧 V_p は最適な電圧値に設定されている。図 7 には、最適な電圧値から電圧値 $-V_{pi}$ だけずれた値から、最適な電圧値から電圧値 V_{pi} だけずれた値までの範囲でバイアス電圧 V_p の電圧値を変化させた計算結果が示されている。換言すると、最適な電圧値を中心として、半波長電圧値 V_{pi} の 2 倍の範囲でバイアス電圧 V_p の電圧値を変化させた計算結果が示されている。

【0064】

図 7 に示されるように、モニタ光の平均パワーは、バイアス電圧 V_p の変化に対して半波長電圧値 V_{pi} の 2 倍を周期として周期的に変化する。具体的には、バイアス電圧 V_p の電圧値が半波長電圧値 V_{pi} の 2 倍の範囲で変化する間に、平均パワーの最大値と最小値とがそれぞれ 1 回ずつ出現する。図 7 に示される計算結果では、バイアス電圧 V_p の電圧値が、最適な電圧値から電圧値 $-V_{pi}/2$ だけずれた値であるときに、平均パワーが最大となっている。つまり、図 7 に示される計算結果では、半波長電圧値 V_{pi} の 2 倍の範囲に平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_p の電圧値が含まれている。

【0065】

図 5 に示される平均パワーの計算結果において、バイアス電圧 V_p が最適な電圧値から $-V_{pi}/2$ ずれている場合、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の電圧値が、最適な電圧値から $(-V_{pi}, V_{pi})$ 又は $(V_{pi}, -V_{pi})$ ずれた値であるときに平均パワーは最大となっている。バイアス電圧 V_p が最適な電圧値から $V_{pi}/2$ ずれている場合、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の電圧値が、最適な電圧値から $(-V_{pi}, -V_{pi})$ 又は (V_{pi}, V_{pi}) ずれた値であるときに平均パワーは最大となっている。バイアス電圧 V_p が最適な電圧値である場合、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} が最適な電圧値から $(-V_{pi}, -V_{pi})$, $(-V_{pi}, V_{pi})$, $(V_{pi}, -V_{pi})$, 又は (V_{pi}, V_{pi}) ずれた値である場合に平均パワーが最大となっている。これらの平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の組合せは、いずれもバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の最適な電圧値から $\pm V_{pi}$ だけずれた値である。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 6 】

なお、バイアス電圧 V_p が上記及び図 6 に示される計算結果以外の電圧値を有する場合であっても、同様に、平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の組合せは、いずれもバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の最適な電圧値から $\pm V_{pi}$ だけずれた値であった。以上の結果から、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の最適な電圧値は、バイアス電圧 V_p の電圧値によらず、モニタ光の平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の電圧値に対して半波長電圧値 V_{pi} を加算又は減算した値になることがわかる。

【 0 0 6 7 】

図 7 に示される平均パワーの計算結果において、バイアス電圧 V_p の電圧値が、最適な電圧値から $-V_{pi}/2$ だけずれた値であるときに平均パワーは最大となっている。図 7 には、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の電圧値を 1 点に固定した場合での平均パワーの計算結果しか示されていないが、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} を他の電圧値に固定した場合において、バイアス電圧 V_p の電圧値が、最適な電圧値から $-V_{pi}/2$ 又は $V_{pi}/2$ だけずれた値であるときに平均パワーは最大となっていた。この結果から、バイアス電圧 V_p の最適な電圧値は、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の電圧値によらず、モニタ光の平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_p の電圧値に対して半波長電圧値 V_{pi} の半分の値 $V_{pi}/2$ を加算又は減算した値となることがわかる。

【 0 0 6 8 】

図 6 に示されるように、バイアス電圧 V_{c1} の電圧値に対する平均パワーの変化は、最大で半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲にて周期性を有する。また、バイアス電圧 V_{c1} と同様にバイアス電圧 V_{c2} を変化させた場合の平均パワーの計算結果から、バイアス電圧 V_{c2} の電圧値に対する平均パワーの変化は、最大で半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲にて周期性を有する。図 7 に示されるように、バイアス電圧 V_p の電圧値に対する平均パワーの変化は、最大で半波長電圧値 V_{pi} の 2 倍の範囲にて周期性を有する。以降では、上述の各種関係を利用したバイアス電圧の調整方法を説明する。

【 0 0 6 9 】

図 3 ~ 図 7 に示されたモニタ光の平均パワーの変化は計算結果であり、実際の光変調器 10 では、個体差、周囲温度及び経時劣化等により、光変調器 10 に対するバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} , V_p の最適な電圧値は一意に定まらない。このため、光送信器 1 が製造時に初めて起動される際に、例えば、制御部 34 がバイアス電圧調整処理を行うことで、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} , V_p が最適な電圧値に設定される。

【 0 0 7 0 】

次に、図 8 ~ 図 10 を用いてバイアス電圧調整処理の一例を説明する。図 8 は、バイアス電圧調整処理の一例を示すフローチャートである。図 9 は、図 8 に示される第 1 電圧値取得処理を示すフローチャートである。図 10 は、図 8 に示される最適値決定処理を示すフローチャートである。なお、ここでは光変調器 10 に供給されるバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} , V_p に対するバイアス電圧調整処理について説明する。

【 0 0 7 1 】

制御部 34 は、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} , V_p の各電圧値 $V_{c1}(0) \sim V_{c1}(N)$, $V_{c2}(0) \sim V_{c2}(N)$, $V_p(0) \sim V_p(N)$ を予め記憶している。N は 2 以上の整数である。各電圧値 $V_{c1}(k)$, $V_{c2}(k)$, $V_p(k)$ (変数 k は、0 ~ N までのいずれかの整数である。) は配列データである。ここでは、制御部 34 は、変数 k を 0 から N まで変えていくことによって、電圧値 $V_{c1}(k)$ を $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ まで、電圧値 $V_{c2}(k)$ を $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ まで、電圧値 $V_p(k)$ を 0 から $(2 \times V_{pi})$ まで変更する。例えば、 $V_{c1}(k)$, $V_{c2}(k)$ の各値は初期設定により $\{(4 \times V_{pi}/N) \times k - 2 \times V_{pi}\}$ に設定され、 $V_p(k)$ の各値は $\{(2 \times V_{pi}/N) \times k\}$ に設定されている。このように設定することで、異なる変数 k の値に対して互いに重複することなく、各電圧値 $V_{c1}(k)$, $V_{c2}(k)$, $V_p(k)$ を容易に設定することができる。バイアス電圧調整処理では、制御部 34 は、変数 k に応じたモニタ光の平均パワーを示すモニタ値を配列データであるモ

10

20

30

40

50

ニタ値 $p(0) \sim p(N)$ のうち $p(k)$ として記憶する。制御部 34 は、例えば、光送信器 1 が起動されることで、バイアス電圧調整処理を開始する。

【0072】

最初に、制御部 34 は第 1 電圧値 V_1 を取得する第 1 電圧値取得処理を行う（ステップ S01）。ここで、第 1 電圧値 V_1 とは、バイアス電圧 V_{c2} 、 V_p の電圧値を一定に保ったままバイアス電圧 V_{c1} を変更した場合に、モニタ光の平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_{c1} の電圧値である。制御部 34 は、変調部 11 に駆動信号 V_{d1} が供給されていると共に変調部 12 に駆動信号 V_{d2} が供給されている状態（駆動状態）で、第 1 電圧値取得処理を行う。図 9 に示されるように、第 1 電圧値取得処理では、まず制御部 34 は初期設定を行う（ステップ S11）。具体的には、ステップ S11 では、制御部 34 は変数 k を 0 に設定する。そして、制御部 34 は、バイアス電圧 V_{c1} を電圧値 $V_{c1}(0)$ に設定し、バイアス電圧 V_{c2} を電圧値 $V_{c2}(0)$ に設定し、バイアス電圧 V_p を電圧値 $V_p(0)$ に設定する。つまり、制御部 34 は、電圧値 $V_{c1}(0)$ 、 $V_{c2}(0)$ 、 $V_p(0)$ をそれぞれバイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p の初期値に設定する。制御部 34 が電圧値 $V_{c1}(0)$ 、 $V_{c2}(0)$ 、 $V_p(0)$ に対応する設定値を DAC35 に出力することで、変調部 11 に電圧値 $V_{c1}(0)$ のバイアス電圧 V_{c1} が供給され、変調部 12 に電圧値 $V_{c2}(0)$ のバイアス電圧 V_{c2} が供給され、変調部 15 に電圧値 $V_p(0)$ のバイアス電圧 V_p が供給される。さらに、制御部 34 は、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p が初期値のときのモニタ値 $p(0)$ を取得し、ピーク値 p_{max} の初期値（仮の候補値）を取得したモニタ値 $p(0)$ に設定するとともに、第 1 電圧値 V_1 の初期値（仮の候補値）を電圧値 $V_{c1}(0)$ に設定する。

【0073】

続いて、制御部 34 は変数 k をインクリメントする（ステップ S12）。つまり、制御部 34 は変数 k に 1 を加算する。そして、制御部 34 はバイアス電圧 V_{c1} を電圧値 $V_{c1}(k)$ に設定する（ステップ S13）。具体的には、制御部 34 は、電圧値 $V_{c1}(k)$ に対応する設定値を DAC35 に出力する。このとき、制御部 34 は、電圧値 $V_{c2}(0)$ 、 $V_p(0)$ をそのまま維持する。このため、変調部 11 に電圧値 $V_{c1}(k)$ のバイアス電圧 V_{c1} が供給され、変調部 12 に電圧値 $V_{c2}(0)$ のバイアス電圧 V_{c2} が供給され、変調部 15 に電圧値 $V_p(0)$ のバイアス電圧 V_p が供給される。

【0074】

続いて、制御部 34 はモニタ値 $p(k)$ を取得する（ステップ S14）。そして、制御部 34 はステップ S14 で取得したモニタ値 $p(k)$ が、ピーク値 p_{max} よりも大きいかどうかを判断する（ステップ S15）。モニタ値 $p(k)$ がピーク値 p_{max} よりも大きいと判断された場合（ステップ S15；Yes）、制御部 34 は、ピーク値 p_{max} をモニタ値 $p(k)$ に更新する（ステップ S16）。そして、制御部 34 は、第 1 電圧値 V_1 を電圧値 $V_{c1}(k)$ に更新する（ステップ S17）。これにより、モニタ値 $p(k)$ がピーク値 p_{max} よりも大きくなったときの電圧値 $V_{c1}(k)$ が記録される。一方、ステップ S15 において、モニタ値 $p(k)$ がピーク値 p_{max} 以下であると判断された場合（ステップ S15；No）、制御部 34 は、ピーク値 p_{max} 及び第 1 電圧値 V_1 の更新を行わない。

【0075】

続いて、制御部 34 は、変数 k が N よりも小さいかどうかを判断する（ステップ S18）。変数 k が N よりも小さいと判断された場合（ステップ S18；Yes）、制御部 34 はステップ S12 からステップ S18 までの処理を再び行う。一方、ステップ S18 において、変数 k が N 以上であると判断された場合（ステップ S18；No）、制御部 34 は第 1 電圧値取得処理を終了する。制御部 34 は、第 1 電圧値取得処理において、バイアス電圧 V_{c2} 及びバイアス電圧 V_p の電圧値を一定に保ったままバイアス電圧 V_{c1} を $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲（第 1 範囲）で変化させることによって、モニタ光の平均パワーが最大となる第 1 電圧値 V_1 を取得する。

【0076】

10

20

30

40

50

続いて、制御部34は、第2電圧値 V_2 を取得する第2電圧値取得処理を行う(ステップS02)。ここで、第2電圧値 V_2 とは、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_p の電圧値を一定に保ったままバイアス電圧 V_{c2} を変更した場合に、モニタ光の平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_{c2} の電圧値である。制御部34は、変調部11に駆動信号 V_{d1} が供給されていると共に変調部12に駆動信号 V_{d2} が供給されている状態(駆動状態)で、第2電圧値取得処理を行う。なお、第2電圧値取得処理は、電圧値を変更する対象がバイアス電圧 V_{c2} である点を除き第1電圧値取得処理と同様に行われるので、第2電圧値取得処理を示すフローチャートは省略されている。

【0077】

第2電圧値取得処理では、まず制御部34は初期設定を行う。具体的には、制御部34は、変数 k を0に設定し、バイアス電圧 V_{c1} を第1電圧値 V_1 に設定し、バイアス電圧 V_{c2} を電圧値 $V_{c2}(0)$ に設定し、バイアス電圧 V_p を電圧値 $V_p(0)$ に設定する。このとき、変調部11に第1電圧値 V_1 のバイアス電圧 V_{c1} が供給され、変調部12に電圧値 $V_{c2}(0)$ のバイアス電圧 V_{c2} が供給され、変調部15に電圧値 $V_p(0)$ のバイアス電圧 V_p が供給される。そして、制御部34は、モニタ値 $p(0)$ を取得し、ピーク値 p_{max} の初期値(仮の候補値)を取得したモニタ値 $p(0)$ に設定するとともに、第2電圧値 V_2 の初期値(仮の候補値)を電圧値 $V_{c2}(0)$ に設定する。

【0078】

続いて、制御部34は変数 k をインクリメントする(変数 k に1を加算する)。そして、制御部34はバイアス電圧 V_{c2} を電圧値 $V_{c2}(k)$ に設定する。具体的には、制御部34は、電圧値 $V_{c2}(k)$ に対応する設定値をDAC35に出力する。このとき、変調部11に第1電圧値 V_1 のバイアス電圧 V_{c1} が供給され、変調部12に電圧値 $V_{c2}(k)$ のバイアス電圧 V_{c2} が供給され、変調部15に電圧値 $V_p(0)$ のバイアス電圧 V_p が供給される。

【0079】

続いて、制御部34はモニタ値 $p(k)$ を取得する。そして、制御部34は、取得したモニタ値 $p(k)$ がピーク値 p_{max} よりも大きいかどうかを判断する。モニタ値 $p(k)$ がピーク値 p_{max} よりも大きいと判断された場合、制御部34はピーク値 p_{max} をモニタ値 $p(k)$ に更新し、第2電圧値 V_2 を電圧値 $V_{c2}(k)$ に更新する。一方、モニタ値 $p(k)$ がピーク値 p_{max} 以下であると判断された場合、制御部34はピーク値 p_{max} 及び第2電圧値 V_2 の更新を行わない。

【0080】

続いて、制御部34は変数 k が N よりも小さいかどうかを判断する。変数 k が N よりも小さいと判断された場合、制御部34は、初期設定を除く上述の処理を再び行う。一方、変数 k が N 以上であると判断された場合、制御部34は第2電圧値取得処理を終了する。制御部34は第2電圧値取得処理において、バイアス電圧 V_{c1} 及びバイアス電圧 V_p の電圧値を一定に保ったままバイアス電圧 V_{c2} を $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲(第2範囲)で変化させることによって、モニタ光の平均パワーが最大となる第2電圧値 V_2 を取得する。

【0081】

続いて、制御部34は、第3電圧値 V_3 を取得する第3電圧値取得処理を行う(ステップS03)。ここで、第3電圧値 V_3 とは、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} の電圧値を一定に保ったままバイアス電圧 V_p を変更した場合に、モニタ光の平均パワーが最大となるバイアス電圧 V_p の電圧値である。制御部34は、変調部11に駆動信号 V_{d1} が供給されていると共に変調部12に駆動信号 V_{d2} が供給されている状態(駆動状態)で、第3電圧値取得処理を行う。なお、第3電圧値取得処理は、電圧値を変更する対象がバイアス電圧 V_p である点を除き第1電圧値取得処理と同様に行われるので、第3電圧値取得処理を示すフローチャートは省略されている。

【0082】

第3電圧値取得処理では、まず制御部34は初期設定を行う。具体的には、制御部34

10

20

30

40

50

は、変数 k を 0 に設定し、バイアス電圧 V_{c1} を第 1 電圧値 V_1 に設定し、バイアス電圧 V_{c2} を第 2 電圧値 V_2 に設定し、バイアス電圧 V_p を電圧値 $V_p(0)$ に設定する。このとき、変調部 11 に第 1 電圧値 V_1 のバイアス電圧 V_{c1} が供給され、変調部 12 に第 2 電圧値 V_2 のバイアス電圧 V_{c2} が供給され、変調部 15 に電圧値 $V_p(0)$ のバイアス電圧 V_p が供給される。そして、制御部 34 は、モニタ値 $p(0)$ を取得し、ピーク値 p_{max} の初期値（仮の候補値）を取得したモニタ値 $p(0)$ に設定するとともに、第 3 電圧値 V_3 の初期値（仮の候補値）を電圧値 $V_p(0)$ に設定する。

【0083】

続いて、制御部 34 は変数 k をインクリメントする（変数 k に 1 を加算する）。そして、制御部 34 はバイアス電圧 V_p を電圧値 $V_p(k)$ に設定する。具体的には、制御部 34 は、電圧値 $V_p(k)$ に対応する設定値を DAC35 に出力する。このとき、変調部 11 に第 1 電圧値 V_1 のバイアス電圧 V_{c1} が供給され、変調部 12 に第 2 電圧値 V_2 のバイアス電圧 V_{c2} が供給され、変調部 15 に電圧値 $V_p(k)$ のバイアス電圧 V_p が供給される。

10

【0084】

続いて、制御部 34 はモニタ値 $p(k)$ を取得する。そして、制御部 34 は、取得したモニタ値 $p(k)$ がピーク値 p_{max} よりも大きいかどうかを判断する。モニタ値 $p(k)$ がピーク値 p_{max} よりも大きいと判断された場合、制御部 34 はピーク値 p_{max} をモニタ値 $p(k)$ に更新し、第 3 電圧値 V_3 を電圧値 $V_p(k)$ に更新する。一方、モニタ値 $p(k)$ がピーク値 p_{max} 以下であると判断された場合、制御部 34 はピーク値 p_{max} 及び第 3 電圧値 V_3 の更新を行わない。

20

【0085】

続いて、制御部 34 は変数 k が N よりも小さいかどうかを判断する。変数 k が N よりも小さいと判断された場合、制御部 34 は、初期設定を除く上述の処理を再び行う。一方、変数 k が N 以上であると判断された場合、制御部 34 は第 3 電圧値取得処理を終了する。制御部 34 は、第 3 電圧値取得処理において、バイアス電圧 V_{c1} 及びバイアス電圧 V_{c2} の電圧値を一定に保ったままバイアス電圧 V_p を 0 から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲（第 3 範囲）で変化させることによって、モニタ光の平均パワーが最大となる第 3 電圧値 V_3 を取得する。

【0086】

続いて、制御部 34 は最適値決定処理を行う（ステップ S04）。ステップ S04 では、まず制御部 34 は、第 1 電圧値 V_1 に基づきバイアス電圧 V_{c1} の最適な電圧値 V_{c1o} を決定する。具体的には、制御部 34 は、第 1 電圧値 V_1 に対して半波長電圧値 V_{pi} を加算又は減算することで、電圧値 V_{c1o} を決定する。制御部 34 は、第 1 電圧値 V_1 の値に応じて、半波長電圧値 V_{pi} の加算及び減算のどちらを行うかを選択する。

30

【0087】

電圧値 V_{c1o} の決定方法をより具体的に説明すると、図 10 に示されるように、制御部 34 は、第 1 電圧値 V_1 が 0 よりも小さい（負数）かどうかを判断する（ステップ S41）。第 1 電圧値 V_1 が 0 よりも小さいと判断された場合（ステップ S41；Yes）、制御部 34 は、式（1）によりバイアス電圧 V_{c1} の最適な電圧値 V_{c1o} を決定する（ステップ S42）。ステップ S42 では、制御部 34 は、第 1 電圧値 V_1 に半波長電圧値 V_{pi} を加算することで電圧値 V_{c1o} を決定する。一方、ステップ S41 において、第 1 電圧値 V_1 が 0 以上（0 又は正数）であると判断された場合（ステップ S41；No）、制御部 34 は、式（2）により電圧値 V_{c1o} を決定する（ステップ S43）。ステップ S43 では、制御部 34 は、第 1 電圧値 V_1 から半波長電圧値 V_{pi} を減算することで電圧値 V_{c1o} を決定する。

40

$$V_{c1o} = V_1 + V_{pi} \dots (1)$$

$$V_{c1o} = V_1 - V_{pi} \dots (2)$$

【0088】

続いて、制御部 34 は、第 2 電圧値 V_2 に基づきバイアス電圧 V_{c2} の最適な電圧値 V

50

c 2 oを決定する。具体的には、制御部 3 4 は、第 2 電圧値 V 2 に対して半波長電圧値 V p i を加算又は減算することで、電圧値 V c 2 o を決定する。制御部 3 4 は、第 2 電圧値 V 2 の値に応じて、半波長電圧値 V p i の加算及び減算のどちらを行うかを選択する。

【 0 0 8 9 】

電圧値 V c 2 o の決定方法をより具体的に説明すると、制御部 3 4 は、第 2 電圧値 V 2 が 0 よりも小さい（負数）かどうかを判断する（ステップ S 4 4）。第 2 電圧値 V 2 が 0 よりも小さいと判断された場合（ステップ S 4 4 ; Y e s）、制御部 3 4 は、式（ 3 ）によりバイアス電圧 V c 2 の最適な電圧値 V c 2 o を決定する（ステップ S 4 5）。ステップ S 4 5 では、制御部 3 4 は、第 2 電圧値 V 2 に半波長電圧値 V p i を加算することで電圧値 V c 2 o を決定する。一方、ステップ S 4 4 において、第 2 電圧値 V 2 が 0 以上（ 0 又は正数）であると判断された場合（ステップ S 4 4 ; N o）、制御部 3 4 は、式（ 4 ）により電圧値 V c 2 o を決定する（ステップ S 4 6）。ステップ S 4 6 では、制御部 3 4 は、第 2 電圧値 V 2 から半波長電圧値 V p i を減算することで電圧値 V c 2 o を決定する。

$$Vc2o=V2+Vpi...(3)$$

$$Vc2o=V2-Vpi...(4)$$

【 0 0 9 0 】

続いて、制御部 3 4 は、第 3 電圧値 V 3 に基づきバイアス電圧 V p の最適な電圧値 V p o を決定する。具体的には、制御部 3 4 は、第 3 電圧値 V 3 に対して半波長電圧値 V p i の半分の値を加算又は減算することで、電圧値 V p o を決定する。制御部 3 4 は、第 3 電圧値 V 3 の値に応じて、半波長電圧値 V p i の半分の値の加算及び減算のどちらを行うかを選択する。

【 0 0 9 1 】

電圧値 V p o の決定方法をより具体的に説明すると、制御部 3 4 は、第 3 電圧値 V 3 が V p i よりも小さいかどうかを判断する（ステップ S 4 7）。第 3 電圧値 V 3 が V p i よりも小さいと判断された場合（ステップ S 4 7 ; Y e s）、制御部 3 4 は、式（ 5 ）によりバイアス電圧 V p の最適な電圧値 V p o を決定する（ステップ S 4 8）。ステップ S 4 8 では、制御部 3 4 は、第 3 電圧値 V 3 に半波長電圧値 V p i の半分の値 V p i / 2 を加算することで電圧値 V p o を決定する。一方、ステップ S 4 7 において、第 3 電圧値 V 3 が V p i 以上であると判断された場合（ステップ S 4 7 ; N o）、制御部 3 4 は、式（ 6 ）により電圧値 V p o を決定する（ステップ S 4 9）。ステップ S 4 9 では、制御部 3 4 は、第 3 電圧値 V 3 から半波長電圧値 V p i の半分の値 V p i / 2 を減算することで電圧値 V p o を決定する。

$$Vpo=V3+Vpi/2...(5)$$

$$Vpo=V3-Vpi/2...(6)$$

【 0 0 9 2 】

続いて、制御部 3 4 は、バイアス電圧 V c 1 を電圧値 V c 1 o に設定し、バイアス電圧 V c 2 を電圧値 V c 2 o に設定し、バイアス電圧 V p を電圧値 V p o に設定する（ステップ S 0 5）。具体的には、制御部 3 4 は、電圧値 V c 1 o , V c 2 o , V p o に対応する設定値を D A C 3 5 に出力する。これにより、変調部 1 1 に電圧値 V c 1 o のバイアス電圧 V c 1 が供給され、変調部 1 2 に電圧値 V c 2 o のバイアス電圧 V c 2 が供給され、変調部 1 5 に電圧値 V p o のバイアス電圧 V p が供給される。その結果、各バイアス電圧 V c 1 , V c 2 , V p が最適な電圧値に調整される。そして、制御部 3 4 はバイアス電圧調整処理を終了する。

【 0 0 9 3 】

以上のバイアス電圧調整処理が制御部 3 4 によって行われることで、バイアス供給部 3 0 は、バイアス電圧 V c 2 の電圧値を電圧値 V c 2 (0) に維持するとともにバイアス電圧 V p を電圧値 V p (0) に維持したまま、バイアス電圧 V c 1 の電圧値を (- 2 × V p i) から (2 × V p i) までの範囲で変化させることによって、モニタ光の平均パワーが最大となる第 1 電圧値 V 1 を求める。バイアス供給部 3 0 は、バイアス電圧 V c 1 の電圧値を第 1 電圧値 V 1 に維持するとともにバイアス電圧 V p を電圧値 V p (0) に維持した

10

20

30

40

50

ま、バイアス電圧 V_{c2} の電圧値を $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲で変化させることによって、モニタ光の平均パワーが最大となる第 2 電圧値 V_2 を求める。バイアス供給部 30 は、バイアス電圧 V_{c1} の電圧値を第 1 電圧値 V_1 に維持するとともにバイアス電圧 V_{c2} の電圧値を第 2 電圧値 V_2 に維持したまま、バイアス電圧 V_p の電圧値を 0 から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲で変化させることによって、モニタ光の平均パワーが最大となる第 3 電圧値 V_3 を求める。

【0094】

そして、バイアス供給部 30 は、第 1 電圧値 V_1 に基づいて電圧値 V_{c1o} を決定し、第 2 電圧値 V_2 に基づいて電圧値 V_{c2o} を決定し、第 3 電圧値 V_3 に基づいて電圧値 V_{po} を決定する。なお、光変調器 20 に供給されるバイアス電圧についても、同様のバイアス電圧調整処理が行われることによって最適な電圧値に調整される。なお、光出力信号 L_4 , L_5 の平均パワーはモニタ光の平均パワーに略比例するので、モニタ光の平均パワーが最大であるとき、光出力信号 L_4 の平均パワーも最大であり、モニタ光の平均パワーが最小であるとき、光出力信号 L_4 の平均パワーも最小である。そして、第 1 電圧値 V_1 、第 2 電圧値 V_2 、及び第 3 電圧値 V_3 のそれぞれは、対応するバイアス電圧を上述の範囲で変化させた場合に、光出力信号 L_4 の平均パワーが最大となる電圧値である。

【0095】

本実施形態の光送信器 1 では、バイアス電圧 V_{c1} を変化させることによって、モニタ光の平均パワーが最大となる第 1 電圧値 V_1 が求められ、バイアス電圧 V_{c2} を変化させることによって、モニタ光の平均パワーが最大となる第 2 電圧値 V_2 が求められ、バイアス電圧 V_p を変化させることによって、モニタ光の平均パワーが最大となる第 3 電圧値 V_3 が求められる。バイアス電圧 V_{c1} の最適な電圧値は、バイアス電圧 V_p の電圧値によらず第 1 電圧値 V_1 に対して半波長電圧値 V_{pi} を加算又は減算した値であること、及びバイアス電圧 V_{c2} の最適な電圧値は、バイアス電圧 V_p の電圧値によらず第 2 電圧値 V_2 に対して半波長電圧値 V_{pi} を加算又は減算した値であることが計算結果によって見出された。さらに、変調光信号 L_{41} と変調光信号 L_{42} との位相差が 90° となるバイアス電圧 V_p の最適な電圧値は、バイアス電圧 V_{c1} 及びバイアス電圧 V_{c2} の電圧値によらず、第 3 電圧値 V_3 に対して半波長電圧値 V_{pi} の半分の値 $V_{pi}/2$ を加算又は減算した値であることが計算結果によって見出された。

【0096】

バイアス電圧調整処理では、第 1 電圧値 V_1 に対して半波長電圧値 V_{pi} を加算又は減算することで電圧値 V_{c1o} が決定され、第 2 電圧値 V_2 に対して半波長電圧値 V_{pi} を加算又は減算することで電圧値 V_{c2o} が決定され、第 3 電圧値 V_3 に対して値 $V_{pi}/2$ を加算又は減算することで電圧値 V_{po} が決定される。このため、電圧値 V_{c1o} はバイアス電圧 V_{c1} の最適な電圧値となり、電圧値 V_{c2o} はバイアス電圧 V_{c2} の最適な電圧値となり、電圧値 V_{po} はバイアス電圧 V_p の最適な電圧値となる。その結果、モニタ光の平均パワーが最小となるバイアス電圧 V_{c1} 及びバイアス電圧 V_{c2} の電圧値がバイアス電圧 V_p の電圧値に応じて変化したとしても、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} , V_p を適切に調整することができる。

【0097】

上述のバイアス電圧調整処理を用いずに、例えば、光送信器 1 の起動時に各バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} , V_p の電圧値の全ての組合せにおいてモニタ値を取得し、全ての組合せにおけるモニタ値に基づいてバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} , V_p の最適な電圧値を求める方法がある。この方法では、例えば各バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} , V_p の電圧値の変更回数を 10 回とすると (N が 10 であるとすると)、合計で約 1300 通りの電圧値の組合せでのモニタ値を取得する必要がある。仮に 1 つの電圧値の組合せにおいてモニタ値の取得が 10 ミリ秒以内に実行されるとしても、この方法は、光送信器 1 のバイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} , V_p の調整に約 13 秒を要することになる。光送信器 1 に許容される起動時間には制限があるので、この方法を採用する場合には高い処理速度を持つ制御 IC を採用する必要がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 8 】

これに対して、上記実施形態の光送信器 1 は、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p のいずれか 1 つのバイアス電圧を、残りのバイアス電圧の電圧値を一定に保った上で変更した電圧値の一部の組合せにおいてモニタ値を取得して、平均パワーが最大となる電圧値を取得する。この処理が各バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p について行われることで、各バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p が最適な電圧値に調整される。このため、例えば各バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p の変更回数を 10 回としても、合計で 33 通りの電圧値の組合せでモニタ値を取得すればよく、約 0.33 秒でバイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p の調整が終了することになる。その結果、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p を最適な電圧値に調整するのに要する時間を短縮することができる。

10

【 0 0 9 9 】

他に、上述のバイアス電圧調整処理を用いずに、光送信器 1 の起動時に一時的に駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅を変更して、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p の最適な電圧値を求める方法がある。具体的には、この方法は、光送信器 1 の起動時に駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅を半波長電圧値 V_{pi} よりも大きくし、モニタ値が最大となるバイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} の電圧値を求める。これにより、バイアス電圧 V_p の電圧値の影響がなくなる。そして、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} が求められた電圧値に維持されたまま、駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} よりも小さくされ、モニタ値が最小となるバイアス電圧 V_p の電圧値が求められる。しかしながら、この方法では、光送信器 1 が偏波多重光信号 L_6 を外部に送信する使用状態では駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} 以下であれば十分なところ、最大振幅が半波長電圧値 V_{pi} より大きい駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} を生成できる駆動部 19 が必要となる。このため、光送信器 1 での最大消費電力が大きくなり、さらに駆動部 19 における制御回路の規模が大きくなる。これに対して、上記実施形態の光送信器 1 は、駆動信号 V_{d1} 、 V_{d2} の最大振幅を変更することなく、バイアス電圧 V_{c1} 、 V_{c2} 、 V_p を最適な電圧値に調整することができる。

20

【 0 1 0 0 】

バイアス供給部 30 は、バイアス電圧 V_{c1} を半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲を有する ($-2 \times V_{pi}$) から ($2 \times V_{pi}$) までの範囲内で変化させることによって、第 1 電圧値 V_1 を求め、バイアス電圧 V_{c2} を ($-2 \times V_{pi}$) から ($2 \times V_{pi}$) までの範囲内で変化させることによって、第 2 電圧値 V_2 を求め、バイアス電圧 V_p を半波長電圧値 V_{pi} の 2 倍の範囲を有する 0 から ($2 \times V_{pi}$) までの範囲内で変化させることによって、第 3 電圧値 V_3 を求める。

30

【 0 1 0 1 】

バイアス電圧 V_{c1} 及びバイアス電圧 V_{c2} それぞれの電圧値の変化に対するモニタ光の平均パワーの変化は、最大で半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の周期にて周期性を有している。また、バイアス電圧 V_p の電圧値の変化に対するモニタ光の平均パワーの変化は、最大で半波長電圧値 V_{pi} の 2 倍の周期にて周期性を有している。このため、バイアス電圧 V_{c1} 及びバイアス電圧 V_{c2} それぞれを、半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲である ($-2 \times V_{pi}$) から ($2 \times V_{pi}$) までの範囲内で変化させれば、その範囲内に、モニタ光の平均パワーが最大となる第 1 電圧値 V_1 及び第 2 電圧値 V_2 が含まれる。また、バイアス電圧 V_p を、半波長電圧値 V_{pi} の 2 倍の範囲である 0 から ($2 \times V_{pi}$) までの範囲内で変化させれば、その範囲内に、モニタ光の平均パワーが最大となる第 3 電圧値 V_3 が含まれる。このように変化させる範囲を一定範囲に制限することにより、第 1 電圧値 V_1 、第 2 電圧値 V_2 及び第 3 電圧値 V_3 を求めるために要する時間を短縮することができる。

40

【 0 1 0 2 】

バイアス供給部 30 は、第 1 電圧値 V_1 が ($-2 \times V_{pi}$) から ($2 \times V_{pi}$) までの範囲の中央の値である 0 よりも小さい場合には、第 1 電圧値 V_1 に半波長電圧値 V_{pi} を加算することで電圧値 V_{c1o} を決定し、第 1 電圧値 V_1 が 0 以上である場合には、第 1 電圧値 V_1 から半波長電圧値 V_{pi} を減算することで電圧値 V_{c1o} を決定する。この場

50

合、電圧値 V_{c1o} は、 $-V_{pi}$ から V_{pi} までの範囲内に含まれる。その結果、電圧値 V_{c1o} の絶対値を小さくすることができるので、バイアス電圧 V_{c1} を容易に生成することができる。

【0103】

バイアス供給部 30 は、第 2 電圧値 V_2 が $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲の中央の値である 0 よりも小さい場合には、第 2 電圧値 V_2 に半波長電圧値 V_{pi} を加算することで電圧値 V_{c2o} を決定し、第 2 電圧値 V_2 が 0 以上である場合には、第 2 電圧値 V_2 から半波長電圧値 V_{pi} を減算することで電圧値 V_{c2o} を決定する。これにより、電圧値 V_{c2o} は、 $-V_{pi}$ から V_{pi} までの範囲内に含まれる。その結果、電圧値 V_{c2o} の絶対値を小さくすることができるので、バイアス電圧 V_{c2} を容易に生成することができる。

10

【0104】

バイアス供給部 30 は、第 3 電圧値 V_3 が 0 から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲の中央の値である半波長電圧値 V_{pi} よりも小さい場合には、第 3 電圧値 V_3 に半波長電圧値 V_{pi} の半分の値 $V_{pi}/2$ を加算することで電圧値 V_{po} を決定し、第 3 電圧値 V_3 が半波長電圧値 V_{pi} 以上である場合には、第 3 電圧値 V_3 から半波長電圧値 V_{pi} の半分の値 $V_{pi}/2$ を減算することで電圧値 V_{po} を決定する。これにより、電圧値 V_{po} は、 $V_{pi}/2$ から $(3 \times V_{pi}/2)$ までの範囲内に含まれる。その結果、電圧値が 0 から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲に含まれる場合に比べて電圧値 V_{po} の絶対値を小さくすることができるので、バイアス電圧 V_p を容易に生成することができる。

20

【0105】

検出部 17, 27 は、光出力信号 L_4, L_5 の一部であるモニタ光のパワーを検出することによって、光出力信号 L_4, L_5 のパワーを検出する。モニタ光は光出力信号 L_4, L_5 の一部であるので、光出力信号 L_4, L_5 のパワーは、モニタ光のパワーに略比例する。すなわち、モニタ光のパワーを検出することで、光出力信号 L_4, L_5 のパワーを検出することができる。このため、上記構成では、光出力信号 L_4, L_5 のパワーを容易に検出することができる。

【0106】

なお、本発明に係る光送信器及び光送信器の制御方法は上記実施形態に限定されない。

【0107】

上記実施形態では、制御部 34 は、第 1 電圧値 V_1 、第 2 電圧値 V_2 及び第 3 電圧値 V_3 を、この順で取得したが、いずれの順で取得してもよい。また、最適値決定処理において、上述の例では、第 1 電圧値 V_1 及び第 2 電圧値 V_2 のそれぞれについて、負数であるか、あるいは、0 又は正数であるか、の判断条件の判断結果に応じて電圧値 V_{c1o} 及び電圧値 V_{c2o} が決定される。この判断条件に代えて、第 1 電圧値 V_1 及び第 2 電圧値 V_2 のそれぞれについて、負数又は 0 であるか、あるいは、正数であるか、の判断条件が用いられ、その判断結果に応じて電圧値 V_{c1o} 及び電圧値 V_{c2o} が決定されてもよい。そのように 0 を負数の場合と正数の場合のどちらに含めるかによって、電圧値 V_{c1o} (電圧値 V_{c2o}) の値は、例えば第 1 電圧値 V_1 (第 2 電圧値 V_2) を 0 とした場合に、 $-V_{pi}$ 又は $+V_{pi}$ に決定される。例えば、電圧値 V_{c1o} の値を $-V_{pi}$ に設定したときに光信号の位相が -180° ずれた状態になるとした場合、電圧値 V_{c1o} の値を $+V_{pi}$ に設定したときには光信号の位相が $+180^\circ$ ずれた状態となる。光信号の位相が -180° ずれた状態も光信号の位相が $+180^\circ$ ずれた状態も位相の状態としては互いに同じであり、いずれの場合においてもバイアス電圧 V_{c1} を最適値に設定することができる。

30

40

【0108】

制御部 34 は、第 1 電圧値 V_1 及び第 2 電圧値 V_2 を取得するために、バイアス電圧 V_{c1}, V_{c2} を $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲で変化させているが、電圧値の変化範囲はこれに限られない。バイアス電圧 V_{c1} の電圧値の変化範囲は、半波長電圧値 V_{pi} の 4 倍の範囲であればよく、バイアス電圧 V_{c2} の電圧値の変化範囲は、半

50

波長電圧値 V_{pi} の4倍の範囲であればよい。例えば、制御部34は、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} を0から $(4 \times V_{pi})$ までの範囲で変化させてもよい。バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} を変化させる範囲は、互いに異なってもよい。例えば、制御部34は、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} のいずれか一方を $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲で変化させ、他方を0から $(4 \times V_{pi})$ までの範囲で変化させてもよい。なお、バイアス電圧 V_{c1} , V_{c2} の電圧値の変化範囲は、半波長電圧値 V_{pi} の4倍の範囲よりも大きい範囲であってもよい。

【0109】

制御部34は、第3電圧値 V_3 を取得するために、バイアス電圧 V_p の値を0から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲で変化させているが、電圧値の変化範囲はこれに限られない。バイアス電圧 V_p の電圧値の変化範囲は、半波長電圧値 V_{pi} の2倍の範囲であればよい。例えば、制御部34は、バイアス電圧 V_p を $-V_{pi}$ から V_{pi} の範囲で変化させてもよい。なお、バイアス電圧 V_p の電圧値の変化範囲は、半波長電圧値 V_{pi} の2倍の範囲よりも大きい範囲であってもよい。

【0110】

制御部34は、半波長電圧値 V_{pi} の加算を行うことで、電圧値 V_{c1o} が $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲に含まれるように電圧値 V_{c1o} を算出してもよい。制御部34は、半波長電圧値 V_{pi} の減算を行うことで、電圧値 V_{c1o} が $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲に含まれるように電圧値 V_{c1o} を算出してもよい。例えば、制御部34は、第1電圧値 V_1 が $-2V_{pi}$ から $-V_{pi}$ までの範囲に含まれる場合に、第1電圧値 V_1 に半波長電圧値 V_{pi} を加算し、第1電圧値 V_1 が V_{pi} から $2V_{pi}$ までの範囲に含まれる場合に、第1電圧値 V_1 から半波長電圧値 V_{pi} を減算してもよい。この際、制御部34は、第1電圧値 V_1 が $-V_{pi}$ よりも大きく、 V_{pi} よりも小さい範囲に含まれる場合には、第1電圧値 V_1 に対して、半波長電圧値 V_{pi} の加算及び減算のいずれを行ってもよい。同様に、制御部34は、半波長電圧値 V_{pi} の加算又は減算のいずれか一方を行うことで、電圧値 V_{c2o} が $(-2 \times V_{pi})$ から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲に含まれるように電圧値 V_{c2o} を算出してもよい。また、制御部34は、半波長電圧値 V_{pi} の半分の値の加算又は減算のいずれか一方を行うことで、電圧値 V_{c3o} が0から $(2 \times V_{pi})$ までの範囲に含まれるように電圧値 V_{c3o} を算出してもよい。

【0111】

制御部34は、第1電圧値 V_1 の値によらず、第1電圧値 V_1 に半波長電圧値 V_{pi} を加算することで電圧値 V_{c1o} を算出してもよく、第1電圧値 V_1 から半波長電圧値 V_{pi} を減算することで電圧値 V_{c1o} を算出してもよい。バイアス電圧 V_{c1} の電圧値と、駆動信号がハイレベルであるときの変調光信号 L_{41} の位相差との関係は、半波長電圧値 V_{pi} で周期的に変化するので、半波長電圧値 V_{pi} の加算及び減算のいずれが行われても当該位相差が 180° である変調光信号 L_{41} が得られる。同様に、制御部34は、第2電圧値 V_2 の値によらず、第2電圧値 V_2 に半波長電圧値 V_{pi} を加算することで電圧値 V_{c2o} を算出してもよく、第2電圧値 V_2 から半波長電圧値 V_{pi} を減算することで電圧値 V_{c2o} を算出してもよい。

【0112】

制御部34は、第3電圧値 V_3 の値によらず、第3電圧値 V_3 に値 $V_{pi}/2$ を加算することで電圧値 V_{c3o} を算出してもよく、第1電圧値 V_1 から値 $V_{pi}/2$ を減算することで電圧値 V_{c3o} を算出してもよい。バイアス電圧 V_p に対して半波長電圧値 V_{pi} の半分の値 $V_{pi}/2$ が加算されることで、変調光信号 L_{41} 及び変調光信号 L_{42} のいずれか一方の位相が他方の位相に対して 90° 進み、減算されることで変調光信号 L_{41} 及び変調光信号 L_{42} のいずれか一方の位相が他方の位相に対して 90° 遅れる。また、変調光信号 L_{41} は、位相差が 0° である場合と 180° である場合との2つの位相状態を有する。変調光信号 L_{42} は、位相差が 0° である場合と 180° である場合との2つの位相状態を有する。このため、いずれの場合でも、 90° 間隔で割り当てられた4つの位

10

20

30

40

50

相状態を有する Q P S K 変調された光出力信号 L 4 が得られる。

【 0 1 1 3 】

制御部 3 4 は、光送信器 1 の起動時にバイアス電圧調整処理を行ったが、光送信器 1 の製造時においてバイアス電圧調整処理を行ってもよく、光送信器 1 が偏波多重光信号 L 6 を外部に出力し続ける間の使用状態においてバイアス電圧 V c 1 , V c 2 , V p の電圧値の自動調整としてバイアス電圧調整処理を行ってもよい。なお、光送信器 1 の起動時にバイアス電圧調整処理が行われ、光送信器 1 の使用状態においては、バイアス電圧 V p の電圧値が維持されたまま、モニタ光の平均パワーが最小となるようにバイアス電圧 V c 1 , V c 2 の電圧値が自動的に調整されてもよい。

【 0 1 1 4 】

また、上記実施形態では、モニタ光のパワーを検出してモニタ光のパワーと光出力信号 L 4 のパワーとの関係に基づいて光出力信号 L 4 のパワーが検出される。光出力信号 L 4 のパワーの検出方法はこれに限られず、例えば、光変調器 2 0 から光出力信号 L 5 が出力されない状態（あるいは、パワーがほぼゼロとみなせる状態）に設定され、光送信器 1 の外部において例えばパワーメータ等を用いて偏波多重光信号 L 6 のパワーが検出されてもよい。このときに、偏波多重光信号 L 6 は光出力信号 L 5 を含んでいないので、偏波多重光信号 L 6 のパワーは光出力信号 L 4 のパワーに略等しいとして扱うことができる。このように、光出力信号 L 5 が出力されない状態での偏波多重光信号 L 6 のパワーを検出することで、光出力信号 L 4 のパワーが検出されてもよい。そのようにして求めた光出力信号 L 4 のパワーを用いて上述の方法によって各バイアスの調整を行ってもよい。例えば、光変調器 2 0 への駆動信号の供給を停止させて変調部 2 1 , 2 2 , 2 5 の各バイアス電圧をそれぞれ半波長電圧値に設定することで光出力信号 L 5 が実質的に出力されない状態とすることができる。

【 符号の説明 】

【 0 1 1 5 】

1 ... 光送信器、 1 0 , 2 0 ... 光変調器、 1 1 , 1 2 , 1 5 , 2 1 , 2 2 , 2 5 ... 変調部、 1 7 , 2 7 ... 検出部、 1 9 ... 駆動部、 3 0 ... バイアス供給部、 3 4 ... 制御部。

10

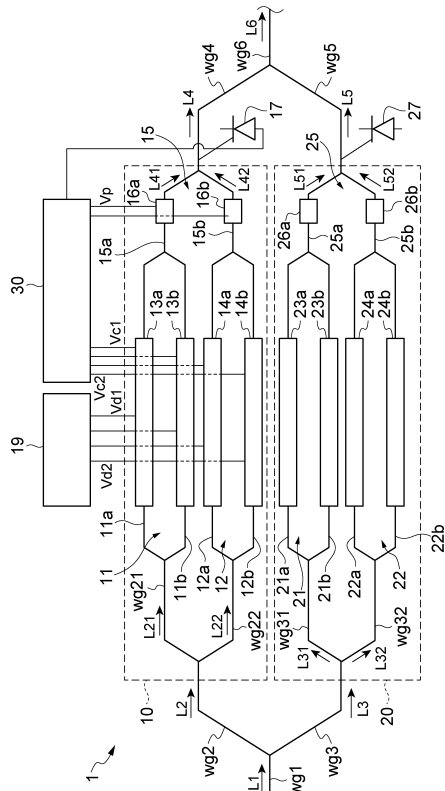
20

30

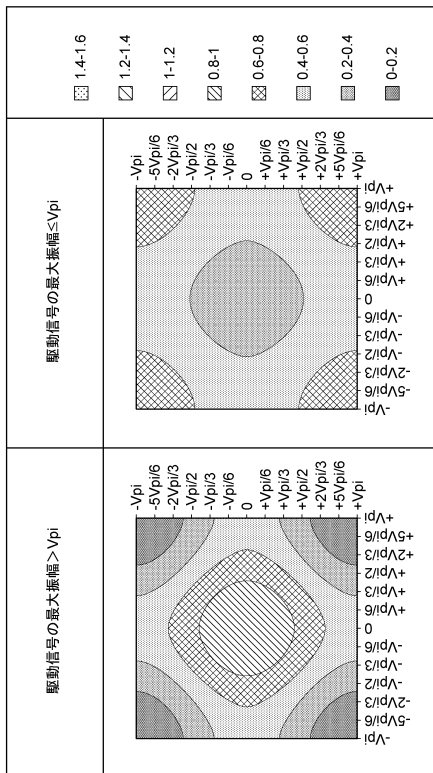
40

50

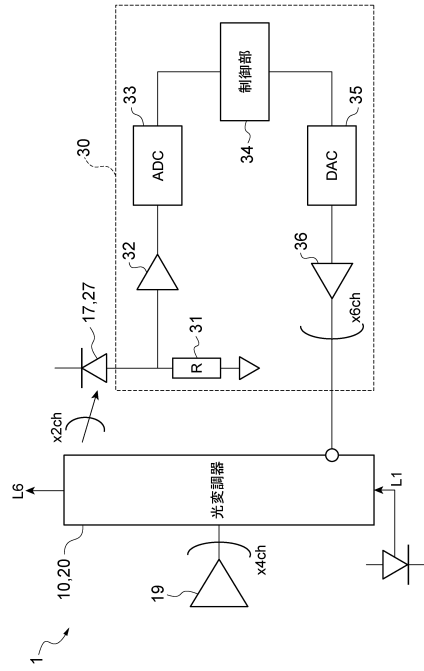
【図面】
【図 1】



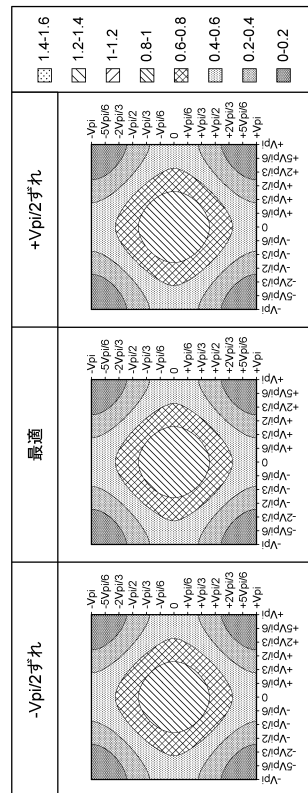
【図 3】



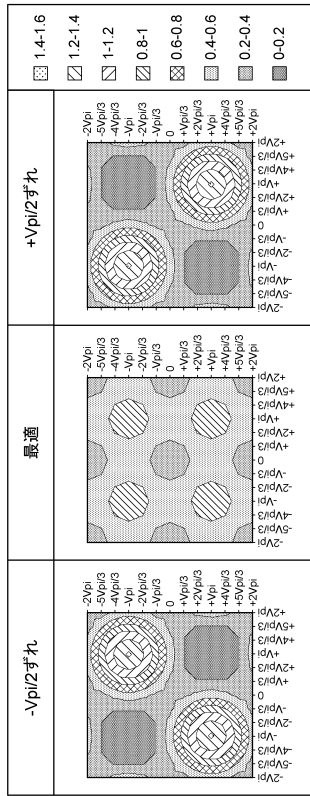
【図 2】



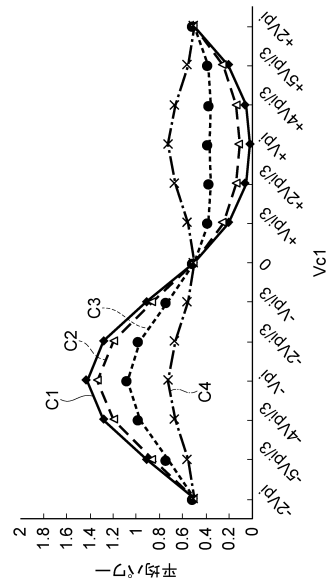
【図 4】



【図5】



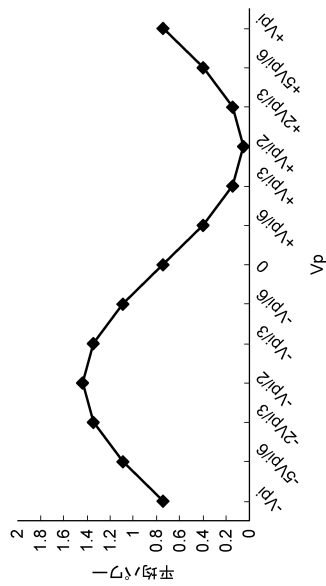
【図6】



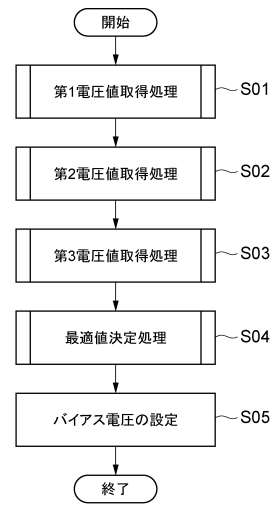
10

20

【図7】



【図8】

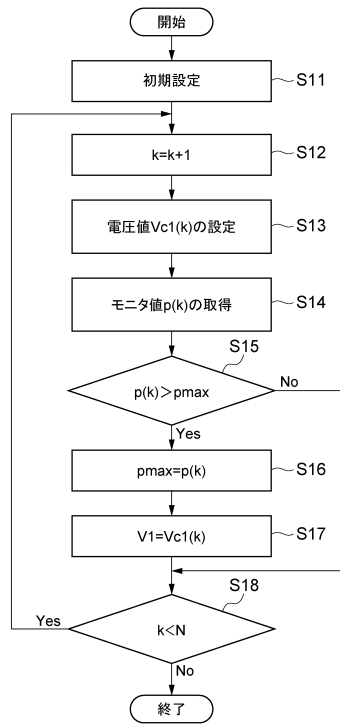


30

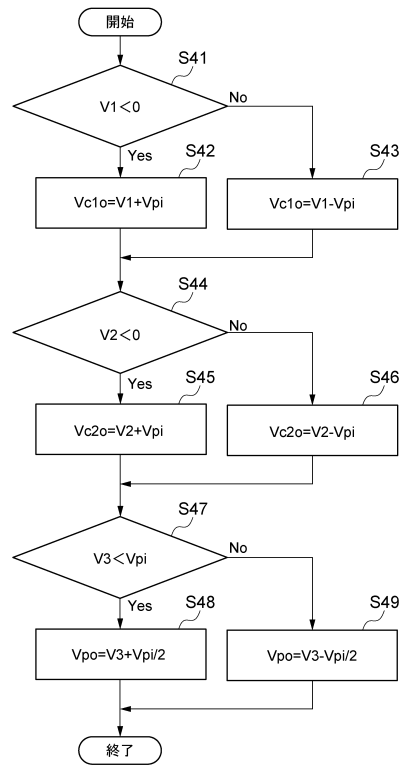
40

50

【図 9】



【図 10】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内

審査官 坂上 大貴

- (56)参考文献 国際公開第2017/082349 (WO, A1)
国際公開第2007/116475 (WO, A1)
米国特許第9184834 (US, B1)
特開2008-92172 (JP, A)
特開2014-240889 (JP, A)
特開2008-039809 (JP, A)
特開2016-149685 (JP, A)
北村崇光, 井上尚子, 八木英樹, 河野直哉, 小林宏彦, 木村大資, 堀野和彦, 藤井康祐, 関守弘, 米田昌博, 小路 元, 大口径ウェハプロセスにより作製したInP系多値変調素子, 2013年 第74回応用物理学会秋季学術講演会 [講演予稿集] Extended Abstracts of the 74th Autumn Meeting, 2013, 公益社団法人応用物理学会 The Japan Society of Applied Physics
Xiaolei Li et al., Modulation-format-free and automatic bias control for optical IQ modulators based on dither-correlation detection, Optics Express, 米国, OSA, 2017年04月12日, vol.25, no.8, pp.9333-9345
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02F 1/00 - 1/125
G02F 1/21 - 7/00
H04B 10/00 - 10/90
H04J 14/00 - 14/08
OPTICA