

(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2012-222733

(P2012-222733A)

(43) 公開日 平成24年11月12日(2012.11.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4B 10/18 (2006.01)	HO4B 9/00 M	5K102
HO4B 10/02 (2006.01)	HO4B 9/00 F	
HO4J 14/06 (2006.01)	HO4B 9/00 L	
HO4J 14/04 (2006.01)		
HO4J 14/00 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 38 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2011-89131 (P2011-89131)  
 (22) 出願日 平成23年4月13日 (2011.4.13)

(71) 出願人 000005223  
 富士通株式会社  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
 (74) 代理人 100074099  
 弁理士 大菅 義之  
 (74) 代理人 100133570  
 弁理士 ▲徳▼永 民雄  
 (72) 発明者 田中 俊毅  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内  
 (72) 発明者 西原 真人  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スキュー低減方法および光伝送システム

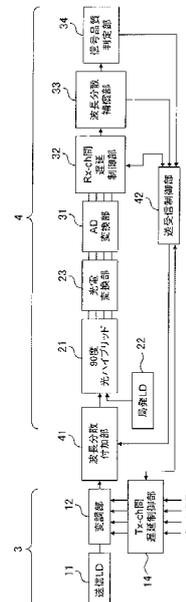
(57) 【要約】

【課題】 光送信器内および光受信器内のスキューを個々に低減する方法を提供する。

【解決手段】 スキュー低減方法は、第1のチャネルおよび第2のチャネルを含む光信号を送信する送信器および光信号を受信する受信器を有する光伝送システムにおいて、第1のチャネルと第2のチャネルとの間のスキューを低減する。光信号に付加される分散を所定量よりも大きくする。受信器においてモニタされる光信号の品質に基づいて、受信器内での第1のチャネルと第2のチャネルの間のスキューが低減するように、受信器内で第1のチャネルまたは第2のチャネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する。上記光信号の品質に基づいて、送信器内での第1のチャネルと第2のチャネルの間のスキューが低減するように、送信器内で第1のチャネルまたは第2のチャネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する。

【選択図】 図6

第1の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

第 1 のチャンネルおよび第 2 のチャンネルを含む光信号を送信する送信器および前記光信号を受信する受信器を有する光伝送システムにおいて、前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルとの間のスキューを低減する方法であって、

前記光信号に付加される分散を所定量よりも大きくし、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御し、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する、ことを特徴とするスキュー低減方法。

10

**【請求項 2】**

前記所定量は、前記光信号の品質を最適化するために前記受信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方を制御する遅延時間が、前記送信器内のスキューに実質的に依存しなくなる分散量である

ことを特徴とする請求項 1 に記載のスキュー低減方法。

**【請求項 3】**

第 1 のチャンネルおよび第 2 のチャンネルを含む光信号を送信する送信器および前記光信号を受信する受信器を有する光伝送システムにおいて、前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルとの間のスキューを低減する方法であって、

前記光信号を伝送するためのキャリア光と前記受信器において前記光信号を受信するために使用される局発光との間の光周波数オフセットを所定量よりも大きくし、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御し、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する、ことを特徴とするスキュー低減方法。

20

30

**【請求項 4】**

第 1 のチャンネルおよび第 2 のチャンネルを含む光信号を送信する送信器および前記光信号を受信する受信器を有する光伝送システムにおいて、前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルとの間のスキューを低減する方法であって、

前記光信号を伝送するためのキャリア光の光位相と前記受信器において前記光信号を受信するために使用される局発光の光位相との差を所定量に制御し、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御し、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する、ことを特徴とするスキュー低減方法。

40

**【請求項 5】**

第 1 のチャンネルおよび第 2 のチャンネルを含む光信号を送信する送信器または前記光信号を受信する受信器の少なくとも一方において、前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルとの間のスキューを低減する方法であって、

前記光信号に付加される分散を所定量よりも大きくし、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記

50

第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する第 1 の制御、または、前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する第 2 の制御、の少なくとも一方を行う、

ことを特徴とするスキュー低減方法。

【請求項 6】

第 1 のチャンネルおよび第 2 のチャンネルを含む光信号を送信する送信器および前記光信号を受信する受信器を有する光伝送システムであって、

10

前記光信号に分散を付加する分散付加器と、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御すると共に、前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御するコントローラと、

を備えることを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、光伝送システムにおいてチャンネル間のスキューを低減する技術に係わる。

【背景技術】

【0002】

近年、光伝送システムの大容量化および長距離伝送を実現するために、デジタルコヒーレント受信方式の開発が進められている。デジタルコヒーレント受信を実現するデジタルコヒーレント受信器は、光フロントエンド回路およびデジタル信号処理器を有する。光フロントエンド回路は、局発光源により生成される局発光を利用して、変調光信号を表すデジタル信号を生成する。このデジタル信号は、偏波毎に、複数のチャンネル（変調光信号の I 成分および Q 成分を表す I 信号および Q 信号）を含む。デジタル信号処理器は、光フロントエンド回路により生成されるデジタル信号（すなわち、I 信号および Q 信号）からデータを再生する。このとき、デジタル信号処理器は、位相再生、分散補償などを行うことができる。

30

【0003】

上述のようなデジタルコヒーレント受信器において、デジタル信号処理器に入力される各チャンネルのデジタル信号間にスキュー（遅延時間差）が生じることがある。このスキューは、例えば、光フロントエンド回路とデジタル信号処理器との間の信号線の長さのばらつき、各チャンネルに対して設けられるアンプの特性のばらつき等に起因する。そして、スキューは、デジタル信号処理器により再生される信号の品質に影響を及ぼすことがある。

40

【0004】

このため、従来より、スキューを補償する信号処理装置が提案されている。提案されている信号処理装置は、位相制御部から出力される同相信号および直交信号の間に残存するスキューを検出するスキュー検出部と、スキュー検出部でのスキューの検出結果を用いて位相制御部での制御量を決定して位相制御部に出力する制御量決定部を備える。（たとえば、特許文献 1）

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

50

【特許文献1】特開2010-193204号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

デジタルコヒーレント技術を利用する光伝送システムにおいて、周波数利用効率をさらに高めるために、多値変調の多値度を増やす技術、或いはOFDMを適用する技術などが検討されている。そして、これらの技術を適用して良好な伝送品質を確保するために、送信器および受信器に実装されるレーザの品質の向上が図られている。例えば、レーザの周波数変動、位相雑音、線幅が改善されてきている。

【0007】

ところが、レーザの品質が向上すると、伝送システム全体の特性のばらつきが顕在化することがある。例えば、光送信器および光受信器においてそれぞれスキューが生じているものとする。また、光送信器および光受信器に実装されているレーザの周波数と位相が互いにほぼ一致する場合に、光伝送システムの動作条件によっては、光送信器内のスキューおよび光受信器内のスキューが、累積することもある。

10

【0008】

このため、例えば、光送信器および光受信器の組合せを変更したとき、或いはシステム条件（レーザの中心周波数の揺らぎ等）が変化したときには、最適なスキュー補償量が変化してしまう。この結果、光伝送システム全体の特性が劣化することがある。

20

【0009】

本発明の課題は、光伝送システムにおける光送信器内のスキューおよび光受信器内のスキューを個々に検出および/または低減する方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の1つの態様のスキュー低減方法は、第1のチャンネルおよび第2のチャンネルを含む光信号を送信する送信器および前記光信号を受信する受信器を有する光伝送システムにおいて、前記第1のチャンネルと前記第2のチャンネルとの間のスキューを低減する。このスキュー低減方法は、前記光信号に付加される分散を所定量よりも大きくし、前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第1のチャンネルと前記第2のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第1のチャンネルまたは前記第2のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御し、前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第1のチャンネルと前記第2のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第1のチャンネルまたは前記第2のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する。

30

【発明の効果】

【0011】

上述の態様によれば、光伝送システムにおける光送信器内のスキューおよび光受信器内のスキューを個々に検出および/または低減することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0012】

【図1】実施形態の光伝送システムの構成を示す図である。

【図2】送信器の一例の構成を示す図である。

【図3】受信器の一例の構成を示す図である。

【図4】スキュー、波長分散、Q値の関係を示す図である。

【図5】T×スキュー、R×スキュー、スキュー補償量の関係を示す図である。

【図6】第1の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図7】第1の実施形態のスキュー低減方法を示すフローチャートである。

【図8】第1の実施形態のスキュー低減方法の効果を示す図である。

50

【図 9】第 2 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 10】スキュー、偏波モード分散、Q 値の関係を示す図である。

【図 11】偏波モード分散に対して、Tx スキュー、Rx スキュー、スキュー補償量の関係を示す図である。

【図 12】第 3 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 13】第 4 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 14】スキュー、周波数オフセット、Q 値の関係を示す図である。

10

【図 15】周波数オフセットに対して、Tx スキュー、Rx スキュー、スキュー補償量の関係を示す図である。

【図 16】第 5 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 17】第 5 の実施形態のスキュー低減方法を示すフローチャートである。

【図 18】第 6 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 19】第 7 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 20】第 8 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

20

【図 21】第 9 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 22】第 10 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 23】第 11 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 24】第 12 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 25】第 13 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

30

【図 26】スキュー、光位相差、Q 値の関係を示す図である。

【図 27】光位相差に対して、Tx スキュー、Rx スキュー、スキュー補償量の関係を示す図である。

【図 28】第 14 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図である。

【図 29】第 14 の実施形態のスキュー低減方法を示すフローチャートである。

【図 30】第 15 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。

【図 31】光伝送システムの運用とスキュー低減について説明する図である。

40

【図 32】図 31 に示すシステムにおけるスキュー低減方法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】

【0013】

図 1 は、実施形態の光伝送システムの構成を示す。実施形態の光伝送システム 1 は、光伝送装置 2 A、2 B を有する。光伝送装置 2 A は、送信器 3 A および受信器 4 A を有し、光伝送装置 2 B は、送信器 3 B および受信器 4 B を有する。送信器 3 A から送信される光信号は、光ファイバ伝送路 5 A を介して伝送され、受信器 4 B により受信される。また、送信器 3 B から送信される光信号は、光ファイバ伝送路 5 B を介して伝送され、受信器 4 A により受信される。なお、各光ファイバ伝送路 5 A、5 B には、光中継ノードまたは光

50

アンプが設けられていてもよい。また、光伝送装置 2 A、2 B 間で伝送される光信号の変調方式は、特に限定されるものではないが、例えば、Q P S K または D P - Q P S K である。

【0014】

図 2 は、送信器の一例の構成を示す。図 2 に示す送信器 3 は、図 1 においては、送信器 3 A、3 B に相当する。また、送信器 3 は、D P - Q P S K 変調光信号を生成する。

送信器 3 は、送信 L D 1 1、光変調器 1 2 x、1 2 y、アンプ 1 3 a ~ 1 3 d を有する。送信 L D 1 1 は、レーザ光源であり、所定の周波数のキャリア光を生成する。キャリア光は、例えば、C W 光である。そして、送信 L D 1 1 により生成されるキャリア光は、光スプリッタにより分岐されて光変調器 1 2 x、1 2 y に導かれる。

10

【0015】

光変調器 1 2 x、1 2 y は、Q P S K 光変調器である。また、光変調器 1 2 x、1 2 y は、例えば、マツハツェンダ型変調器により実現される。光変調器 1 2 x は、入力キャリア光を I チャネル信号および Q チャネル信号で変調して Q P S K 変調光信号を生成する。同様に、光変調器 1 2 y も、入力キャリア光を I チャネル信号および Q チャネル信号で変調して Q P S K 変調光信号を生成する。なお、光変調器 1 2 x に与えられる I チャネル信号および Q チャネル信号は、図 2 においてそれぞれ X I、X Q と表記されている。また、光変調器 1 2 y に与えられる I チャネル信号および Q チャネル信号は、図 2 においてそれぞれ Y I、Y Q と表記されている。そして、送信器 3 は、光変調器 1 2 x、1 2 y により生成される Q P S K 変調光信号を偏波多重して D P - Q P S K 変調光信号を生成する。

20

【0016】

アンプ 1 3 a、1 3 b、1 3 c、1 3 d は、それぞれ、X I チャネル信号、X Q チャネル信号、Y I チャネル信号、Y Q チャネル信号を増幅する。ただし、送信器 3 は、必ずしもアンプ 1 3 a ~ 1 3 d を備えなくてもよい。

【0017】

上記構成の送信器 3 において、光変調器 1 2 x、1 2 y に与えられる I チャネル信号および Q チャネル信号のタイミング誤差が生じることがある。たとえば、光変調器 1 2 x に与えられる X I チャネル信号および X Q チャネル信号のタイミングがずれていることがある。すなわち、I / Q 間スキューが生じることがある。この I / Q 間スキューは、不図示のデータ生成器から光変調器 1 2 x、1 2 y までの信号線の長さのばらつき、アンプ 1 3 a ~ 1 3 d の特性のばらつき等に起因する。

30

【0018】

この I / Q 間スキューを低減するために、送信器 3 は、遅延制御要素 1 4 a ~ 1 4 d を備える。なお、遅延制御要素 1 4 a ~ 1 4 d については、後で詳しく説明する。

図 3 は、受信器の一例の構成を示す。図 3 に示す送信器 4 は、図 1 においては、受信器 4 A、4 B に相当する。

【0019】

受信器 4 は、90 度光ハイブリッド回路 2 1、局発 L D 2 2、受光器 2 3 a ~ 2 3 d、アンプ 2 4 a ~ 2 4 d、デジタル信号処理器 (D S P) 2 5 を備える。そして、送信器 3 から送信される光信号は、90 度光ハイブリッド回路 2 1 に入力される。

40

【0020】

局発 L D 2 2 は、レーザ光源であり、所定の周波数の局発光を生成する。局発光は、例えば、C W 光である。また、局発光は、送信器 3 から送信される光信号を受信するために使用される。そして、局発 L D 2 2 により生成される局発光は、90 度光ハイブリッド回路 2 1 に導かれる。

【0021】

90 度光ハイブリッド回路 2 1 は、局発光から互いに直交する X 偏波局発光および Y 偏波局発光を生成する。そして、90 度光ハイブリッド回路 2 1 は、X 偏波局発光を利用して入力光信号から X 偏波 Q P S K 変調光信号の I 成分および Q 成分を抽出する。また、90 度光ハイブリッド回路 2 1 は、Y 偏波局発光を利用して入力光信号から Y 偏波 Q P S K

50

変調光信号の I 成分および Q 成分を抽出する。X 偏波 Q P S K 変調光信号は、光変調器 1 2 x により生成される Q P S K 変調光信号に相当し、Y 偏波 Q P S K 変調光信号は、光変調器 1 2 y により生成される Q P S K 変調光信号に相当する。

【 0 0 2 2 】

受光器 2 3 a ~ 2 3 d は、90 度光ハイブリッド回路 2 1 から出力される光信号をそれぞれ電気信号に変換する。すなわち、受光器 2 3 a、2 3 b は、X 偏波 Q P S K 変調光信号の I 成分および Q 成分を表す電気信号を出力する。また、受光器 2 3 c、2 3 d は、Y 偏波 Q P S K 変調光信号の I 成分および Q 成分を表す電気信号を出力する。アンプ 2 4 a ~ 2 4 d は、それぞれ受光器 2 3 a ~ 2 3 d の出力信号を増幅する。なお、X 偏波 Q P S K 変調光信号の I、Q 成分をそれぞれ X I、X Q チャネル信号と呼び、Y 偏波 Q P S K 変調光信号の I、Q 成分をそれぞれ Y I、Y Q チャネル信号と呼ぶことがある。

10

【 0 0 2 3 】

デジタル信号処理器 2 5 は、A / D 変換器を備え、受光器 2 3 a ~ 2 3 d により得られる X I チャネル信号、X Q チャネル信号、Y I チャネル信号、Y Q チャネル信号をそれぞれデジタル信号に変換する。そして、デジタル信号処理器 2 5 は、デジタル信号処理で X I チャネル信号、X Q チャネル信号、Y I チャネル信号、Y Q チャネル信号をそれぞれ復調し、データを再生する。なお、A / D 変換器は、デジタル信号処理器 2 5 の入力側に設けられてもよい。

【 0 0 2 4 】

上記構成の受信器 4 において、デジタル信号処理器 2 5 に与えられる I チャネル信号および Q チャネル信号のタイミング誤差が生じることがある。すなわち、受信器 4 においても I / Q 間スキューが生じることがある。この I / Q 間スキューは、90 度光ハイブリッド回路 2 1 からデジタル信号処理器 2 5 までの信号線の長さのばらつき、アンプ 2 4 a ~ 2 4 d の特性のばらつき等に起因する。

20

【 0 0 2 5 】

受信器 4 も、送信器 3 と同様に、I / Q 間スキューを低減する機能を有する。受信器 4 においては、例えば、デジタル信号処理器 2 5 がデジタル信号処理で I / Q 間スキューを低減する。

【 0 0 2 6 】

なお、図 2 に示す送信器 3 および図 3 に示す受信器 4 は偏波多重を採用しているが、実施形態の光伝送システムは、単一偏波であってもよい。また、図 2 に示す送信器 3 および図 3 に示す受信器 4 は Q P S K を採用しているが、実施形態の光伝送システムは、他の変調方式でデータを伝送してもよい。

30

【 0 0 2 7 】

< 第 1 の態様 >

< 第 1 の実施形態 >

図 4 は、スキュー、波長分散、Q 値の関係を示す。図 4 において、横軸は、受信器 4 において与えられるスキュー補償量を表す。縦軸は、Q 値を表す。Q 値は、受信信号の品質を表し、例えば、F E C (Forward Error Correction) 回路によりカウントされるエラー訂正数に基づいて算出される。

40

【 0 0 2 8 】

図 4 に示すグラフは、下記の条件でシミュレーションを行うことにより得られる。送信 L D 1 1 の周波数と局発 L D 2 2 の周波数の差分 (すなわち、周波数オフセット) はゼロである。送信器 3 において生じる I / Q 間スキューは、+9ps である。受信器 4 において生じる I / Q 間スキューは、-9ps である。送信 L D 1 1 および局発 L D 2 2 の線幅は、100k Hz である。光信号対雑音比 (OSNR : Optical Signal-to-Noise Ratio) は、15dB である。なお、以下では、送信器 3 において生じる I / Q 間スキューを「T x スキュー」と呼び、受信器 4 において生じる I / Q 間スキューを「R x スキュー」と呼ぶことがある。

【 0 0 2 9 】

上記シミュレーションにおいて、送信器 3 と受信器 4 との間の光伝送路の波長分散がゼ

50

口であるときは、受信器 4 におけるスキュー補償量がほぼゼロであるときに、Q 値が最適化される。ここで、T x スキューおよび R x スキューを単純に足し合わせると、ゼロである。すなわち、波長分散がゼロであるときは、T x スキューおよび R x スキューの和を補償すれば、Q 値が最適化される。

#### 【 0 0 3 0 】

波長分散が 200ps/nm であるときは、受信器 4 におけるスキュー補償量が約 5ps に制御されたときに、Q 値が最適化される。すなわち、Q 値を最適化するスキュー補償量は、T x スキューおよび R x スキューの和からずれている。この理由は、波長分散に起因して光信号波形が歪んだことにより、T x スキューの影響が受信器 4 において検知しにくくなるためと考えられる。なお、以下の説明では、Q 値を最適化または略最適化する、受信器 4 におけるスキュー補償量を、「最適スキュー補償量」と呼ぶことがある。

10

#### 【 0 0 3 1 】

波長分散が 1000ps/nm であるときは、最適スキュー補償量は、さらに大きくなる。図 4 に示す例では、受信器 4 におけるスキュー補償量が約 10ps に制御されたときに、Q 値が最適化されている。

#### 【 0 0 3 2 】

図 5 は、T x スキュー、R x スキュー、スキュー補償量の関係を示す。図 5 に示すシミュレーション結果は、図 4 と同じ条件下で得られたものである。ただし、図 5 ( a ) においては、波長分散がゼロである環境下で、T x スキューを変化させている。図 5 ( b ) においては、波長分散が 1000ps/nm である環境下で、T x スキューを変化させている。なお、図 5 ( a ) および図 5 ( b ) において、R x スキューは一定 (-9ps) である。

20

#### 【 0 0 3 3 】

波長分散がゼロであるときは、図 5 ( a ) に示すように、最適スキュー補償量は、T x スキューに依存する。すなわち、図 5 ( a ) に示す例では、最適スキュー補償量は、T x スキューが 0ps/nm、4.5ps/nm、9ps/nm であるときに、それぞれ約 10ps、5ps、0ps である。

#### 【 0 0 3 4 】

一方、波長分散が 1000ps/nm であるときは、図 5 ( b ) に示すように、最適スキュー補償量は、実質的に T x スキューに依存しない。すなわち、R x スキューが一定であるときには、T x スキューが変化しても、最適スキュー補償量は殆ど変化しない。図 5 ( b ) に示す例では、最適スキュー補償量は、T x スキューが 0ps/nm、4.5ps/nm、9ps/nm であるときに、いずれも約 10ps である。

30

#### 【 0 0 3 5 】

このように、波長分散が大きいときは、最適スキュー補償量は、ほとんど T x スキューに依存することなく、実質的に R x スキューに応じて決まる。したがって、送信器 3 から受信器 4 へ光信号を伝送する光伝送システムにおいて、波長分散が大きい環境を提供すれば、送信器 3 から独立して、受信器 4 において生じる I / Q 間スキューを検出および低減することができる。

#### 【 0 0 3 6 】

送信器 3 から独立して R x スキューを低減するためには、最適スキュー補償量が実質的に T x スキューの影響を受けない程度に、波長分散を十分に大きくする必要がある。「十分に大きい波長分散」は、例えば、シミュレーションまたは測定により特定される。この場合、例えば、図 4 に示すように、波長分散を徐々に大きくしてゆき、最適スキュー補償量の変動しなくなるような波長分散をサーチすることで特定される。ただし、「十分に大きい波長分散」は、受信器 4 が備える A / D 変換器のサンプリングレートなどにも依存する。

40

#### 【 0 0 3 7 】

ただし、波長分散を大きくし過ぎると、Q 値が劣化するので、好ましくない。したがって、「十分に大きい波長分散」は、最適スキュー補償量が実質的に T x スキューの影響を受けることがなく、且つ、Q 値劣化が十分小さい、範囲で決定されることが好ましい。なお、「十分に大きい波長分散」は、正の分散であってもよいし、負の分散であってもよい

50

。

## 【 0 0 3 8 】

上述のように、波長分散が大きい領域では、最適スキュー補償量は、実質的に T x スキューには依存しない。ただし、図 5 ( b ) に示すように、波長分散が大きい領域であっても、Q 値は、T x スキューに依存する。たとえば、T x スキューが 0ps であるときの Q 値 ( 特性 A ) と比較して、T x スキューが 4.5ps であるときの Q 値 ( 特性 B ) は低い。T x スキューが 9ps であるときの Q 値 ( 特性 C ) は、さらに低くなっている。換言すれば、送信器 3 において T x スキューを低減すれば、Q 値を改善することができる。

## 【 0 0 3 9 】

したがって、第 1 の実施形態のスキュー低減方法は、下記の制御を行う。

10

( 1 ) 光信号に付加される波長分散を十分に大きくする

( 2 ) Q 値をモニタしながら最適スキュー補償量を決定し、R x スキューを低減する

( 3 ) Q 値をモニタしながら T x スキューを低減する

工程 ( 2 ) ( 3 ) を実行する順序は、特に限定されるものではない。即ち、工程 ( 2 ) を先に実行してもよいし、工程 ( 3 ) を先に実行してもよいし、工程 ( 2 ) ( 3 ) を交互に繰り返し実行してもよい。また、工程 ( 2 ) ( 3 ) のいずれか一方のみを実行するだけでもよい。

## 【 0 0 4 0 】

図 6 は、第 1 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第 1 の実施形態の光伝送システムは、図 2 に示す送信器 3、図 3 に示す受信器 4、波長分散付加部 4 1、送受信制御部 4 2 を有する。

20

## 【 0 0 4 1 】

送信器 3 および受信器 4 は、例えば、図 1 に示す送信器 3 A および受信器 4 B に相当する。また、送信器 3 および受信器 4 は、1 つの光伝送装置内に設けられる 1 組の送信器および受信器 ( 例えば、送信器 3 A、受信器 4 A ) であってもよい。或いは、例えば、製品の出荷前検査においては、送信器 3 および受信器 4 は、任意の送信器および任意の受信器であってもよい。

## 【 0 0 4 2 】

送信器 3 は、送信 LD 1 1、変調部 1 2、T x チャネル間遅延制御部 1 4 を有する。変調部 1 2 は、この例では、図 2 に示す光変調器 1 2 x、1 2 y を含む DP - QPSK 光変調器である。T x チャネル間遅延制御部 1 4 は、この例では、図 2 に示す遅延制御要素 1 4 a ~ 1 4 d を含み、送受信制御部 4 2 からの指示に応じて各チャネル ( X I、X Q、Y I、Y Q ) の遅延量を制御する。また、T x チャネル間遅延制御部 1 4 は、各チャネルの遅延量を送受信制御部 4 2 に通知する機能を備えるようにしてもよい。なお、送信器 3 は、図 2 に示すアンプ 1 3 a ~ 1 3 d を備えるようにしてもよい。

30

## 【 0 0 4 3 】

遅延制御要素 1 4 a ~ 1 4 d は、例えば、それぞれデジタルフィルタによって実現される。この場合、各デジタルフィルタのタップ係数は、送受信制御部 4 2 からの指示に応じて決定される。なお、遅延制御要素を実現するためのデジタルフィルタの構成および動作については、例えば、特開 2 0 1 0 - 1 9 3 2 0 4 号公報に記載されている。また、遅延制御要素 1 4 a ~ 1 4 d は、それぞれ位相シフト器で実現してもよい。この場合、各位相シフト器の位相シフト量は、送受信制御部 4 2 からの指示に応じて決定される。さらに、遅延制御要素 1 4 a ~ 1 4 d は、デジタルフリップフロップで実現してもよい。この場合、各デジタルフリップフロップの読出しタイミングは、送受信制御部 4 2 からの指示に応じて決定される。なお、T チャネル間遅延制御部 1 4 は、デジタル信号に対して遅延時間の制御を行ってもよいし、アナログ信号に対して遅延時間の制御を行ってもよい。

40

## 【 0 0 4 4 】

受信器 4 は、90 度光ハイブリッド回路 2 1、局発 LD 2 2、光電変換部 2 3、A / D 変換部 3 1、R x チャネル間遅延制御部 3 2、波長分散補償部 3 3、信号品質判定部 3 4 を有する。光電変換部 2 3 は、図 3 に示す受光器 2 3 a ~ 2 3 d を含み、90 度光ハイブ

50

リッド回路 2 1 から出力される光信号 ( X I、X Q、Y I、Y Q ) をそれぞれ電気信号に変換する。A / D 変換部 3 1 は、光電変換部 2 3 の出力信号 ( X I、X Q、Y I、Y Q ) をそれぞれデジタル信号に変換する。R x チャネル間遅延制御部 3 2、波長分散補償部 3 3、信号品質判定部 3 4 は、この例では、図 3 に示すデジタル信号処理器 2 5 により実現される。なお、図 6 では省略されているが、受信器 4 は、デジタル信号処理で入力信号を復調してデータを再生する機能も備えている。また、受信器 4 は、図 3 に示すアンプ 2 4 a ~ 2 4 d を備えるようにしてもよい。

【 0 0 4 5 】

R x チャネル間遅延制御部 3 2 は、各チャネル ( X I、X Q、Y I、Y Q ) に対してそれぞれデジタルフィルタを設けることにより実現される。この場合、各デジタルフィルタのタップ係数は、送受信制御部 4 2 からの指示に応じて決定される。なお、R x チャネル間遅延制御部 3 2 を実現するためのデジタルフィルタの構成および動作については、例えば、特開 2 0 1 0 - 1 9 3 2 0 4 号公報に記載されている。なお、R x チャネル間遅延制御部 3 2 は、デジタル信号処理器 2 5 の入力側に配置されてもよい。たとえば、R x チャネル間遅延制御部 3 2 は、各チャネル ( X I、X Q、Y I、Y Q ) のアナログ信号の位相をシフトする位相シフト器で実現してもよい。この場合、各位相シフト器の位相シフト量は、送受信制御部 4 2 からの指示に応じて決定される。このように、R x チャネル間遅延制御部 3 2 は、デジタル信号に対して遅延時間の制御を行ってもよいし、アナログ信号に対して遅延時間の制御を行ってもよい。

10

【 0 0 4 6 】

波長分散補償部 3 3 は、デジタル信号処理により、入力光信号に付加されている波長分散を補償する。このとき、波長分散補償部 3 3 は、送信器 3 と受信器 4 との間の光伝送路により付加される波長分散および波長分散付加部 4 1 により付加される波長分散を補償する。また、波長分散補償部 3 3 は、入力光信号に付加されている波長分散量をモニタして送受信制御部 4 2 に通知することができる。

20

【 0 0 4 7 】

信号品質判定部 3 4 は、デジタル信号処理により受信信号の品質をモニタし、そのモニタ結果に基づいて Q 値を算出する。Q 値は、受信信号の品質を表し、例えば、F E C 回路によりカウントされるエラー訂正数に基づいて算出される。ただし、Q 値は、他の測定値に基づいて算出されてもよい。

30

【 0 0 4 8 】

波長分散付加部 4 1 は、送信器 3 と受信器 4 との間に設けられ、送信器 3 から送信される光信号に波長分散を付加する。波長分散付加部 4 1 は、送信器 3 の近傍に設けられてもよいし、受信器 4 の近傍に設けられてもよい。波長分散付加部 4 1 により光信号に付加される波長分散量は、送受信制御部 4 2 により決定される。

【 0 0 4 9 】

波長分散付加部 4 1 は、例えば、光ファイバにより実現される。この場合、波長分散付加部 4 1 として、十分に大きな波長分散を有する光ファイバを使用することができる。或いは、波長分散付加部 4 1 は、波長分散量の異なる複数の光ファイバ、および複数の光ファイバの中の 1 つを選択するスイッチを含む構成であってもよい。この構成においては、波長分散付加部 4 1 は、送受信制御部 4 2 により指示される波長分散量を有する光ファイバを選択する。

40

【 0 0 5 0 】

波長分散付加部 4 1 は、他の構成で実現してもよい。すなわち、例えば、波長分散付加部 4 1 は、V I P A ( Virtually Imaged phased array ) で実現してもよい。また、波長分散付加部 4 1 は、ファイバグレーティングで実現してもよい。

【 0 0 5 1 】

送受信制御部 4 2 は、波長分散補償部 3 3 から通知される波長分散量に応じて、波長分散付加部 4 1 の波長分散量を制御する。また、送受信制御部 4 2 は、信号品質判定部 3 4 から通知される Q 値に基づいて、T x チャネル間遅延制御部 1 4 および R x チャネル間遅

50

延制御部 3 2 におけるスキュー低減を制御する。

【 0 0 5 2 】

なお、送受信制御部 4 2 は、例えば、プロセッサおよびメモリを備える。メモリは、ROM 領域および RAM 領域を含むようにしてもよい。この場合、プロセッサは、メモリに格納されているスキュー低減プログラムを実行することにより、波長分散付加部 4 1、Tx チャンネル間遅延制御部 1 4、Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 を制御する。

【 0 0 5 3 】

図 7 は、第 1 の実施形態のスキュー低減方法を示すフローチャートである。このフローチャートの処理は、例えば、キャリブレーション時、初期設定時、または送信器 3 および受信器 4 の出荷前に、送受信制御部 4 2 により実行される。このとき、送受信制御部 4 2 は、波長分散付加部 4 1、Tx チャンネル間遅延制御部 1 4、Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 を利用して図 7 に示すフローチャートの処理を実行する。

10

【 0 0 5 4 】

S 1 において、送受信制御部 4 2 は、受信器 4 への入力光信号に付加されている波長分散量をモニタする。なお、入力光信号に付加されている波長分散量は、波長分散補償部 3 3 により検出され、送受信制御部 4 2 に通知される。

【 0 0 5 5 】

S 2 において、送受信制御部 4 2 は、入力光信号に付加されている波長分散量が所定の閾値よりも大きいか否かを判定する。この閾値は、図 5 ( b ) を参照しながら説明したように、最適スキュー補償量が実質的に Tx スキューに依存しなくなる波長分散に相当する。

20

【 0 0 5 6 】

入力光信号に付加されている波長分散量が閾値以下であれば、送受信制御部 4 2 は、S 3 において、その波長分散量が閾値よりも大きくなるように、波長分散付加部 4 1 を制御する。そうすると、波長分散付加部 4 1 は、送信器 3 から受信器 4 へ伝送される光信号に対して、送受信制御部 4 2 により指示された波長分散量を付加する。この結果、入力光信号に付加されている波長分散量は、閾値よりも大きくなる。なお、入力光信号に付加されている波長分散量が閾値よりも大きければ、S 3 はスキップされる。

【 0 0 5 7 】

S 3 の処理は、必ずしも、自動的に実行されなくてもよい。すなわち、例えば、送信器 3 と受信器 4 との間に、波長分散付加部 4 1 として、所定の波長分散を有する光ファイバを挿入することで、S 3 の処理が実現されてもよい。

30

【 0 0 5 8 】

S 4 において、送受信制御部 4 2 は、入力光信号の Q 値に基づいて、最適スキュー補償量を決定する。ここで、Q 値は、信号品質判定部 3 4 により検出されて送受信制御部 4 2 に通知される。また、入力光信号に付加されている波長分散量は閾値よりも大きいので、最適スキュー補償量は、実質的に Tx スキューに依存しない。すなわち、最適スキュー補償量は、実質的に、Rx スキューのみに依存する。よって、送受信制御部 4 2 は、Q 値に基づいて決定した最適スキュー補償量で、Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 を制御する。

【 0 0 5 9 】

Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 は、送受信制御部 4 2 からの指示に応じて、対応するチャンネルの遅延量を制御する。例えば、最適スキュー補償量が +10ps であれば、Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 は、例えば、I チャンネルの遅延量を 10ps だけ大きくする。あるいは、Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 は、Q チャンネルの遅延量を 10ps だけ小さくしてもよい。さらに、Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 は、I チャンネルの遅延量を 5ps だけ大きくするとともに、Q チャンネルの遅延量を 5ps だけ小さくしてもよい。

40

【 0 0 6 0 】

同様に、最適スキュー補償量が -10ps であれば、Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 は、例えば、Q チャンネルの遅延量を 10ps だけ大きくする。あるいは、Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 は、I チャンネルの遅延量を 10ps だけ小さくしてもよい。さらに、Rx チャンネル間遅延

50

制御部 3 2 は、Q チャネルの遅延量を 5ps だけ大きくするとともに、I チャネルの遅延量を 5ps だけ小さくしてもよい。

【 0 0 6 1 】

なお、送受信制御部 4 2 は、偏波ごとに、スキューの検出および低減を行うことができる。この場合、X I、X Q チャネル間のスキューが検出および低減され、Y I、Y Q チャネル間のスキューが検出および低減される。また、X 偏波信号の遅延時間の平均値と Y 偏波信号の遅延時間の平均値の差 (X-Y 間スキュー) をなるべく小さくなるように制御するステップを挿入してもよい。

【 0 0 6 2 】

S 5 において、送受信制御部 4 2 は、R x チャネル間遅延制御部 3 2 によるスキュー制御量をモニタする。R x チャネル間遅延制御部 3 2 の動作が正常であることが確認されると、S 6 ~ S 7 が実行される。

10

【 0 0 6 3 】

S 6 において、送受信制御部 4 2 は、入力光信号の Q 値に基づいて、T x スキューを低減するためのスキュー補償量を決定する。そして、送受信制御部 4 2 は、Q 値に基づいて決定したスキュー補償量で、T x チャネル間遅延制御部 1 4 を制御する。T x チャネル間遅延制御部 1 4 は、送受信制御部 4 2 からの指示に応じて、対応するチャネルの遅延量を制御する。このとき、T x チャネル間遅延制御部 1 4 は、I チャネルまたは Q チャネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する。

【 0 0 6 4 】

20

S 6 の動作は、図 5 ( b ) に示す例では、送信器 3 におけるスキュー補償量をスイープして最適な特性 A をサーチする処理に相当する。例えば、T x スキューが 9ps であるものとする、特性 C が検出される。そして、送受信制御部 4 2 は、送信器 3 におけるスキュー補償量をスイープすることにより、Q 値が最適化されるスキュー補償量を特定する。図 5 ( b ) に示す例では、送信器 3 におけるスキュー補償量として、-9ps が得られるものと考えられる。そうすると、送受信制御部 4 2 は、このスキュー補償量で T x チャネル間遅延制御部 1 4 を制御し、T x チャネル間遅延制御部 1 4 は、対応するチャネルの遅延量を制御する。この結果、送信器 3 のスキューが低減し、Q 値が改善する。

【 0 0 6 5 】

S 7 において、送受信制御部 4 2 は、T x チャネル間遅延制御部 1 4 によるスキュー制御量をモニタする。T x チャネル間遅延制御部 1 4 の動作が正常であることが確認されると、スキュー低減方法の処理は終了する。

30

【 0 0 6 6 】

このように、第 1 の実施形態のスキュー低減方法においては、S 4 で受信器 4 のスキューが低減され、S 6 で送信器 3 のスキューが低減される。すなわち、送信器 3 のスキューおよび受信器 4 のスキューが互いに独立して低減される。

【 0 0 6 7 】

なお、各ステップを実行する順序は、図 7 に限定されるものではない。すなわち、S 4 ~ S 5 の前に、S 6 ~ S 7 を実行してもよい。また、S 4 ~ S 5 と、S 6 ~ S 7 を交互に繰り返し実行してもよい。また、S 4 ~ S 5 または S 6 ~ S 7 のいずれか一方のみを実行するだけでもよい。

40

【 0 0 6 8 】

上述したように、第 1 の実施形態のスキュー低減方法によれば、送信器 3 のスキューおよび受信器 4 のスキューを独立して低減することができる。このため、信号品質が向上する。また、スキューを制御および評価するシステムの簡易化および / または高速化が実現される。さらに、送信器のスキューおよび受信器のスキューが個々に低減されるので、送信器と受信器に組合せが変わっても、光伝送システムとして品質が保持される。

【 0 0 6 9 】

信号品質については、下記のように伝送劣化を回避または抑制することができる。例えば、送信器 3 における X I、X Q チャネル間のスキューが 9ps、受信器 4 における X I、

50

X Qチャネル間のスキューが9ps、送信LD 1 1と局発LD 2 2の周波数オフセットがゼロ、送信LD 1 1および局発LD 2 2の線幅が100kHzであるものとする。この場合、波長分散=0ps/nmとすると、TxスキューとRxスキューとの間の相関が大きいので、図8に示すように、最適スキュー補償量は約18psである。これに対して、波長分散が大きい領域（図8では、4500ps/nm）においては、TxスキューとRxスキューとの間の相関が小さくなるので、同じ条件でスキュー補償を実行すると、大きなペナルティが生じる。図8に示す例では、例えば、受信器4において-18psでスキュー補償を実行すると、Q値は、約8dBである。

#### 【0070】

第1の実施形態のスキュー低減方法によれば、図8に示す実施例では、受信器4において約-10psでスキュー補償が行われる。この場合、Q値は、約10dBである。即ち、第1の実施形態の方法によれば、スキュー補償量の変動に起因する波長分散ペナルティが低減される。

10

#### 【0071】

##### <第2の実施形態>

図9は、第2の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第2の実施形態の光伝送システムは、図2に示す送信器3、図3に示す受信器4、送受信制御部42、波長分散付加部43を有する。すなわち、第2の実施形態の光伝送システムは、第1の実施形態と比較すると、波長分散付加部41の代わりに波長分散付加部43が設けられている。

20

#### 【0072】

波長分散付加部41は、光信号に対して光学的に波長分散を付加する。これに対して、波長分散付加部43は、光信号を生成するためのデータ信号に対して電氣的に波長分散を付加する。

#### 【0073】

波長分散付加部43は、例えば、デジタルフィルタで実現される。ここで、データ信号のビットレートおよび変調方式などが既知であるときは、シミュレーションまたは測定等により、与えられた波長分散に対する光信号波形の歪を計算することができる。したがって、光信号に付加すべき波長分散量が送受信制御部42によって決定されると、波長分散付加部43は、その波長分散量を実現するように入力データ信号の波形を歪ませる。すなわち、波長分散付加部43は、必要な波長分散と等価な歪をデータ信号に与える。このとき、波長分散付加部43は、その波長分散量を実現するように、デジタルフィルタのタップ係数を制御する。そして、このデータ信号で光信号を生成することにより、送受信制御部42で算出された波長分散が付加された光信号が出力される。

30

#### 【0074】

第2の実施形態のスキュー低減方法の手順は、図7に示すフローチャートと類似する。ただし、第2の実施形態では、図7のS3において、波長分散付加部43が、光信号を生成するためのデータ信号に対して電氣的に波長分散を付加する。この結果、第2の実施形態のスキュー低減方法によっても、第1の実施形態と実質的に同じ効果が得られる。

#### 【0075】

##### <第3の実施形態>

第1および第2の実施形態においては、光信号に付加する波長分散を十分に大きくすることにより、TxスキューおよびRxスキューを互いに独立して低減する手順が実現される。これに対して、第3の実施形態においては、光信号に付加する群遅延時間差（DGD：Differential Group Delay）を十分に大きくすることにより、TxスキューおよびRxスキューを互いに独立して低減する手順が実現される。なお、DGDは、偏波モード分散により発生する。

40

#### 【0076】

図10は、スキュー、偏波モード分散、Q値についてのシミュレーション結果を示す。このシミュレーションは、図4と同じ条件で行われている。ただし、図10に示すシミュ

50

レーションにおいては、 $T \times$  スキューが+9psであり、 $R \times$  スキューも+9psである。また、図10に示すシミュレーションにおいては、偏波モード分散のDGDを変化させたときのスキュー補償量とQ値の関係が計算されている。

【0077】

上記シミュレーションにおいて、送信器3と受信器4との間の光伝送路のDGDがゼロであるときは、受信器4におけるスキュー補償量が約-18psであるときに、Q値が最適化される。ここで、 $T \times$  スキューおよび $R \times$  スキューを単純に足し合わせると、18psである。すなわち、DGDがゼロであるときは、 $T \times$  スキューおよび $R \times$  スキューの和を補償すれば、Q値が最適化される。

【0078】

DGDが11psであるときは、スキュー補償量が約14psに制御されたときに、Q値が最適化される。すなわち、Q値を最適化するスキュー補償量は、 $T \times$  スキューおよび $R \times$  スキューの和からずれている。この理由は、偏波モード分散に起因して光信号波形が歪んだことにより、 $T \times$  スキューの影響が受信器4において検知しにくくなるためと考えられる。さらに、DGDが22psであるときは、スキュー補償量が約9psに制御されたときに、Q値が最適化されている。

【0079】

図11は、偏波モード分散に対して、 $T \times$  スキュー、 $R \times$  スキュー、スキュー補償量の関係を示す。図11(a)においては、DGD=0psである環境下で、 $T \times$  スキューを変化させている。図11(b)においては、DGD=22psである環境下で、 $T \times$  スキューを変化させている。なお、図11(a)および図11(b)において、 $R \times$  スキューは一定(9ps)である。

【0080】

DGD=0psにおいては、図11(a)に示すように、最適スキュー補償量は、 $T \times$  スキューに依存する。すなわち、 $T \times$  スキューが0ps/nm、4.5ps/nm、9ps/nmであるときに、最適スキュー補償量は、それぞれ約9ps、14ps、18psである。

【0081】

DGD=22psにおいては、図11(b)に示すように、最適スキュー補償量は、実質的に $T \times$  スキューに依存しない。すなわち、 $R \times$  スキューが一定であるときには、 $T \times$  スキューが変化しても、最適スキュー補償量はほとんど変化しない。図11(b)に示す例では、 $T \times$  スキューが0ps/nm、4.5ps/nm、9ps/nmであるときに、最適スキュー補償量は、いずれも約10psである。

【0082】

このように、偏波モード分散のDGDが大きいときは、最適スキュー補償量は、ほとんど $T \times$  スキューに依存することなく、実質的に $R \times$  スキューに応じて決まる。よって、送信器3から受信器4へ光信号を伝送する光伝送システムにおいて、DGDが大きい環境を提供すれば、送信器3から独立して受信器4において生じるI/Q間スキューを検出および低減することができる。

【0083】

送信器3から独立して $R \times$  スキューを低減するためには、最適スキュー補償量が実質的に $T \times$  スキューの影響を受けない程度に、DGDを十分に大きくする必要がある。「十分に大きいDGD」は、例えば、シミュレーションまたは測定により特定される。例えば、図10に示すように、DGDを徐々に大きくしてゆき、最適スキュー補償量の変動しなくなるようなDGDをサーチすることで特定される。

【0084】

ただし、偏波モード分散を大きくし過ぎると、Q値が劣化するので、好ましくない。したがって、「十分に大きいDGD」は、最適スキュー補償量が実質的に $T \times$  スキューの影響を受けることがなく、且つ、Q値劣化量が十分小さい範囲で決定されることが好ましい。なお、「十分に大きいDGD」は、正の値であってもよいし、負の値であってもよい。

【0085】

10

20

30

40

50

上述のように、DGDが大きい領域では、最適スキュー補償量は、実質的にT×スキューに依存しない。ただし、図11(b)に示すように、DGDが大きい領域であっても、Q値は、T×スキューに依存する。換言すれば、送信器3においてT×スキューを低減すれば、Q値を改善することができる。

【0086】

このように、第3の実施形態では、光信号に十分に大きなDGDを与えることにより、T×スキューおよびR×スキューを独立して低減することができる。したがって、第3の実施形態のスキュー低減方法は、下記の制御を行う。

(1) 光信号に付加されるDGDを十分に大きくする

(2) Q値をモニタしながら最適スキュー補償量を決定し、R×スキューを低減する

(3) Q値をモニタしながらT×スキューを低減する

10

【0087】

図12は、第3の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第3の実施形態の光伝送システムは、図2に示す送信器3、図3に示す受信器4、偏波分散付加部51、送受信制御部52を有する。すなわち、第3の実施形態の光伝送システムは、第1の実施形態と比較すると、波長分散付加部41および送受信制御部42の代わりに偏波分散付加部51および送受信制御部52が設けられている。

【0088】

送信器3は、第1の実施形態と同様に、送信LD11、変調部12、T×チャンネル間遅延制御部14を有する。したがって、送信器3についての説明は省略する。ただし、T×チャンネル間遅延制御部14は、送受信制御部52からの指示に応じて各チャンネル(XI、XQ、YI、YQ)の遅延量を制御する。

20

【0089】

受信器4は、90度光ハイブリッド回路21、局発LD22、光電変換部23、A/D変換部31、R×チャンネル間遅延制御部32、偏波分散補償部35、信号品質判定部34を有する。90度光ハイブリッド回路21、局発LD22、光電変換部23、A/D変換部31、R×チャンネル間遅延制御部32、信号品質判定部34については、説明を省略する。ただし、R×チャンネル間遅延制御部32は、送受信制御部52からの指示に応じて各チャンネル(XI、XQ、YI、YQ)の遅延量を制御する。

【0090】

偏波分散補償部35は、デジタル信号処理により、入力光信号に付加されている偏波モード分散を補償する。このとき、偏波分散補償部35は、送信器3と受信器4との間の光伝送路により付加される偏波モード分散および偏波分散付加部51により付加される偏波モード分散を補償する。また、偏波分散補償部35は、入力光信号に付加されている偏波分散量(すなわち、DGD)をモニタして送受信制御部52に通知することができる。

30

【0091】

偏波分散付加部51は、例えば、偏波保持光ファイバで実現される。一例として、PANDA(Polarization-maintaining and Absorption reducing)ファイバを使用してもよい。この場合、偏波分散付加部51として、十分に大きな偏波モード分散を有する偏波保持光ファイバを使用することができる。また、偏波スクランブラを通した後、PANDAファイバを挿入する構成でもよい。或いは、偏波分散付加部51は、DGDの異なる複数の偏波保持光ファイバ、および複数の偏波保持光ファイバの中の1つを選択するスイッチを含む構成であってもよい。この構成においては、偏波分散付加部51は、送受信制御部52により指示されるDGDを有する偏波保持光ファイバを選択する。

40

【0092】

偏波分散付加部51は、他の構成で実現してもよい。例えば、偏波分散付加部51として、光信号を互いに直交する偏波に分離し、各偏波に対して所望の遅延を与えることができる偏波分散付加装置を使用してもよい。

【0093】

第3の実施形態のスキュー低減方法の手順は、図7に示すフローチャートと類似する。

50

ただし、第3の実施形態では、図7のS1～S2の代わりに、偏波モード分散のDGDがモニタされる。そして、DGDが閾値以下であったときには、送受信制御部52は、S3の代わりに、そのDGDが閾値よりも大きくなるように、偏波分散付加部51を制御する。そうすると、偏波分散付加部51は、送信器3から受信器4へ伝送される光信号に対して、送受信制御部52により指示されたDGDを付加する。この結果、入力光信号に付加されているDGDは、閾値よりも大きくなる。なお、この閾値は、図11(b)を参照しながら説明したように、最適スキュー補償量が実質的にTxスキューに依存しなくなるDGDに相当する。第3の実施形態のスキュー低減方法によっても、第1の実施形態と実質的に同じ効果が得られる。

【0094】

<第4の実施形態>

図13は、第4の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第4の実施形態の光伝送システムは、図2に示す送信器3、図3に示す受信器4、送受信制御部52、偏波分散付加部53を有する。すなわち、第4の実施形態の光伝送システムは、第3の実施形態と比較すると、偏波分散付加部51の代わりに偏波分散付加部53が設けられている。

【0095】

偏波分散付加部51は、光信号に対して光学的に偏波モード分散を付加する。これに対して、偏波分散付加部53は、光信号を生成するためのデータ信号に対して電氣的に偏波モード分散を付加する。

【0096】

偏波分散付加部53は、例えば、デジタルフィルタで実現される。ここで、データ信号のビットレートおよび変調方式などが既知であるときは、シミュレーションまたは測定等により、与えられた偏波モード分散に対する光信号波形の歪を計算することができる。したがって、光信号に付加すべきDGDが送受信制御部52によって決定されると、偏波分散付加部53は、そのDGDを実現するように入力データ信号の波形を歪ませる。このとき、偏波分散付加部53は、そのDGDを実現するように、デジタルフィルタのタップ係数を制御する。そして、このデータ信号で光信号を生成することにより、送受信制御部52で算出された偏波モード分散が付加された光信号が出力される。

【0097】

第4の実施形態のスキュー低減方法の手順は、第3の実施形態と類似する。ただし、第4の実施形態では、偏波分散付加部53が、光信号を生成するためのデータ信号に対して電氣的に偏波モード分散を付加する。第4の実施形態のスキュー低減方法によっても、第1の実施形態と実質的に同じ効果が得られる。

【0098】

<第2の態様>

第1の態様では、TxスキューおよびRxスキューを独立して低減できるようにするために、光信号に対して大きな分散（例えば、波長分散、偏波モード分散）が付加される。これに対して、第2の態様では、TxスキューおよびRxスキューを独立して低減できるようにするために、送信LDと局発LDとの間の光周波数オフセットが制御される。

【0099】

図14は、スキュー、周波数オフセット、Q値の関係を示す。なお、図14において、横軸は、受信器4において与えられるスキュー補償量を表す。縦軸は、Q値を表す。FOで表記される光周波数オフセットは、送信LD11の発振周波数と局発LD22の発振周波数との差分を表す。

【0100】

図14に示すグラフは、下記の条件でシミュレーションを行うことにより得られる。送信器3と受信器4との間の光伝送路の波長分散はゼロである。送信器3において生じるI/Q間スキュー（すなわち、Txスキュー）は、+9psである。受信器4において生じるI/Q間スキュー（すなわち、Rxスキュー）も、+9psである。送信LD11および局発L

10

20

30

40

50

D 2 2 の線幅は、100kHzである。光信号対雑音比は、15dBである。

【 0 1 0 1 】

上記シミュレーションにおいて、光周波数オフセットがゼロであるときは、受信器 4 におけるスキュー補償量が約-18psであるときに、Q 値が最適化される。ここで、Tx スキューおよび Rx スキューを単純に足し合わせると、18psである。すなわち、光周波数オフセットがゼロであるときは、Tx スキューおよび Rx スキューの和を補償すれば、Q 値が最適化される。

【 0 1 0 2 】

光周波数オフセットが27MHz、54MHz、108MHzであるときは、最適スキュー補償量は、いずれも約-10psである。すなわち、最適スキュー補償量は、Tx スキューおよび Rx スキューの和からずれている。この理由は、光周波数オフセットに起因して受信光信号の位相が回転したことにより、Tx スキューの影響が受信器 4 において検知しにくくなるためと考えられる。

10

【 0 1 0 3 】

図 1 5 は、周波数オフセットに対して、Tx スキュー、Rx スキュー、スキュー補償量の関係を示す。図 1 5 に示すシミュレーション結果は、図 1 4 と同じ条件下で得られたものである。ただし、図 1 5 ( a ) においては、光周波数オフセット = 0Hz で、Tx スキューを変化させている。図 1 5 ( b ) においては、光周波数オフセット = 27MHz で、Tx スキューを変化させている。なお、図 1 5 ( a ) および図 1 5 ( b ) において、Rx スキューは一定 ( 9ps ) である。

20

【 0 1 0 4 】

光周波数オフセット = 0Hz では、図 1 5 ( a ) に示すように、最適スキュー補償量は Tx スキューに依存する。すなわち、Tx スキューが 0ps/nm、4.5ps/nm、9ps/nm であるときの最適スキュー補償量は、それぞれ、約-9ps、-14ps、-18ps である。

【 0 1 0 5 】

一方、光周波数オフセット = 27MHz においては、図 1 5 ( b ) に示すように、最適スキュー補償量は、実質的に Tx スキューに依存しない。すなわち、Rx スキューが一定であるときには、Tx スキューが変化しても、最適スキュー補償量は殆ど変化しない。図 1 5 ( b ) に示す例では、Tx スキューが 0ps/nm、4.5ps/nm、9ps/nm であるときの最適スキュー補償量は、いずれも約-9ps である。

30

【 0 1 0 6 】

このように、光周波数オフセットが大きいときは、最適スキュー補償量は、ほとんど Tx スキューに依存することなく、実質的に Rx スキューに応じて決まる。したがって、送信器 3 から受信器 4 へ光信号を伝送する光伝送システムにおいて、光周波数オフセットが大きい環境を提供すれば、送信器 3 から独立して受信器 4 において生じる I / Q 間スキューを検出および低減することができる。

【 0 1 0 7 】

送信器 3 から独立して Rx スキューを低減するためには、最適スキュー補償量が実質的に Tx スキューの影響を受けない程度に、光周波数オフセットを十分に大きくする必要がある。「十分に大きい光周波数オフセット」は、例えば、シミュレーションまたは測定により特定される。この場合、例えば、図 1 4 に示すように、光周波数オフセットを徐々に大きくしてゆき、最適スキュー補償量の変動しなくなるような光周波数オフセットをサーチすることで特定される。ただし、「十分に大きい光周波数オフセット」は、受信器 4 が備える A / D 変換器のサンプリングレート、Tx スキューの最大値などにも依存する。

40

【 0 1 0 8 】

ただし、光周波数オフセットを大きくし過ぎると、Q 値が劣化するので好ましくない。したがって、「十分に大きい光周波数オフセット」は、最適スキュー補償量が実質的に Tx スキューの影響を受けることがなく、且つ、Q 値が劣化しない、範囲で決定されることが好ましい。なお、「十分に大きい光周波数オフセット」を実現する場合、キャリア光の光周波数が局発光の光周波数よりも高くてもよいし、キャリア光の光周波数が局発光の光

50

周波数よりも低くてもよい。

【0109】

上述のように、光周波数オフセットが大きい領域では、最適スキュー補償量は、実質的にTxスキューには依存しない。ただし、図15(b)に示すように、光周波数オフセットが大きい領域であっても、Q値は、Txスキューに依存する。たとえば、Txスキューが0psであるときのQ値(特性A)と比較して、Txスキューが4.5psであるときのQ値(特性B)は低い。Txスキューが9psであるときのQ値(特性C)は、さらに低くなっている。換言すれば、送信器3においてTxスキューを低減すれば、Q値を改善することができる。

【0110】

このように、第2の態様では、光周波数オフセットを十分に大きくすることにより、TxスキューおよびRxスキューを独立して低減することができる。したがって、第2の態様のスキュー低減方法は、下記の制御を行う。

- (1) 光周波数オフセットを十分に大きくする
- (2) Q値をモニタしながら最適スキュー補償量を決定し、Rxスキューを低減する
- (3) Q値をモニタしながらTxスキューを低減する

工程(2)(3)を実行する順序は、特に限定されるものではない。即ち、工程(2)を先に実行してもよいし、工程(3)を先に実行してもよいし、工程(2)(3)を交互に繰り返し実行してもよい。また、工程(2)(3)のいずれか一方のみを実行するだけでもよい。以下、第2の態様について、第5～第13の実施形態を説明する。

【0111】

<第5の実施形態>

図16は、第5の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第5の実施形態の光伝送システムは、図2に示す送信器3、図3に示す受信器4、光周波数オフセット設定部61、送受信制御部62を有する。

【0112】

送信器3は、第1の実施形態と同様に、送信LD11、変調部12、Txチャンネル間遅延制御部14を有する。したがって、送信器3についての説明は省略する。ただし、Txチャンネル間遅延制御部14は、送受信制御部62からの指示に応じて各チャンネル(XI、XQ、YI、YQ)の遅延量を制御する。

【0113】

受信器4は、90度光ハイブリッド回路21、局発LD22a、光電変換部23、A/D変換部31、Rxチャンネル間遅延制御部32、光周波数オフセット補償部36、信号品質判定部34を有する。90度光ハイブリッド回路21、光電変換部23、A/D変換部31、Rxチャンネル間遅延制御部32、信号品質判定部34については、第1の実施形態と実質的に同じなので説明を省略する。ただし、Rxチャンネル間遅延制御部32は、送受信制御部62からの指示に応じて各チャンネル(XI、XQ、YI、YQ)の遅延量を制御する。

【0114】

局発LD22aは、第1～第4の実施形態の局発LD22と同様に、90度光ハイブリッド回路21において光信号を受信するための局発光を生成する。ただし、局発LD22aの発振周波数は、光周波数オフセット設定部61により制御される。すなわち、局発LD22aは、光周波数オフセット設定部61により制御される光周波数の局発光を生成する。

【0115】

光周波数オフセット補償部36は、デジタル信号処理により、送信LD11と局発LD22aとの間の光周波数オフセットを補償する。なお、光周波数オフセットをモニタして補償する処理は、公知の技術を利用することができる。また、光周波数オフセット補償部36は、検出した光周波数オフセットを送受信制御部62に通知することができる。

【0116】

10

20

30

40

50

光周波数オフセット設定部 6 1 は、局発 LD 2 2 a の発振周波数を制御する。ここで、光周波数オフセット設定部 6 1 は、送受信制御部 6 2 により決定される光周波数オフセット（または、光周波数オフセット変動量）に応じて、局発 LD 2 2 a の発振周波数を制御する。すなわち、光周波数オフセット設定部 6 1 は、実質的に、送信 LD 1 1 と局発 LD 2 2 a との間の光周波数オフセットを設定する。

【 0 1 1 7 】

送受信制御部 6 2 は、光周波数オフセット補償部 3 6 により検出される光周波数オフセットに応じて、光周波数オフセット設定部 6 1 を制御する。また、送受信制御部 6 2 は、信号品質判定部 3 4 から通知される Q 値に基づいて、Tx チャンネル間遅延制御部 1 4 および Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 におけるスキュー低減を制御する。

10

【 0 1 1 8 】

図 1 7 は、第 5 の実施形態のスキュー低減方法を示すフローチャートである。このフローチャートの処理は、例えば、キャリブレーション時、初期設定時、または送信器 3 および受信器 4 の出荷前に、送受信制御部 6 2 により実行される。このとき、送受信制御部 6 2 は、光周波数オフセットを設定部 6 1、Tx チャンネル間遅延制御部 1 4、Rx チャンネル間遅延制御部 3 2 を利用して図 1 7 に示すフローチャートの処理を実行する。

【 0 1 1 9 】

S 1 1 において、送受信制御部 6 2 は、光周波数オフセットをモニタする。光周波数オフセットは、光周波数オフセット補償部 3 6 により検出され、送受信制御部 6 2 に通知される。

20

【 0 1 2 0 】

S 1 2 において、送受信制御部 6 2 は、光周波数オフセットが所定の閾値よりも大きいかが否かを判定する。この閾値は、図 1 5 ( b ) を参照しながら説明したように、最適スキュー補償量が実質的に Tx スキューに依存しなくなる光周波数に相当する。

【 0 1 2 1 】

光周波数オフセットが閾値以下であれば、送受信制御部 6 2 は、S 1 3 において、その光周波数オフセットが閾値よりも大きくなるように、光周波数オフセット設定部 6 1 を利用して局発 LD 2 2 a の発振周波数を制御する。この結果、光周波数オフセットは、閾値よりも大きくなる。なお、光周波数オフセットが閾値よりも大きければ、S 1 3 はスキップされる。

30

【 0 1 2 2 】

S 1 4 ~ S 1 7 の処理は、実質的に図 7 に示す S 4 ~ S 7 と同じである。すなわち、送受信制御部 6 2 は、光周波数オフセットが十分に大きい状態で、Q 値に基づいて Tx スキューおよび Rx スキューを個々に低減する。

【 0 1 2 3 】

このように、第 5 の実施形態のスキュー低減方法によれば、第 1 ~ 第 4 の実施形態と同様に、送信器 3 のスキューおよび受信器 4 のスキューを独立して低減することができる。したがって、第 5 の実施形態においても、信号品質が向上する。また、スキューを制御および評価するシステムの簡易化および / または高速化が実現される。さらに、第 5 の実施形態においては、波長分散または偏波モード分散を付加するための構成を備えなくてもよい。

40

【 0 1 2 4 】

< 第 6 ~ 第 8 の実施形態 >

第 6 ~ 第 8 の実施形態は、第 5 の実施形態のバリエーションであり、光周波数オフセット制御を実現するための構成が異なっている。以下、第 6 ~ 第 8 の実施形態について、第 5 の実施形態との差異を記載する。なお、図 1 8 ~ 図 2 0 では光周波数オフセット補償部 3 6 が省略されているが、第 6 ~ 第 8 の実施形態においても、第 5 の実施形態と同様に、受信器 4 は光周波数オフセット補償部 3 6 を備えている。

【 0 1 2 5 】

図 1 8 は、第 6 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を

50

示す。第 6 の実施形態の光伝送システムにおいては、光周波数モニタ 6 3 が、受信器 4 への入力光信号の光周波数をモニタする。すなわち、光周波数モニタ 6 3 は、送信 LD 1 1 の光周波数をモニタする。

【 0 1 2 6 】

光周波数オフセット設定部 6 1 は、光周波数モニタ 6 3 により検出される送信 LD 1 1 の光周波数と局発光の光周波数とを比較する。そして、スキュー制御を開始する旨の指示を送受信制御部 6 2 から受けると、光周波数オフセット設定部 6 1 は、上記光周波数の差分（すなわち、光周波数オフセット）が十分に大きくなるように、局発 LD 2 2 a の発振周波数を制御する。この結果、光周波数オフセットが十分に大きくなり、送受信制御部 6 2 は、Tx スキューおよび Rx スキューを個々に低減することができる。なお、スキュー制御が終了すると、光周波数オフセット設定部 6 1 は、光周波数オフセットがゼロになるように局発 LD 2 2 a の発振周波数を制御する。

10

【 0 1 2 7 】

図 1 9 は、第 7 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第 7 の実施形態においては、第 6 の実施形態と比較すると、光周波数モニタ 6 3 が光周波数モニタ 6 4 に置き換えられている。

【 0 1 2 8 】

光周波数モニタ 6 4 には、受信器 4 への入力光信号および局発 LD 2 2 a により生成される局発光が導かれる。そして、光周波数モニタ 6 4 は、入力光信号と局発光との間の干渉により発生するビート周波数をモニタすることで、光周波数オフセットを検出する。その他の構成および動作は、実質的に第 5 または第 6 の実施形態と同じである。

20

【 0 1 2 9 】

図 2 0 は、第 8 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第 8 の実施形態においては、受信器 4 は、局発 LD を備えず、入力光信号を利用して入力光信号を復調する。すなわち、受信器 4 は、いわゆるセルフコヒーレント方式で入力光信号を受信する。

【 0 1 3 0 】

周波数シフト部 6 5 は、送受信制御部 6 2 の制御に応じて、入力光信号の光周波数を制御する。例えば、スキュー制御時には、周波数シフト部 6 5 は、送受信制御部 6 2 の制御に応じて、光周波数オフセットが十分に大きくなるように、入力光信号の光周波数をシフトさせる。そして、光増幅部 6 6 は、周波数シフト部 6 5 から出力される周波数シフト光を増幅する。光増幅器 6 6 は、例えば、光増幅器である。あるいは、光増幅部 6 6 は、入力光を種として発振する注入同期 LD ( Injection Locking LD ) であってもよい。ただし、光増幅部 6 6 は必須の要素ではない。

30

【 0 1 3 1 】

このように、第 5 ~ 第 8 の実施形態は、光周波数オフセットを付加する構成が互いに異なるが、大きな光周波数オフセットを利用して Tx スキューおよび Rx スキューを個々に低減する動作は実質的に同じである。したがって、第 6 ~ 第 8 の実施形態においても第 5 の実施形態と同様の効果が得られる。

【 0 1 3 2 】

< 第 9 ~ 第 1 2 の実施形態 >

第 5 ~ 第 8 の実施形態においては、受信器 4 において光信号を受信するために使用される光（局発光または受信光信号を利用して生成される光）の周波数を変えることにより、大きな光周波数オフセットが実現される。これに対して、第 9 ~ 第 1 2 の実施形態においては、送信器 3 において光信号を送送するためのキャリア光の周波数を変えることで、大きな光周波数オフセットが実現される。

40

【 0 1 3 3 】

図 2 1 は、第 9 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第 9 の実施形態においては、送信器 3 は、送信 LD 1 1 a、変調部 1 2、Tx チャネル間遅延制御部 1 4 を備える。この構成は、後述する第 1 0 および第 1 1 の実施形態に

50

においても同様である。

【0134】

送信LD11aは、第1～第8の実施形態の送信LD11と同様に、変調部12に入力されるキャリア光を生成する。ただし、送信LD11aの発振周波数は、光周波数オフセット設定部67により制御される。すなわち、送信LD11aは、光周波数オフセット設定部67により制御される光周波数の局発光を生成する。

【0135】

光周波数オフセット設定部67は、送信LD11aの発振周波数を制御する。ここで、光周波数オフセット設定部67は、送受信制御部62により決定される光周波数オフセット（または、光周波数オフセット変動量）に応じて、送信LD11aの発振周波数を制御する。すなわち、光周波数オフセット設定部67は、実質的に、送信LD11aと局発LD22との間の光周波数オフセットを設定する。

10

【0136】

第9の実施形態のスキュー低減方法は、図16に示す第5の実施形態に対応する。すなわち、送受信制御部62は、光周波数オフセット補償部36により検出される光周波数オフセットに応じて、光周波数オフセット設定部67を制御する。また、送受信制御部62は、信号品質判定部34から通知されるQ値に基づいて、Txチャンネル間遅延制御部14およびRxチャンネル間遅延制御部32におけるスキュー低減を制御する。

【0137】

図22は、第10の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。なお、第10の実施形態のスキュー低減方法は、図18に示す第6の実施形態に対応する。

20

【0138】

第10の実施形態の光伝送システムにおいては、光周波数モニタ68が、局発LD22により生成される局発光の光周波数をモニタする。そして、光周波数オフセット設定部67は、送信LD11aにより生成されるキャリア光の光周波数と光周波数モニタ68により検出される局発光の光周波数とを比較する。そして、スキュー制御を開始する旨の指示を送受信制御部62から受けると、光周波数オフセット設定部67は、上記光周波数の差分（すなわち、光周波数オフセット）が十分に大きくなるように、送信LD11aの発振周波数を制御する。この結果、光周波数オフセットが十分に大きくなり、送受信制御部62は、TxスキューおよびRxスキューを個々に低減することができる。

30

【0139】

図23は、第11の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。なお、第11の実施形態のスキュー低減方法は、図19に示す第7の実施形態に対応する。

【0140】

第11の実施形態においては、第10の実施形態と比較すると、光周波数モニタ68が光周波数モニタ69に置き換えられている。光周波数モニタ69には、受信器4への入力光信号および局発LD22により生成される局発光が導かれる。そして、光周波数モニタ69は、入力光信号と局発光との間の干渉により発生するビート周波数をモニタすることで、光周波数オフセットを検出する。その他の構成および動作は、実質的に第9または第10の実施形態と同じである。

40

【0141】

図24は、第12の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。なお、第12の実施形態のスキュー低減方法は、図20に示す第8の実施形態に対応する。

【0142】

第12の実施形態においては、送信器3は、送信LDを備えず、受信器4において生成される局発光を利用して信号を送信する。すなわち、局発LD22により生成される局発光は、光スプリッタ等により分岐されて周波数シフト部70に導かれる。周波数シフト部

50

70は、送受信制御部62の制御に応じて、局発光の光周波数を制御してキャリア光を生成する。変調部12は、このキャリア光をデータ信号で変調して光信号を生成する。

【0143】

例えば、スキュー制御時には、周波数シフト部70は、送受信制御部62の制御に応じて、光周波数オフセットが十分に大きくなるように、局発光の光周波数をシフトさせる。この構成により、大きな光周波数オフセットが実現される。なお、周波数シフト部70と変調部12との間には、必要に応じて、図20に示す光増幅部66を設けてもよい。

【0144】

このように、第9～第12の実施形態は、キャリア光の光周波数を制御する構成であるが、大きな光周波数オフセットを利用してT×スキューおよびR×スキューを個々に低減する動作は実質的に第5～第8の実施形態と同じである。したがって、第9～第12の実施形態においても第5～第8の実施形態と同様の効果が得られる。

10

【0145】

なお、第5～第8の実施形態では局発光の光周波数が制御され、第9～第12の実施形態ではキャリア光の光周波数が制御される。しかし、第2の態様は、局発光またはキャリア光の一方を制御する構成に限定されない。すなわち、第5～第8の実施形態と第9～第12の実施形態とを任意に組み合わせてもよい。この場合、大きな光周波数オフセットを実現するために、局発光およびキャリア光の双方が制御される。

【0146】

<第13の実施形態>

20

第5～第12の実施形態においては、光周波数を直接的に制御することにより、大きな光周波数オフセットが実現される。これに対して、第13の実施形態では、光信号を生成するためのデータ信号を制御することで、大きな光周波数オフセットが実現される。

【0147】

図25は、第13の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第13の実施形態においては、送信器3は、電気変調部72を有する。電気変調部72は、図25ではT×チャンネル間遅延制御部14と変調部12との間に設けられているが、T×チャンネル間遅延制御部14の入力側に設けられてもよい。

【0148】

送受信制御部62は、例えば第5の実施形態と同様に、光周波数オフセット補償部36により検出される光周波数オフセットに応じて、光周波数オフセット設定部71を制御する。光周波数オフセット設定部71は、電気変調部72の信号処理を制御する。ここで、光周波数オフセット設定部71は、送受信制御部62により決定される光周波数オフセット（または、光周波数オフセット変動量）に応じて、電気変調部72の信号処理を制御する。すなわち、光周波数オフセット設定部71は、実質的に、送信LD11と局発LD22aとの間の光周波数オフセットを設定する。

30

【0149】

電気変調部72は、例えば、デジタルフィルタで実現される。この場合、電気変調部72は、タップ係数を適切に制御することにより、光周波数のシフトを実現する。したがって、光周波数オフセット設定部71の制御に応じて更新されたタップ係数を利用してデータ信号を処理することで、実質的にキャリア光の光周波数が制御され、大きな光周波数オフセットが実現される。

40

【0150】

なお、図25に示す例では、デジタル信号処理（すなわち、光周波数オフセット補償部36）を利用して光周波数オフセットがモニタされているが、他の方法で光周波数オフセットをモニタしてもよい。すなわち、図22に示すような各LDの光周波数をモニタする構成、或いは図23に示すような干渉によるビート周波数を利用する構成を、第13の実施形態に適用してもよい。

【0151】

<第3の態様>

50

第1の態様では、TxスキューおよびRxスキューを独立して低減できるようにするために、光信号に対して大きな分散（例えば、波長分散、偏波モード分散）が付加される。第2の態様では、キャリア光と局発光との間の光周波数オフセットが制御される。これに対して、第3の態様では、TxスキューおよびRxスキューを独立して低減できるようにするために、キャリア光と局発光との間の光位相差が制御される。

【0152】

図26は、スキュー、光位相差、Q値の関係を示す。なお、図26において、横軸は、受信器4において与えられるスキュー補償量を表す。縦軸は、Q値を表す。Phaseで表記される光位相差は、キャリア光の光位相と局発光の光位相との差分を表す。

【0153】

図26に示すグラフは、下記の条件でシミュレーションを行うことにより得られる。送信器3と受信器4との間の光伝送路の波長分散はゼロである。光周波数オフセットはゼロである。TxスキューおよびRxスキューは、いずれも+9psである。送信LD11および局発LD22の線幅は、100kHzである。光信号対雑音比は、15dBである。

【0154】

上記シミュレーションにおいて、光位相差がゼロであるときは、受信器4におけるスキュー補償量が約-18psであるときに、Q値が最適化される。ここで、TxスキューおよびRxスキューを単純に足し合わせると、18psである。すなわち、光位相差がゼロであるときは、TxスキューおよびRxスキューの和を補償すれば、Q値が最適化される。

【0155】

光位相差が25度のときは、光位相差がゼロであるときと比較すると、最適スキュー補償量は少しシフトする。さらに、光位相差が45度のときは、光位相差がゼロであるときと比較すると、最適スキュー補償量は大きくシフトしている。

【0156】

図27は、光位相差に対して、Txスキュー、Rxスキュー、スキュー補償量の関係を示す。図27に示すシミュレーション結果は、図26と同じ条件で得られたものである。ただし、図27(a)においては、光位相差=0度で、Txスキューを変化させている。図27(b)においては、光位相差=45度で、Txスキューを変化させている。なお、図27(a)および図27(b)において、Rxスキューは一定(9ps)である。

【0157】

光位相差=0度では、図27(a)に示すように、最適スキュー補償量は、Txスキューに依存する。すなわち、Txスキューが0ps/nm、4.5ps/nm、9ps/nmであるときの最適スキュー補償量は、それぞれ、約-9ps、-14ps、-18psである。

【0158】

一方、光位相差=45度においては、図27(b)に示すように、最適スキュー補償量は、実質的にTxスキューに依存しない。すなわち、Rxスキューが一定であるときは、Txスキューが変化しても、最適スキュー補償量は殆ど変化しない。図27(b)に示す例では、Txスキューが0ps/nm、4.5ps/nm、9ps/nmであるときの最適スキュー補償量は、いずれも約-10psである。

【0159】

このように、光位相差が45度であるときは、最適スキュー補償量は、ほとんどTxスキューに依存することなく、実質的にRxスキューに応じて決まる。したがって、送信器3から受信器4へ光信号を伝送する光伝送システムにおいて、光位相差を45度に制御すれば、送信器3から独立して受信器4において生じるI/Q間スキューを検出および低減することができる。

【0160】

なお、図27(b)では、光位相差=45度でシミュレーションが行われているが、光位相差は、正確に45度でなくてもよく、光位相差を約45度に制御すれば、最適スキュー補償量は、ほとんどTxスキューに依存しなくなる。また、光位相差は、約45度に限定されるものではなく、約 $45 + n / 2$ 度であればよい。nは、ゼロを含む任意の整数

10

20

30

40

50

である。以下では、 $n = 0$ として説明する。

【0161】

上述のように、光位相差が約45度であるときは、最適スキュー補償量は、実質的にTxスキューには依存しない。ただし、図27(b)に示すように、光位相差が約45度であっても、Q値は、Txスキューに依存する。例えば、Txスキューが0psであるときのQ値(特性A)と比較して、Txスキューが4.5psであるときのQ値(特性B)は低い。Txスキューが9psであるときのQ値(特性C)は、さらに低くなっている。換言すれば、送信器3においてTxスキューを低減すれば、Q値を改善することができる。

【0162】

このように、第3の態様では、光位相差を約45度に制御することにより、TxスキューおよびRxスキューを独立して低減することができる。したがって、第3の態様のスキュー低減方法は、下記の制御を行う。

(1) 光位相差を約45度に制御する

(2) Q値をモニタしながら最適スキュー補償量を決定し、Rxスキューを低減する

(3) Q値をモニタしながらTxスキューを低減する

工程(2)(3)を実行する順序は、特に限定されるものではない。即ち、工程(2)を先に実行してもよいし、工程(3)を先に実行してもよいし、工程(2)(3)を交互に繰り返し実行してもよい。また、工程(2)(3)のいずれか一方のみを実行するだけでもよい。以下、第2の態様について、第14~第15の実施形態を説明する。

【0163】

<第14~第15の実施形態>

図28は、第14の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第14の実施形態の光伝送システムは、図2に示す送信器3、図3に示す受信器4、光位相差モニタ81、送受信制御部82、光位相差設定部83を有する。

【0164】

送信器3は、第1の実施形態と同様に、送信LD11、変調部12、Txチャンネル間遅延制御部14を有する。したがって、送信器3についての説明は省略する。ただし、Txチャンネル間遅延制御部14は、送受信制御部82からの指示に応じて各チャンネル(XI、XQ、YI、YQ)の遅延量を制御する。

【0165】

受信器4は、90度光ハイブリッド回路21、局発LD22b、光電変換部23、A/D変換部31、Rxチャンネル間遅延制御部32、信号品質判定部34を有する。90度光ハイブリッド回路21、光電変換部23、A/D変換部31、Rxチャンネル間遅延制御部32、信号品質判定部34については、第1の実施形態と実質的に同じなので説明を省略する。ただし、Rxチャンネル間遅延制御部32は、送受信制御部82からの指示に応じて各チャンネル(XI、XQ、YI、YQ)の遅延量を制御する。

【0166】

局発LD22bは、第1~第4の実施形態の局発LD22と同様に、90度光ハイブリッド回路21に与えられる局発光を生成する。ただし、局発LD22bの光位相は、光位相差設定部83により制御される。すなわち、局発LD22bは、光位相差設定部83により制御される光位相の局発光を生成する。

【0167】

光位相差モニタ81は、受信光信号の光位相と局発LD22bにより生成される局発光の光位相とを比較する。すなわち、光位相差モニタ81は、キャリア光と局発光との間の光位相差をモニタする。

【0168】

光位相差設定部83は、スキュー制御を開始する旨の指示を送受信制御部62から受けると、上記光位相差が約45度になるように、局発LD22bの発振位相を制御する。この結果、キャリア光と局発光との間の光位相差が約45度になり、送受信制御部82は、TxスキューおよびRxスキューを個々に低減することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 6 9 】

図 2 9 は、第 1 4 の実施形態のスキュー低減方法を示すフローチャートである。このフローチャートの処理は、たとえば、キャリブレーション時、初期設定時、または送信器 3 および受信器 4 の出荷前に、送受信制御部 8 2 および光位相差設定部 8 3 により実行される。

## 【 0 1 7 0 】

S 2 1 において、光位相差設定部 8 3 は、光位相差を検出する。光位相差は、光位相差モニタ 8 1 によりモニタされている。続いて、S 2 2 において、光位相差設定部 8 3 は、光位相差が約 4 5 度になるように、局発 L D 2 2 b の発振位相を制御する。なお、検出された光位相差が約 4 5 度であれば、光位相差設定部 8 3 は、局発 L D 2 2 b の状態を維持する。

10

## 【 0 1 7 1 】

S 2 3 ~ S 2 6 の処理は、実質的に図 7 に示す S 4 ~ S 7 と同じである。すなわち、送受信制御部 8 2 は、光位相差が 4 5 度に制御されている状態で、Q 値に基づいて T x スキューおよび R x スキューを個々に低減する。

## 【 0 1 7 2 】

このように、第 1 4 の実施形態のスキュー低減方法によれば、第 1 ~ 第 1 3 の実施形態と同様に、送信器 3 のスキューおよび受信器 4 のスキューを独立して低減することができる。したがって、第 1 4 の実施形態においても、信号品質が向上する。また、スキューを制御および評価するシステムの簡易化および / または高速化が実現される。

20

## 【 0 1 7 3 】

第 1 5 の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す。第 1 5 の実施形態の光伝送システムにおいては、光 P L L デバイス 8 4 を利用して、光位相差 = 4 5 度が実現される。

## 【 0 1 7 4 】

光 P L L デバイス 8 4 は、光位相差設定 8 3 から指定される位相差を得るように、局発 L D 2 2 b を制御する。ここで、スキュー低減制御時においては、光位相差設定部 8 3 は光位相差 = 4 5 度を指定する。そうすると、光 P L L デバイス 8 4 は、光位相差が約 4 5 度となるように、局発 L D 2 2 b の発振位相を制御する。この結果、光位相差が約 4 5 度に制御され、送受信制御部 8 2 は、Q 値に基づいて T x スキューおよび R x スキューを個々に低減することができる。

30

## 【 0 1 7 5 】

< システムの運用とスキュー低減 >

図 3 1 は、光伝送システムの運用とスキュー低減について説明する図である。図 3 1 に示す光伝送システムは、互いに離れた地点に光伝送装置 2 A、2 B を備える。光伝送装置 2 A は送信器 3 A および受信器 4 A を備え、光伝送装置 2 B は送信器 3 B および受信器 4 B を備える。

## 【 0 1 7 6 】

光伝送装置 2 A 内の送信器 3 A および受信器 4 A は、この例では、図 6 に示す送信器 3 および受信器 4 と同じである。また、光伝送装置 2 A は、図 6 に示す波長分散付加部 4 1 および送受信制御部 4 2 を備える。さらに、光伝送装置 2 A は、光経路切替部 9 1、9 2 を備えている。なお、光伝送装置 2 B の構成は、光伝送装置 2 A と実質的に同じなので、説明を省略する。

40

## 【 0 1 7 7 】

光経路切替部 9 1 は、送受信制御部 4 2 の制御に応じて、送信器 3 A から出力される光信号を光伝送路 5 A または波長分散付加部 4 1 に導く。例えば、データ送信時には、光経路切替部 9 1 は、送信器 3 A から出力される光信号を光伝送路 5 A に導く。また、スキュー低減制御時においては、光経路切替部 9 1 は、送信器 3 A から出力される光信号を波長分散付加部 4 1 に導く。

## 【 0 1 7 8 】

50

光経路切替部 9 2 は、送受信制御部 4 2 の制御に応じて、光伝送路 5 B を介して受信する光信号または波長分散付加部 4 1 から出力される光信号を選択して 9 0 度光ハイブリッド回路 2 1 に導く。たとえば、データ送信時には、光経路切替部 9 2 は、光伝送路 5 B を介して受信する光信号を 9 0 度光ハイブリッド回路 2 1 に導く。また、スキュー低減制御時には、光経路切替部 9 2 は、波長分散付加部 4 1 から出力される光信号を 9 0 度光ハイブリッド回路 2 1 に導く。

【 0 1 7 9 】

図 3 2 は、図 3 1 に示すシステムにおけるスキュー低減方法を示すフローチャートである。このフローチャートの処理は、例えば、光伝送システムがデータ伝送の運用を開始する前に実行される。或いは、光伝送システムの運用をいったん停止して、メンテナンス作業の中でこのフローチャートの処理を実行してもよい。なお、以下の説明では、光伝送装置 2 A においてスキュー低減が行われるが、光伝送装置 2 A、2 B 双方においてスキュー低減を行うようにしてもよい。

10

【 0 1 8 0 】

S 3 1 において、送受信制御部 4 2 は、送信器 3 A の出力光信号を受信器 4 A に導くように、光経路切替部 9 1、9 2 を制御する。これにより、光経路切替部 9 1 は、送信器 3 A から出力される光信号を波長分散付加部 4 1 に導く。また、光経路切替部 9 2 は、波長分散付加部 4 1 から出力される光信号を 9 0 度光ハイブリッド回路 2 1 に導く。すなわち、この光経路切替により、送信器 3 A の出力光信号は、波長分散付加部 4 1 を介して受信器 4 A に導かれるようになる。

20

【 0 1 8 1 】

S 1 ~ S 7 については、図 7 を参照しながら説明した通りである。すなわち、送信器 3 A から受信器 4 A に導かれる光信号に十分に大きな波長分散が付加される。そして、送信器 3 A において生じる I / Q 間スキューおよび受信器 4 A において生じる I / Q 間スキューが個々に低減される。

【 0 1 8 2 】

S 3 2 において、送受信制御部 4 2 は、送信器 3 A の出力光信号を受信器 4 B に導くように光経路切替部 9 1 を制御する。また、送受信制御部 4 2 は、送信器 3 B の出力光信号を受信器 4 A に導くように光経路切替部 9 2 を制御する。すなわち、光伝送装置 2 A、2 B 間に双方向リンクが確立される。この後、光伝送装置 2 A、2 B は、双方向リンクを利用してデータを伝送する。

30

【 0 1 8 3 】

なお、図 3 1 ~ 図 3 2 に示す例では、第 1 の実施形態に係る構成が採用されているが、第 2 ~ 第 1 5 の実施形態に係る構成を採用してもよい。すなわち、偏波モード分散または光周波数オフセットを大きくする構成を図 3 1 に示すシステムに適用してもよい。また、光位相差を所定の値に設定する構成を図 3 1 に示すシステムに適用してもよい。

【 0 1 8 4 】

アクティブ系および予備系を有する光伝送システムにおいては、アクティブ系の送信器から出力される光信号をスタンバイ系の受信器へループバックすることにより、および / または、スタンバイ系の送信器から出力される光信号をアクティブ系の受信器へループバックすることにより、スキュー低減を行ってもよい。

40

【 0 1 8 5 】

< 他の実施形態 >

スキューを低減するときには、光伝送システムは、実際のデータ通信を行うときとは異なる変調方式で信号を伝送してもよい。例えば、キャリアレーション時には、送信器 3 および受信器 4 は、シンボル当たりの情報量が少ない変調方式 ( Q P S K など ) で光信号を伝送する。シンボル当たりの情報量が少ない変調方式でキャリアレーションを行うと、送信器が最適化されていない場合でも特性上のマージンがあるで、最適化手順を開始しやすくなる。そして、この伝送状態において、スキュー等の基本的なデバイスパラメータの調整が行われる。さらに、スキュー低減制御が終了した後、送信器 3 および受信器 4 は、シン

50

ボル当たりの情報量が多い変調方式（16QAMなど）でデータを伝送する。

【0186】

以上記載した各実施例を含む実施形態に関し、さらに以下の付記を開示する。なお、本発明は、以下の付記に限定されるものではない。

（付記1）

第1のチャンネルおよび第2のチャンネルを含む光信号を送信する送信器および前記光信号を受信する受信器を有する光伝送システムにおいて、前記第1のチャンネルと前記第2のチャンネルとの間のスキューを低減する方法であって、

前記光信号に付加される分散を所定量よりも大きくし、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第1のチャンネルと前記第2のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第1のチャンネルまたは前記第2のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御し、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第1のチャンネルと前記第2のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第1のチャンネルまたは前記第2のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する、ことを特徴とするスキュー低減方法。

（付記2）

前記所定量は、前記光信号の品質を最適化するために前記受信器内で前記第1のチャンネルまたは前記第2のチャンネルの少なくとも一方を制御する遅延時間が、前記送信器内のスキューに実質的に依存しなくなる分散量である

ことを特徴とする付記1に記載のスキュー低減方法。

（付記3）

前記分散は、波長分散または偏波モード分散である

ことを特徴とする付記1に記載のスキュー低減方法。

（付記4）

第1のチャンネルおよび第2のチャンネルを含む光信号を送信する送信器および前記光信号を受信する受信器を有する光伝送システムにおいて、前記第1のチャンネルと前記第2のチャンネルとの間のスキューを低減する方法であって、

前記光信号を送信するためのキャリア光と前記受信器において前記光信号を受信するために使用される局発光との間の光周波数オフセットを所定量よりも大きくし、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第1のチャンネルと前記第2のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第1のチャンネルまたは前記第2のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御し、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第1のチャンネルと前記第2のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第1のチャンネルまたは前記第2のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する、ことを特徴とするスキュー低減方法。

（付記5）

前記所定量は、前記光信号の品質を最適化するために前記受信器内で前記第1のチャンネルまたは前記第2のチャンネルの少なくとも一方を制御する遅延時間が、前記送信器内のスキューに実質的に依存しなくなる光周波数オフセットである

ことを特徴とする付記4に記載のスキュー低減方法。

（付記6）

前記局発光の光周波数を制御することで、前記光周波数オフセットを前記所定量よりも大きくする

ことを特徴とする付記4に記載のスキュー低減方法。

（付記7）

前記キャリア光の光周波数を制御することで、前記光周波数オフセットを前記所定量よりも大きくする

ことを特徴とする付記4に記載のスキュー低減方法。

10

20

30

40

50

(付記 8)

前記送信器において、前記キャリア光を変調する電気信号を制御することで、前記光周波数オフセットを前記所定量よりも大きくする

ことを特徴とする付記 4 に記載のスキュー低減方法。

(付記 9)

第 1 のチャンネルおよび第 2 のチャンネルを含む光信号を送信する送信器および前記光信号を受信する受信器を有する光伝送システムにおいて、前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルとの間のスキューを低減する方法であって、

前記光信号を伝送するためのキャリア光の光位相と前記受信器において前記光信号を受信するために使用される局発光の光位相との差を所定量に制御し、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御し、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する、  
ことを特徴とするスキュー低減方法。

10

(付記 10)

前記所定量は、約  $45 + n / 2$  度 ( $n$  は、ゼロを含む任意の整数) である

ことを特徴とする付記 9 に記載のスキュー低減方法。

20

(付記 11)

前記第 1 のチャンネルおよび前記第 2 のチャンネルは、それぞれ I チャンネルおよび Q チャンネルである

ことを特徴とする付記 1 ~ 10 のいずれか 1 つに記載のスキュー低減方法。

(付記 12)

第 1 のチャンネルおよび第 2 のチャンネルを含む光信号を送信する送信器または前記光信号を受信する受信器の少なくとも一方において、前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルとの間のスキューを低減する方法であって、

前記光信号に付加される分散を所定量よりも大きくし、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する第 1 の制御、または、前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御する第 2 の制御、の少なくとも一方を行う、

30

ことを特徴とするスキュー低減方法。

(付記 13)

第 1 のチャンネルおよび第 2 のチャンネルを含む光信号を送信する送信器および前記光信号を受信する受信器を有する光伝送システムであって、

前記光信号に分散を付加する分散付加器と、

前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記受信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記受信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御すると共に、前記受信器においてモニタされる前記光信号の品質に基づいて、前記送信器内での前記第 1 のチャンネルと前記第 2 のチャンネルの間のスキューが低減するように、前記送信器内で前記第 1 のチャンネルまたは前記第 2 のチャンネルの少なくとも一方の遅延時間を制御するコントローラと、

40

を備えることを特徴とする光伝送システム。

(付記 14)

50

前記分散付加器は、前記送信器と前記受信器との間に設けられ、光学的に前記光信号に分散を付加する

ことを特徴とする付記 13 に記載の光伝送システム。

(付記 15)

前記分散付加器は、前記送信器においてキャリア光を変調する電気信号に対して、前記光信号に付加される分散と等価な歪を与えるデジタルフィルタである

ことを特徴とする付記 13 に記載の光伝送システム。

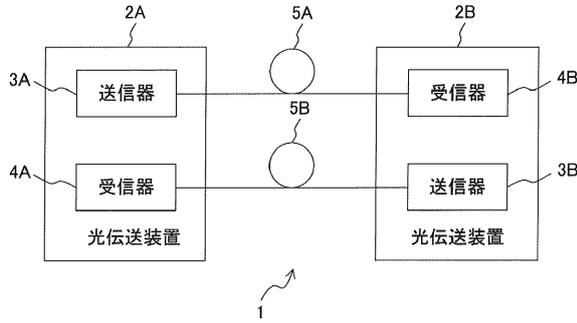
【符号の説明】

【0187】

- |             |               |    |
|-------------|---------------|----|
| 3           | 送信器           | 10 |
| 4           | 受信器           |    |
| 11、11a      | 送信LD          |    |
| 12          | 変調部           |    |
| 14          | Txチャンネル間遅延制御部 |    |
| 22、22a、22b  | 局発LD          |    |
| 32          | Rxチャンネル間遅延制御部 |    |
| 34          | 信号品質判定部       |    |
| 41、43       | 波長分散付加部       |    |
| 42、52、62、82 | 送受信制御部        |    |
| 51、53       | 偏波分散付加部       | 20 |
| 61、67、71    | 光周波数オフセット設定部  |    |
| 63、64、68、69 | 光周波数モニタ       |    |
| 65、70       | 周波数シフト部       |    |
| 81          | 光位相差モニタ       |    |
| 83          | 光位相差設定部       |    |
| 84          | 光PLLデバイス      |    |
| 91、92       | 光経路切替部        |    |

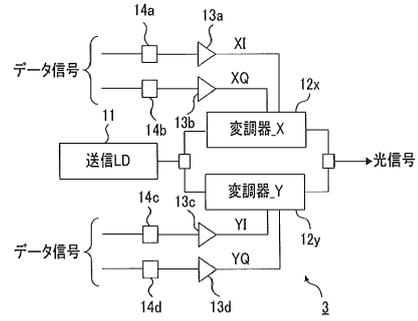
【 図 1 】

実施形態の光伝送システムの構成を示す図



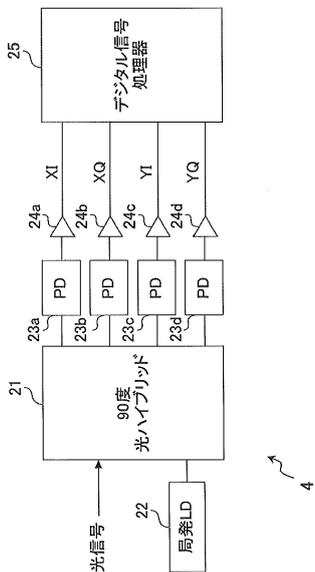
【 図 2 】

送信器の一例の構成を示す図



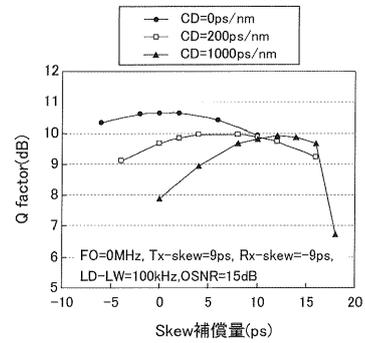
【 図 3 】

受信器の一例の構成を示す図



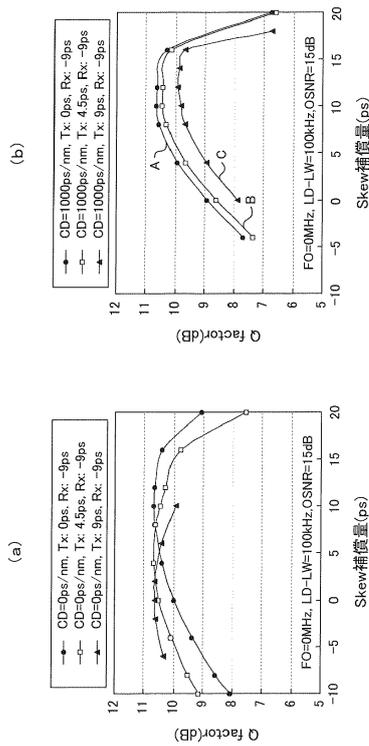
【 図 4 】

スキュー、波長分散、Q値の関係を示す図



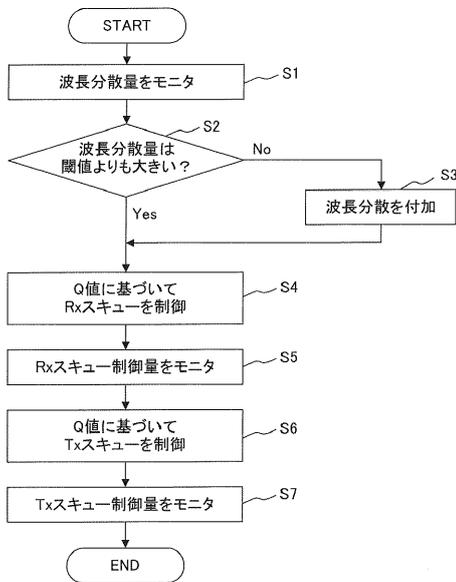
【 図 5 】

Txスキュー、Rxスキュー、スキュー補償量の関係を示す図



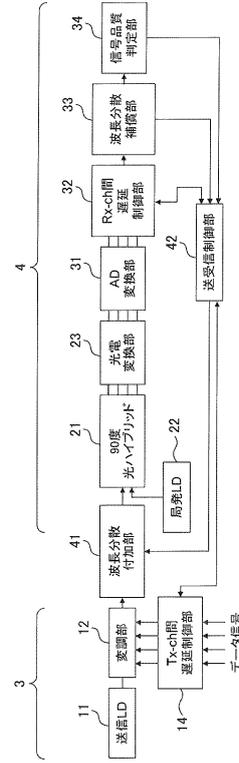
【 図 7 】

第1の実施形態のスキュー低減方法を示すフローチャー



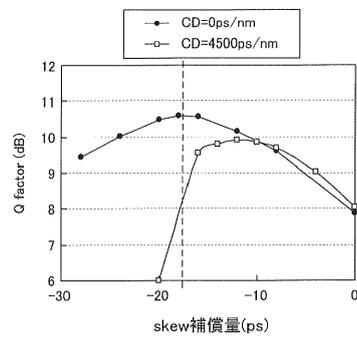
【 図 6 】

第1の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図



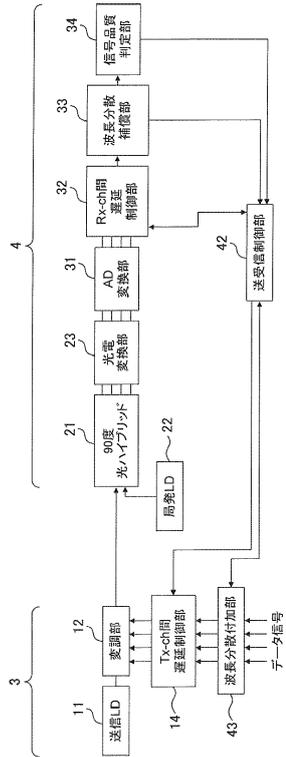
【 図 8 】

第1の実施形態のスキュー低減方法の効果を示す図



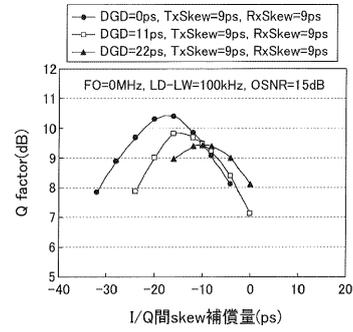
【 図 9 】

第2の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図



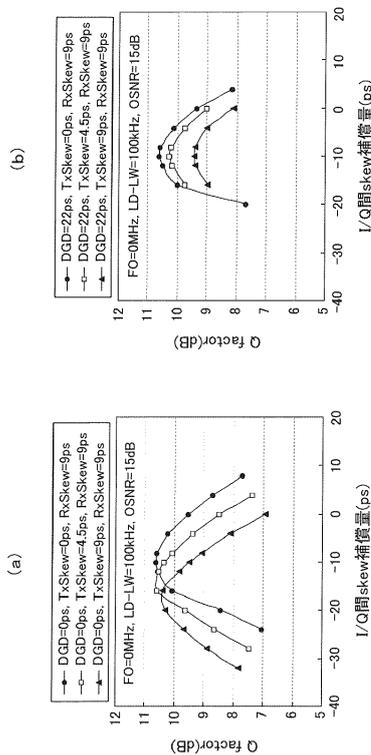
【 図 1 0 】

スキュー、偏波モード分散、Q値の関係を示す図



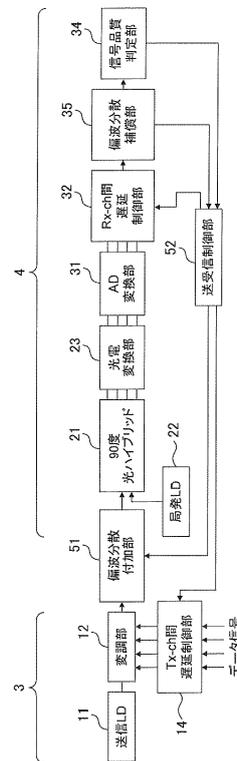
【 図 1 1 】

偏波モード分散に対して、Txスキュー、Rxスキュー、スキュー補償量の関係を示す図



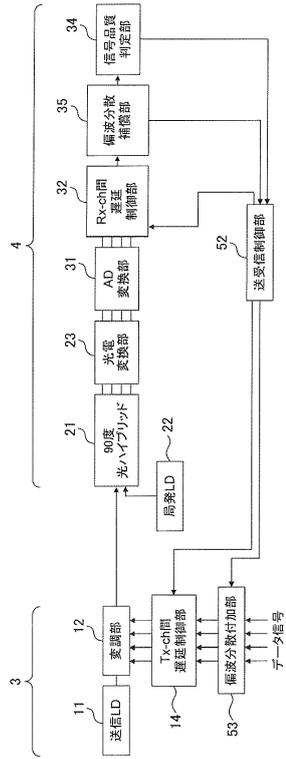
【 図 1 2 】

第3の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図



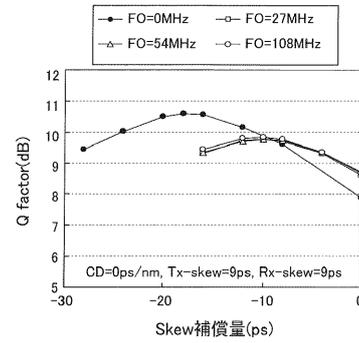
【 図 1 3 】

第4の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図



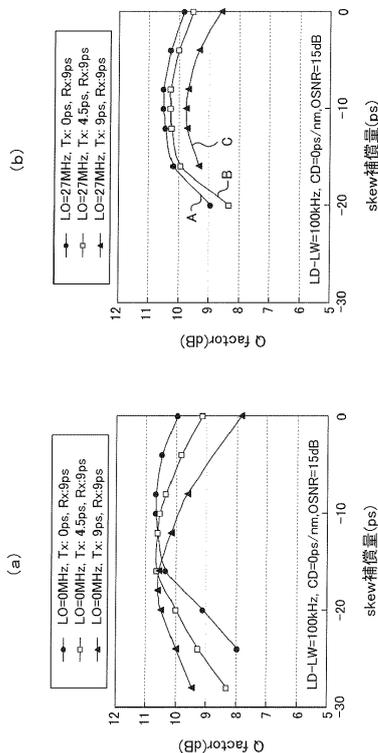
【 図 1 4 】

スキュー、周波数オフセット、Q値の関係を示す図



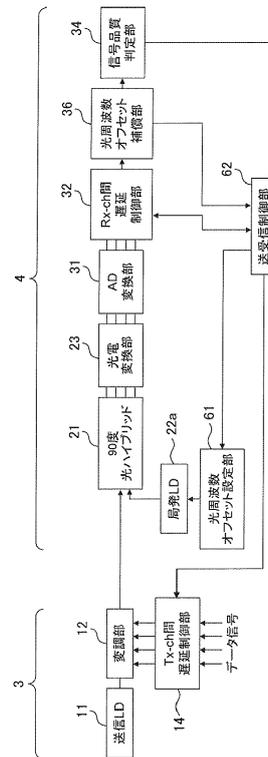
【 図 1 5 】

周波数オフセットに対して、Txスキュー、Rxスキュー、スキュー補償量の関係を示す図



【 図 1 6 】

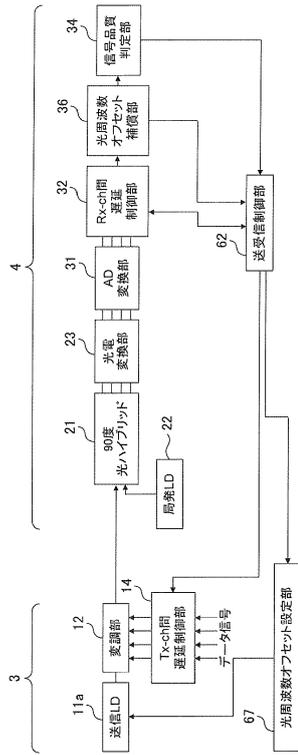
第5の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図





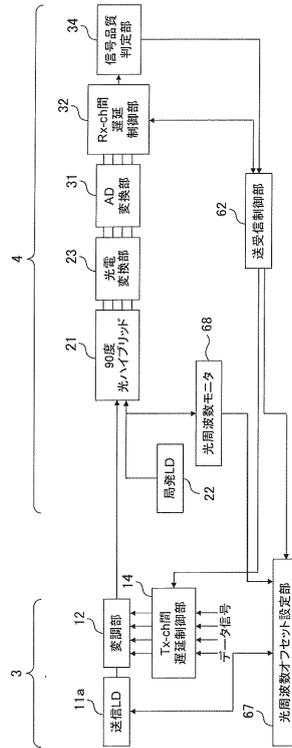
【 図 2 1 】

第9の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図



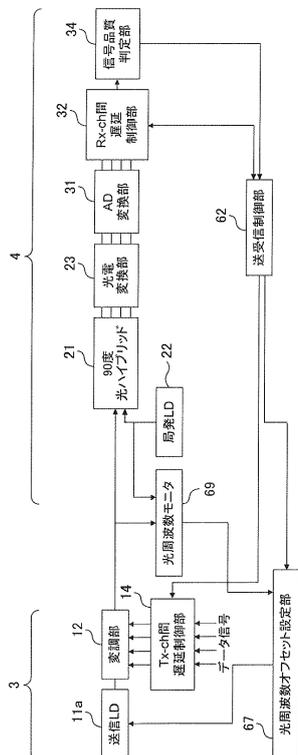
【 図 2 2 】

第10の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図



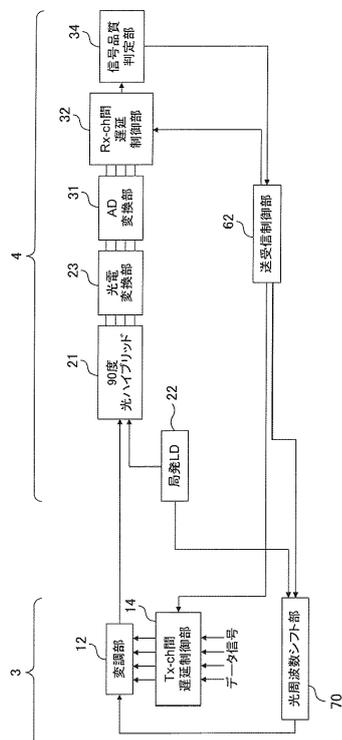
【 図 2 3 】

第11の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図



【 図 2 4 】

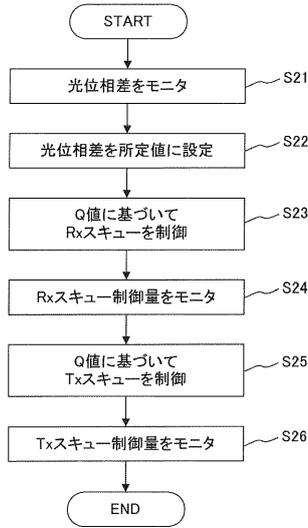
第12の実施形態に係るスキュー低減方法を実現する光伝送システムの構成を示す図





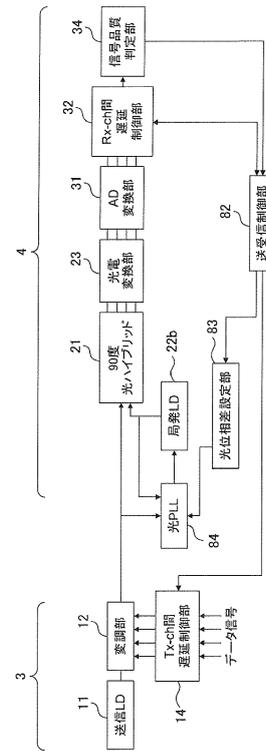
【図 29】

第14の実施形態のスキュー低減方法を示すフローチャート



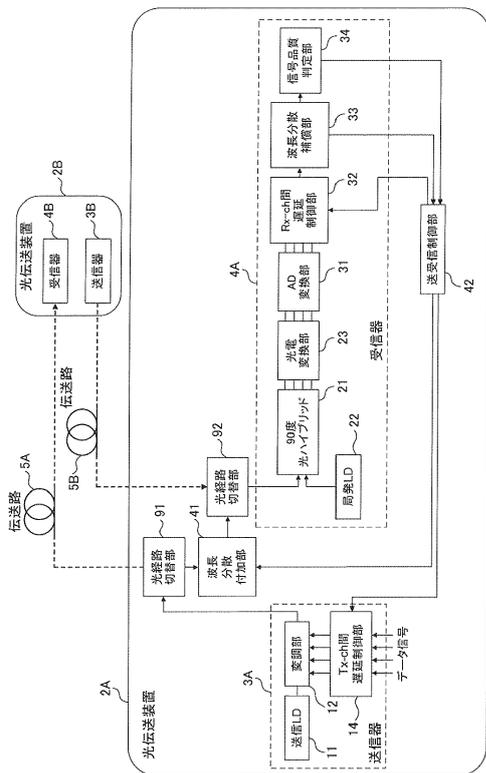
【図 30】

第15の実施形態に係るスキュー低減方法を  
実現する光伝送システムの構成を示す図



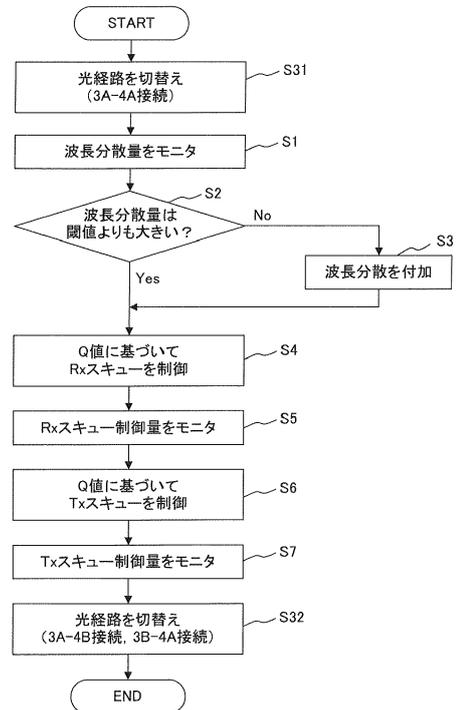
【図 31】

光伝送システムの運用とスキュー低減について説明する図



【図 32】

図31に示すシステムにおける  
スキュー低減方法を示すフローチャート



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
<i>H 0 4 B 10/152 (2006.01)</i>		
<i>H 0 4 B 10/142 (2006.01)</i>		
<i>H 0 4 B 10/06 (2006.01)</i>		
<i>H 0 4 B 10/04 (2006.01)</i>		

Fターム(参考) 5K102 AA01 AA69 AH11 AH24 AH27 KA02 KA39 MA01 MA02 MB18  
MC26 MD01 MH32 RD26 RD27