

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5077241号
(P5077241)

(45) 発行日 平成24年11月21日(2012.11.21)

(24) 登録日 平成24年9月7日(2012.9.7)

(51) Int.Cl. F I
HO 4 B 3/06 (2006.01) HO 4 B 3/06 C
HO 4 B 10/18 (2006.01) HO 4 B 9/00 2 6 6

請求項の数 30 (全 30 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2008-550083 (P2008-550083) (86) (22) 出願日 平成19年11月30日 (2007.11.30) (86) 国際出願番号 PCT/JP2007/073199 (87) 国際公開番号 W02008/075548 (87) 国際公開日 平成20年6月26日 (2008.6.26) 審査請求日 平成22年10月13日 (2010.10.13) (31) 優先権主張番号 特願2006-341274 (P2006-341274) (32) 優先日 平成18年12月19日 (2006.12.19) (33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p>	<p>(73) 特許権者 000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号 (74) 代理人 100123788 弁理士 官崎 昭夫 (74) 代理人 100106138 弁理士 石橋 政幸 (74) 代理人 100127454 弁理士 緒方 雅昭 (72) 発明者 和田 茂己 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内 審査官 前田 典之</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 等化フィルタおよび歪み補償方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

伝送信号を受け付けて出力する入力部と、前記伝送信号の歪みを補償するための補償用信号を生成する生成部と、前記補償用信号に基づいて前記伝送信号の歪みを補償する補償部と、を含む等化フィルタにおいて、

前記入力部から出力された伝送信号の歪みを特徴付ける歪み量を測定する測定部を含み、

前記補償部は、前記入力部から出力された伝送信号と前記補償用信号との差分を表す差分信号を生成して前記生成部に出力し、

前記生成部は、前記測定部にて測定された歪み量に基づいて前記補償部から出力された差分信号を遅延し、前記遅延した差分信号を前記補償用信号として生成することを特徴とする等化フィルタ。

【請求項2】

請求の範囲1に記載の等化フィルタにおいて、

前記測定部は、前記歪み量を測定すると、該歪み量が特定の範囲に含まれるか否かを判定し、

前記生成部は、前記測定部にて前記歪み量が前記特定の範囲に含まれると判定されると、前記差分信号を所定の遅延量で遅延する、等化フィルタ。

【請求項3】

請求の範囲2に記載の等化フィルタにおいて、

10

20

前記測定部は、前記歪み量が前記特定の範囲に含まれると判定すると、該歪み量に応じて前記生成部の遅延量を調節する、等化フィルタ。

【請求項 4】

請求の範囲 3 に記載の等化フィルタにおいて、
前記生成部は、
クロック信号の周期を変える調整部と、

前記測定部にて前記歪み量が前記特定の範囲に含まれると判定されると、前記調整部にて周期が変えられたクロック信号に同期して、前記補償部が生成した差分信号を取り込み、該取り込んだ差分信号を前記補償用信号として生成するサンプル・アンド・ホールド型遅延部と、を含み、

10

前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記調整部が変えるクロック信号の周期を調節する、等化フィルタ。

【請求項 5】

請求の範囲 3 に記載の等化フィルタにおいて、

前記生成部は、互いに異なる遅延量を有し、前記測定部にて前記歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、いずれか一つが前記差分信号を遅延して前記補償用信号を生成する複数の所定遅延部を含み、

前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記補償用信号を生成する所定遅延部を選択する、等化フィルタ。

【請求項 6】

20

請求の範囲 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の等化フィルタにおいて、
前記歪み量は、群遅延差および光パワーの分岐比率である、等化フィルタ。

【請求項 7】

請求の範囲 2 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の等化フィルタにおいて、
前記歪み量は、群遅延差および光パワーの分岐比率であり、

N を 1 以上の整数とし、かつ、 M を N が 1 であると 1 とし N が 2 以上であると 2 としたとき、前記特定の範囲としては、前記群遅延差が $N - 0.15M [UI]$ ないし $N + 0.15M [UI]$ に含まれる範囲であり、かつ、前記分岐比率が 0.4 ないし 0.6 に含まれる範囲であり、また、前記差分信号の遅延量が、 $N - 0.25 [UI]$ ないし $N + 0.25 [UI]$ に含まれる値である、等化フィルタ。

30

【請求項 8】

請求の範囲 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の等化フィルタにおいて、
前記補償部が生成した差分信号の歪みを補償する後段フィルタ部を含む、等化フィルタ

【請求項 9】

請求の範囲 8 に記載の等化フィルタにおいて、

前記後段フィルタ部は、少なくとも一つのフィードフォワード型等化フィルタ、または、少なくとも一つのフィードバック型等化フィルタを含む、等化フィルタ。

【請求項 10】

請求の範囲 1 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の等化フィルタにおいて、

前記入力部から出力された伝送信号の歪みを補償する前段フィルタ部を含み、
前記生成部は、前記前段フィルタ部にて歪みが補償された伝送信号と前記補償用信号との差分を表す差分信号を生成する、等化フィルタ。

40

【請求項 11】

請求の範囲 10 に記載の等化フィルタにおいて、

前記前段フィルタ部は、少なくとも一つのフィードフォワード型等化フィルタ、または、少なくとも一つのフィードバック型等化フィルタを含む、等化フィルタ。

【請求項 12】

請求の範囲 1 ないし 11 のいずれか 1 項に記載の等化フィルタにおいて、

前記補償部は、前記伝送信号および前記補償用信号を線形増幅し、該線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成する、等化フィルタ。

50

【請求項 13】

請求の範囲 12 に記載の等化フィルタにおいて、
前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記補償部の増幅量を調節する、等化フィルタ。

【請求項 14】

請求の範囲 8 または 9 に記載の等化フィルタにおいて、
前記後段フィルタ部の前記伝送信号の歪みを補償するためのパラメータは、固定値であり、

前記補償部は、前記伝送信号および前記補償用信号を線形増幅し、該線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成し、

前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記補償部の増幅量を調節する、等化フィルタ。

10

【請求項 15】

請求の範囲 10 または 11 に記載の等化フィルタにおいて、

前記前段フィルタ部の前記伝送信号の歪みを補償するためのパラメータは、固定値であり、

前記補償部は、前記伝送信号および前記補償用信号を線形増幅し、該線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成し、

前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記補償部の増幅量を調節する、等化フィルタ。

20

【請求項 16】

請求の範囲 1 ないし 15 のいずれか 1 項に記載の等化フィルタにおいて、

前記生成部は、前記伝送信号と前記補償用信号とを 3 値信号とし、前記伝送信号と前記補償用信号とについて 3 値の排他的論理和を演算し、その演算結果を差分信号として生成する、等化フィルタ。

【請求項 17】

伝送信号を受け付けて出力する入力部と、前記伝送信号の歪みを補償するための補償用信号を生成する生成部と、前記補償用信号に基づいて前記伝送信号の歪みを補償する補償部と、を含む等化フィルタが行なう歪み補償方法において、

前記入力部から出力された伝送信号の歪みを特徴付ける歪み量を測定する測定ステップと、

前記補償部が、前記入力部から出力された伝送信号と前記補償用信号との差分を表す差分信号を生成して前記生成部に出力する差分ステップと、

前記生成部が、前記測定された歪み量に基づいて前記補償部から出力された差分信号を遅延し、前記遅延した差分信号を前記補償用信号として生成する遅延ステップと、を含む歪み補償方法。

30

【請求項 18】

請求の範囲 17 に記載の歪み補償方法において、

前記歪み量が測定されると、該歪み量が特定の範囲に含まれるか否かを判定する判定ステップを含み、

前記遅延ステップでは、前記生成部が、前記歪み量が前記特定の範囲に含まれると判定されると、前記差分信号を所定の遅延量で遅延する、歪み補償方法。

40

【請求項 19】

請求の範囲 18 に記載の歪み補償方法において、

前記歪み量が前記特定の範囲に含まれると判定されると、該歪み量に応じて前記差分信号の遅延量を調節する調節ステップ、を含む歪み補償方法。

【請求項 20】

請求の範囲 19 に記載の歪み補償方法において、

前記遅延ステップは、

前記生成部が、クロック信号の周期を変える周期変更ステップと、

50

前記生成部が、前記歪み量が前記特定の範囲に含まれると判定されると、前記周期が変えられたクロック信号に同期して、前記生成された差分信号を取り込むサンプルステップと、

前記生成部が、前記取り込まれた差分信号を前記補償用信号として生成するホールド生成ステップと、を含み、

前記測定された歪みに応じて、前記周期変更ステップにて変えられるクロック信号の周期を調節する周期調節ステップをさらに含む歪み補償方法。

【請求項 2 1】

請求の範囲 1 9 に記載の歪み補償方法において、

前記生成部は、互いに異なる遅延量を有する複数の所定遅延部を含み、

前記歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、前記差分信号を遅延して前記補償用信号を生成する所定遅延部を選択する選択ステップを含む歪み補償方法。

10

【請求項 2 2】

請求の範囲 1 7 ないし 2 1 のいずれか 1 項に記載の歪み補償方法において、

前記歪み量は、群遅延差および光パワーの分岐比率である、歪み補償方法。

【請求項 2 3】

請求の範囲 1 8 ないし 2 1 のいずれか 1 項に記載の歪み補償方法において、

前記歪み量は、群遅延差および光パワーの分岐比率であり、

N を 1 以上の整数とし、かつ、M を N が 1 であると 1 とし N が 2 以上であると 2 としたとき、前記特定の範囲としては、前記群遅延差が $N - 0.15M [UI]$ ないし $N + 0.15M [UI]$ に含まれる範囲であり、かつ、前記分岐比率が 0.4 ないし 0.6 に含まれる範囲であり、また、前記差分信号の遅延量が、 $N - 0.25 [UI]$ ないし $N + 0.25 [UI]$ に含まれる値である、歪み補償方法。

20

【請求項 2 4】

請求の範囲 1 7 ないし 2 3 のいずれか 1 項に記載の歪み補償方法において、

前記生成された差分信号の歪みを補償する後段補償ステップを含む、歪み補償方法。

【請求項 2 5】

請求の範囲 1 7 ないし 2 4 のいずれか 1 項に記載の歪み補償方法において、

前記入力部から出力された伝送信号の歪みを補償する前段補償ステップを含み、

前記差分ステップでは、前記補償部が、前記歪みが補償された伝送信号と前記補償用信号との差分を表す差分信号を生成する、歪み補償方法。

30

【請求項 2 6】

請求の範囲 1 7 ないし 2 5 のいずれか 1 項に記載の歪み補償方法において、

前記差分ステップは、

前記補償部が、前記伝送信号および前記補償用信号を線形増幅する増幅ステップと、

前記補償部が、前記線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成する増幅後生成ステップと、を含む歪み補償方法。

【請求項 2 7】

請求の範囲 2 6 に記載の歪み補償方法において、

前記測定された歪みに応じて、前記伝送信号および前記補償用信号の増幅量を調節する、増幅量調節ステップ、を含む歪み補償方法。

40

【請求項 2 8】

請求の範囲 2 4 に記載の歪み補償方法において、

前記後段補償ステップにて前記伝送信号の歪みを補償するためのパラメータは、固定値であり、

前記差分ステップは、

前記補償部が、前記伝送信号および前記補償用信号を線形増幅する増幅ステップと、

前記補償部が、前記線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成する増幅後生成ステップと、を含む歪み補償方法。

【請求項 2 9】

50

請求の範囲 25 に記載の歪み補償方法において、
前記前段補償ステップにて前記伝送信号の歪みを補償するためのパラメータは、固定値
であり、

前記差分ステップは、

前記補償部が、前記伝送信号および前記補償用信号を線形増幅する増幅ステップと、
前記補償部が、前記線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を
生成する増幅後生成ステップと、を含む歪み補償方法。

【請求項 30】

請求の範囲 17 ないし 29 のいずれか 1 項に記載の歪み補償方法において、
前記差分ステップでは、前記伝送信号と前記補償用信号とを 3 値信号とし、前記伝送信
号と前記補償用信号とについて 3 値の排他的論理和を演算し、その演算結果を差分信号と
して生成する、歪み補償方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、等化フィルタおよび歪み補償方法に関し、特に、伝送信号の歪みを補償す
る等化フィルタおよび歪み補償方法に関する。

【背景技術】

【0002】

各種の伝送システムにおいて、伝送信号は、伝送媒体による分散および損失などによっ
て歪む。この伝送信号の歪みを電氣的に補償する技術として、等化フィルタが知られてい
る。等化フィルタには、複数の種類があるが、重み付き遅延等化フィルタが使用されるこ
とが多い。

【0003】

重み付き遅延等化フィルタは、フィードフォワード型等化フィルタであり、トランスバ
ーサルフィルタ (Transversal Filter)、FIR (Finite Impulse Response) デジタ
ルフィルタ、または、フィードフォワードイコライザ (Feed Forward Equalizer) と
も呼ばれる。また、重み付き遅延等化フィルタは、例えば、非特許文献 1 (A. Borjak, e
t al., "High-Speed Generalized Distributed-Amplifier-Based Transversal-Fil
ter Topology for Optical Communication Systems," IEEE Trans. Microwave
Theory Tech., vol. 45, No. 8, pp. 1453-1457) に記載されている。以下、重
み付き遅延等化フィルタをトランスバーサルフィルタと称する。

【0004】

図 1 は、従来のトランスバーサルフィルタの構成を示した模式図である。図 1 において
、トランスバーサルフィルタは、複数の遅延器と、複数の重み付け回路と、加算器とを含
む。

【0005】

各遅延器のそれぞれは、従属接続され、トランスバーサルフィルタに入力された信号 (以下、
入力信号と称する) を順次遅延する。各重み付け回路のそれぞれは、入力信号およ
び各遅延器の出力信号のいずれか一つに重み値 (フィルタ係数) を乗算する。加算器は、
各重み付け回路の出力信号のそれぞれを加算する。

【0006】

なお、伝送信号が電気信号の場合、その伝送信号が重み付き遅延等化フィルタに入力さ
れる。また、伝送信号が光信号の場合、その光信号がフォトダイオードなどにより電気信
号に変換され、その変換された電気信号が等化フィルタに入力される。

【0007】

このようなトランスバーサルフィルタを用いることで、入力信号の歪みを補償すること
が可能になっている。

【0008】

トランスバーサルフィルタの構成は、例えば、非特許文献 2 (International Solid-S

10

20

30

40

50

tate Circ [U I] t Conference (ISSCC) 2003の予稿集Paper 10.4のDifferential 4-tap and 7-tap Transverse Filters in SiGe for 10Gb/s Multimode Fiber Optic Equalization)に記載されている。図2は、非特許文献2に記載のトランスバーサルフィルタの構成を示した回路図である。

【0009】

図2において、トランスバーサルフィルタは、分散型増幅回路の構成を有し、フィルタ入力端子801と、フィルタ出力端子802と、遅延器803および804と、重み付け回路805と、50 負荷抵抗806および807と、入力の負荷抵抗808と、出力の負荷抵抗809とを含む。

【0010】

遅延器803は、フィルタ入力端子801に従属接続された、50 整合の伝送路にて形成された複数の遅延器からなる。遅延器804は、フィルタ出力端子802に従属接続された50 整合の伝送路にて形成された複数の遅延器からなる。

【0011】

重み付け回路805は、複数の利得調整端子付きの増幅器にて形成され、分布型増幅回路の各増幅段に当たる箇所に設けられた複数の重み付け回路からなる。フィルタ係数は、その複数の増幅器のそれぞれの増幅量が調節されることで変動する。伝送信号の歪みが時間と共に変動する場合、トランスバーサルフィルタは、フィルタ係数を時間と共に変動させて、伝送信号の歪みを補償する。

【0012】

50 負荷抵抗807は、遅延器804に従属接続され、加算器を形成する。

【非特許文献1】A. Borjak, et al., "High-Speed Generalized Distributed-Amplifier-Based Transversal-Filter Topology for Optical Communication Systems," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 45, No. 8, pp. 1453-1457

【非特許文献2】International Solid-State Circ [U I] t Conference (ISSCC) 2003の予稿集Paper 10.4のDifferential 4-tap and 7-tap Transverse Filters in SiGe for 10Gb/s Multimode Fiber Optic Equalization

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

光通信では、偏波モード分散 (PMD: Polarization Mode Dispersion) が発生することがある。偏波モード分散とは、例えば、光ファイバのコア部分が応力などにより歪んでいる場合に、特定の偏光入射角を持つ伝送信号がそのコアを透過することにより、伝送信号が歪みことである。

【0014】

偏波モード分散による伝送信号の歪みを特徴付ける歪み量として、群遅延差 (DGD: Differential Group Delay) および光パワーの分岐比率 () が用いられることが多い。群遅延差は、光信号の光ファイバの速軸方向の波 (以下、速軸波と称する) と、その光信号の光ファイバの遅軸方向の波 (以下、遅軸波と称する) との時間差である。また、ここで、光パワーの分岐比率 は、光信号全体の光パワーに対する、光信号の速軸方向の光パワーの割合を示す。そして、 $1 -$ は、光信号全体の光パワーに対する、光信号の遅軸方向の光パワーの割合を示す。

【0015】

図3は、偏波モード分散による伝送信号の歪みを示した模式図である。図3には、伝送信号の歪みをEYE (アイ) 波形で示している。EYE波形901は、伝送前の伝送信号のEYE波形を示す。EYE波形902は、光ファイバを伝送することにより偏波モード分散が発生して歪んだ伝送信号のEYE波形を示す。

【0016】

一般に、伝送信号が歪むと符号間干渉が発生し、データに誤りが発生する。このため、

10

20

30

40

50

伝送信号の歪みは、データの誤りとして検出される。トランスバーサルフィルタなどの等化フィルタは、データの誤りを訂正することで、伝送信号の歪みを補償している。

【0017】

データの誤りを訂正するためには、伝送信号のレベルを判定することが必要である。通常、伝送信号のレベルは、伝送信号の振幅が High レベル信号の振幅と Low レベル信号の振幅との中間値より大きいと、High レベルと判定され、伝送信号の振幅がその中間値より小さいと、Low レベルと判定される。

【0018】

偏波モード分散による伝送信号の歪みでは、伝送信号のある符号を表す遅軸波と、その符号の後の符号を表す速軸波とが重なり合うことにより、符号間干渉が発生する。このとき、群遅延差が N ユニット・インターバル (UI : Unit Interval) の近辺、かつ、分岐比率が 0.5 の近辺の場合、伝送信号のある符号を表す遅軸波と、その符号の後の符号を表す速軸波とが重なり合い、伝送信号のレベルを判定することが困難になる。これは、伝送信号の重なり合う速軸波および遅軸波のレベルが互いに異なっていると、電気信号に変換された伝送信号のレベルが中間値の付近になるためである。

10

【0019】

なお、ユニット・インターバル (以下、UI と称する) は、クロック周期を表す単位である。例えば、1 [UI] は、1 クロック周期を表す。

【0020】

したがって、群遅延差が N [UI] の近辺、かつ、分岐比率が 0.5 の近辺の場合、従来のトランスバーサルフィルタでは、符号間干渉によるデータの誤りを訂正することが困難になる。このため、伝送信号の歪みを補償することが可能な範囲が制限されるという問題が生じる。

20

【0021】

図 4 には、偏波モード分散によって、NRZ (Non-return to Zero) 信号の波形が歪み、伝送信号の符号を判定することが困難になる様子が示されている。

【0022】

このような、偏波モード分散によって伝送信号の符号を判定することが困難になる現象は、知られていなかった。

【0023】

本発明の目的は、上記の課題である、伝送信号の歪みを補償することが可能な範囲が制限されるという問題点を解決する、等化フィルタおよび歪み補正方法を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0024】

上記の目的を達成するために、本発明の等化フィルタは、伝送信号を受け付ける入力部と、前記伝送信号の歪みを補償するための補償用信号を生成する生成部と、前記補償用信号に基づいて前記伝送信号の歪みを補償する補償部と、を含む等化フィルタにおいて、前記伝送信号の歪みを特徴付ける歪み量を測定する測定部を含み、前記補償部は、前記伝送信号と前記補償用信号との差分を表す差分信号を生成し、前記生成部は、前記測定部にて測定された歪み量に基づいて前記差分信号を遅延して、前記補償用信号を生成することを特徴とする。

40

【0025】

また、本発明の歪み補償方法は、伝送信号を受け付ける入力部と、前記伝送信号の歪みを補償するための補償用信号を生成する生成部と、前記補償用信号に基づいて前記伝送信号の歪みを補償する補償部と、を含む等化フィルタが行なう歪み補償方法において、前記伝送信号の歪みを特徴付ける歪み量を測定する測定ステップと、前記伝送信号と前記補償用信号との差分を表す差分信号を生成する差分ステップと、前記測定された歪み量に基づいて前記差分信号を遅延して、前記補償用信号を生成する遅延ステップと、を含む。

【発明の効果】

50

【 0 0 2 6 】

本発明によれば、伝送信号の歪みを補償することが可能な範囲を広げることが可能になる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 7 】

【 図 1 】 関連するトランスバーサルフィルタの構成を示した模式図である。

【 図 2 】 関連するトランスバーサルフィルタの構成を示した回路図である。

【 図 3 】 偏波モード分散による伝送信号の歪みを示した模式図である。

【 図 4 】 伝送信号の様子を示した説明図である。

【 図 5 A 】 本発明の第一の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。 10

【 図 5 B 】 本発明の他の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。

【 図 6 】 等化フィルタの動作の一例を説明するための信号図である。

【 図 7 】 本発明の第二の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。

【 図 8 】 等化フィルタの他の動作例を説明するための信号図である。

【 図 9 】 本発明の第三の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。

【 図 1 0 】 本発明の第四の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。

【 図 1 1 】 本発明の第五の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。

【 図 1 2 】 入力される伝送信号の E Y E 波形の一例を示した説明図である。

【 図 1 3 】 出力される伝送信号の E Y E 波形の一例を示した説明図である。

【 図 1 4 】 入力される伝送信号の E Y E 波形の他の例を示した説明図である。 20

【 図 1 5 】 出力される伝送信号の E Y E 波形の他の例を示した説明図である。

【 図 1 6 】 本発明の第六の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 8 】

以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【 0 0 2 9 】

図 5 A は、本発明の一実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。

【 0 0 3 0 】

図 5 A において、等化フィルタは、入力端子 1 0 1 と、変換器 1 0 2 と、増幅器 1 0 3 と、測定器 1 0 4 と、前置補償器 1 0 5 と、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 と、出力端子 1 0 7 とを含む。前置補償器 1 0 5 は、比較器 1 0 5 a と、遅延器 1 0 5 b とを含む。 30

【 0 0 3 1 】

入力端子 1 0 1 は、送信機（図示せず）から光ファイバ（図示せず）を経由して伝送信号を受け付ける。伝送信号は、光信号である。また、伝送信号は、デジタル信号でもよいし、アナログ信号でもよい。なお、伝送信号は、NRZ 信号であるとする。

【 0 0 3 2 】

変換器 1 0 2 は、例えば、フォトダイオードである。変換器 1 0 2 は、入力端子 1 0 1 が受け付けた光信号である伝送信号を電気信号に変換する。

【 0 0 3 3 】

増幅器 1 0 3 は、変換器 1 0 2 が電気信号に変換した伝送信号を増幅する。 40

【 0 0 3 4 】

測定器 1 0 4 は、入力端子 1 0 1 が受け付けた伝送信号の歪みを特徴付ける歪み量を測定し、その歪み量が特定の範囲に含まれるか否かを判定する。歪み量は、例えば、群遅延差および光パワーの分岐比率である。

【 0 0 3 5 】

前置補償器 1 0 5 は、増幅器 1 0 3 が増幅した伝送信号の歪みを補償する。

【 0 0 3 6 】

比較器 1 0 5 a は、遅延器 1 0 5 b が生成した、伝送信号の歪みを補償するための補償用信号に基づいて、増幅器 1 0 3 が増幅した伝送信号の歪みを補償する。具体的には、比 50

較器 105 a は、その伝送信号と補償用信号との差分を表す差分信号を生成する。

【0037】

例えば、比較器 105 a は、その伝送信号と補償用信号とを 3 値信号とする。また、比較器 105 a は、その伝送信号と補償用信号とについて 3 値の排他的論理和を演算し、その演算結果を差分信号として生成してもよい。この場合、High レベルおよび Low レベルの中間値より大きい第一閾値以上の振幅の信号の符号を 2 とし、中間値より小さい第二閾値以下の振幅の信号の符号を 0 とし、第一閾値より小さく第二閾値より大きい振幅の信号の符号を 1 とする。

【0038】

遅延器 105 b は、例えば、フリップフロップである。また、遅延器 105 b は、例えば、D 型フリップフロップのような、クロック信号に同期して、差分信号を取り込み、その取り込んだ差分信号を出力するサンプル・アンド・ホールド型の遅延器でもよい。

10

【0039】

遅延器 105 b は、測定器 104 にて測定された歪み量に基づいて比較器 105 a が生成した差分信号を遅延して、補償用信号を生成する。

【0040】

具体的には、測定器 104 にて歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、遅延器 105 b は、比較器 105 a が生成した差分信号を所定の遅延量で遅延して、補償用信号を生成する。

【0041】

20

遅延器 105 b の遅延量と、歪み量の特定の範囲とは、伝送信号のレベルの判定が有効になるように、予め等化フィルタの設計者にて設定されているとする。

【0042】

例えば、特定の範囲は、少なくとも、群遅延差が $N - 0.15M [UI]$ ないし $N + 0.15M [UI]$ に含まれる範囲であり、かつ、分岐比率が 0.4 ないし 0.6 に含まれる範囲である。このとき、遅延器 105 b の遅延量が、少なくとも、 $N - 0.25 [UI]$ ないし $N + 0.25 [UI]$ に含まれる値であれば、伝送信号のレベルの判定が有効になる。ここで、N を 1 以上の整数である。また、M は、N が 1 であると 1 であり、N が 2 以上であると 2 である。

【0043】

30

例えば、群遅延差が $0.85 [UI]$ ないし $1.15 [UI]$ であり、分岐比率が 0.4 ないし 0.6 であるとき、遅延量が $0.75 [UI]$ ないし $1.25 [UI]$ に設定されていれば、伝送信号のレベルの判定が可能になる (N = 1 に相当)。また、群遅延差が $1.7 [UI]$ ないし $2.3 [UI]$ であり、分岐比率が 0.4 ないし 0.6 であるとき、遅延量が $1.75 [UI]$ ないし $2.25 [UI]$ に設定されていれば、伝送信号のレベルの判定が有効になる (N = 2 に相当)。

【0044】

以下、N を基準数と称する。

【0045】

一方、測定器 104 にて歪み量が特定の範囲に含まれない判定されると、遅延器 105 b は、その歪み量に応じて、差分信号の符号が分散前の伝送信号の符号と同じになるように、Low レベル信号または High レベル信号を補償用信号として生成する。

40

【0046】

例えば、分岐比率が 1 に近づくと、速軸波の振幅が遅軸波の振幅より大きくなる。この結果、伝送信号の伝送後の符号が、伝送信号の伝送前の符号と反転する。この場合、遅延器 105 b が High レベル信号を生成すると、比較器 105 a が生成する差分信号の符号が、伝送信号の伝送前の符号と同じになる。

【0047】

また、分岐比率が 0 に近づくと、遅軸波の振幅が速軸波の振幅より小さくなる。この結果、伝送信号の伝送後の符号は、伝送信号の伝送前の符号と同じとなる。この場合、遅延

50

器 105b が Low レベル信号を生成すると、比較器 105a が生成する差分信号の符号が、伝送信号の伝送前の符号と同じになる。

【0048】

また、測定器 104 にて歪み量が特定の範囲に含まれない判定されると、遅延器 105b は、比較器 105a に入力される差分信号の符号と、比較器 105a から出力される差分信号の符号とが同じになるように、Low レベル信号を出力してもよい。なお、この場合、トランスバーサルフィルタ部 106 にて、比較器 105a が生成する差分信号の符号が、伝送信号の伝送前の符号と同じになるように補償されるものとする。

【0049】

トランスバーサルフィルタ部 106 は、前置補償器 105 の後に設けられ、比較器 105a が生成した差分信号の歪みを補償する。

【0050】

トランスバーサルフィルタ部は、前置補償器 105 の後に設けられていたが、前置補償器 105 の前に設けられてもよい。図 5B は、トランスバーサルフィルタ部が前置補償器 105 の前に設けられた等化フィルタの一例を示したブロック図である。

【0051】

図 5B において、等化フィルタは、トランスバーサルフィルタ部 106 の代わりに、トランスバーサルフィルタ部 106a を含む。トランスバーサルフィルタ部 106a は、増幅器 103 が増幅した伝送信号の歪みを補償する。比較器 105a は、トランスバーサルフィルタ部 106a にて歪みが補償された伝送信号と補償用信号との差分を表す差分信号を生成する。

【0052】

トランスバーサルフィルタ部 106 および 106a が補償する歪みは、関連する等化フィルタにて補償可能な歪みである。例えば、この歪みは、光伝送中に発生した波長分散による伝送信号の歪み、電気伝送中に発生した電氣的な反射および損失などによる伝送信号の歪み、および、伝送信号の歪み量が特定の範囲に含まれないときの、差分信号の偏波モード分散による歪みなどである。

【0053】

これにより、トランスバーサルフィルタ部 106 および 106a の少なくともいずれか一つを設けることで、入力端子 101 が前置補償器 105 にて補償される伝送信号の歪みと異なる歪みを有していても、伝送信号の歪みを補償することが可能になる。このため、伝送信号の歪みをより正確に補償することが可能になっている。

【0054】

なお、トランスバーサルフィルタ部 106 は、後段フィルタ部の一例であり、トランスバーサルフィルタ部 106a は、前段フィルタ部の一例である。

【0055】

本実施形態では、前段フィルタ部および後段フィルタ部のそれぞれは、トランスバーサルフィルタを含むものとする。しかしながら、前段フィルタ部および後段フィルタ部のそれぞれは、少なくとも一つのフィードフォワード型等化フィルタまたはフィードバック型等化フィルタを含んでいればよい。

【0056】

また、等化フィルタは、前置補償器 105 の後にトランスバーサルフィルタ部 106 を含み、かつ、前置補償器 105 の前にトランスバーサルフィルタ部 106a を含んでもよい。

【0057】

図 5A に戻る。出力端子 107 は、トランスバーサルフィルタ部 106 にて歪みが補償された差分信号を出力する。

【0058】

次に動作を説明する。

【0059】

10

20

30

40

50

なお、歪み量は、群遅延差および分岐比率とする。また、特定の範囲として、群遅延差が0.85 [UI]ないし1.15 [UI]に設定され、分岐比率が0.4ないし0.6に設定されているとする。また、遅延器105bの遅延量が、1 [UI]に設定されているとする。

【0060】

入力端子101は、送信機から光ファイバを経由して伝送信号を受け付けると、その伝送信号を変換器102および測定器104に出力する。

【0061】

変換器102は、入力端子101から光信号である伝送信号を受け付けると、その伝送信号を電気信号に変換し、その電気信号に変換した伝送信号を増幅器103に出力する。

10

【0062】

増幅器103は、変換器102から伝送信号を受け付けると、その伝送信号を増幅する。増幅器103は、その増幅した伝送信号を比較器105aに出力する。

【0063】

測定器104は、入力端子101から伝送信号を受け付けると、その伝送信号の歪み量を測定する。測定器104は、歪み量を測定すると、その歪み量が特定の範囲に含まれるか否かを判定する。

【0064】

図6は、歪み量が特定の範囲に含まれる伝送信号の一例を示した信号図である。この伝送信号では、群遅延差が1 [UI]であり、分岐比率が0.5である。

20

【0065】

波形201は、この伝送信号の遅軸波の波形を示す。波形202は、この伝送信号の速軸波の波形を示す。なお、波形201は、偏波モード分散にて波形が歪む前の伝送信号の波形と同じである。波形203は、変換器102で電気信号に変換された伝送信号の波形を示す。

【0066】

測定器104は、歪み量が特定の範囲に含まれると判定すると、遅延を示す制御信号を遅延器105bに出力する。

【0067】

遅延器105bは、測定器104から、遅延を示す制御信号を受け付けると、比較器105aから受け付けた差分信号を1 [UI]だけ遅延して、補償用信号を生成する。遅延器105aは、その補償用信号を比較器105aに出力する。波形204は、補償用信号の波形を示す。波形204は、波形202と同じになっている。

30

【0068】

一方、測定器104は、その歪み量が特定の範囲に含まれないと判定すると、その歪み量に応じて、Lowレベル信号またはHighレベル信号を示す制御信号を遅延器105bに出力する。

【0069】

遅延器105bは、測定器104から、Lowレベル信号を示す制御信号を受け付けると、Lowレベル信号を補償用信号として生成し、Highレベル信号を示す制御信号を受け付けると、Highレベル信号を補償用信号として生成する。遅延器105aは、その補償用信号を比較器105aに出力する。

40

【0070】

比較器105aは、増幅器103から伝送信号を受け付け、遅延器105bから補償用信号を受け付ける。比較器105aは、その伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成する。

【0071】

波形205は、波形201および202で示された伝送信号に対する差分信号の波形を示す。波形205は、符号間干渉が解消され、波形201と同じになっている。

【0072】

50

比較器 105 a は、その差分信号を遅延器 105 b およびトランスバーサルフィルタ部 106 に出力する。

【0073】

トランスバーサルフィルタ部 106 は、比較器 105 a から受け付けた差分信号の歪みを補償し、その歪みを補償した差分信号を出力端子 107 に出力する。

【0074】

出力端子 107 は、その差分信号を受け付け、その差分信号を出力する。

【0075】

次に効果を説明する。

【0076】

本実施形態によれば、測定器 104 は、伝送信号の歪みを特徴付ける歪み量を測定する。比較器 105 a は、伝送信号と補償用信号との差分を表す差分信号を生成する。遅延器 105 b は、測定器 104 にて測定された歪み量に基づいて差分信号を遅延して、補償用信号を生成する。

【0077】

この場合、伝送信号において、遅軸波と速軸波とが重なり合い符号間干渉が発生している場合、補償用信号の振幅を速軸波の振幅と同程度にすることが可能になる。例えば、歪み量を表す群遅延差が $0.85 [UI]$ ないし $0.15 [UI]$ に含まれ、かつ、光パワーの分岐比率が 0.4 ないし 0.6 に含まれる場合、差分信号が $0.75 [UI]$ ないし $1.25 [UI]$ に含まれる値だけ遅延されると、補償用信号の振幅は、伝送信号の速軸波の振幅と同程度になる。

【0078】

このため、伝送信号と補償用信号との差分を表す差分信号は、伝送信号から速軸波を差し引いた信号と同程度の振幅となり、伝送信号の符号間干渉を解消することが可能になる。よって、先行技術では伝送信号のレベルの判定が困難であった場合でも、伝送信号のレベルを判定することが可能になる。したがって、偏波モード分散による伝送信号の歪みを補償することが可能な範囲を広げることが可能になる。

【0079】

また、本実施形態では、測定器 104 は、歪み量を測定すると、その歪み量が特定の範囲に含まれるか否かを判定する。遅延器 105 b は、測定器 104 にて歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、比較器 105 a が生成した差分信号を所定の遅延量で遅延して、補償用信号を生成する。

【0080】

この場合、歪み量が特定の範囲に含まれると、差分信号が所定の遅延量だけ遅延される。このため、伝送信号の歪みをより正確に補償することが可能になる。

【0081】

また、本実施形態では、歪み量は、群遅延差および光パワーの分岐比であり、 N を 1 以上の整数とし、かつ、 M を N が 1 であると 1 とし N が 2 以上であると 2 としたとき、特定の範囲としては、群遅延差が $N - 0.15 M [UI]$ ないし $N + 0.15 M [UI]$ に含まれる範囲であり、かつ、分岐比率が 0.4 ないし 0.6 に含まれる範囲である。また、遅延器 105 b の遅延量は、 $N - 0.25 [UI]$ ないし $N + 0.25 [UI]$ に含まれる値である。

【0082】

また、本実施形態では、トランスバーサルフィルタ部 106 は、比較器 105 a が生成した差分信号の歪みを補償する。

【0083】

この場合、伝送信号の歪みをより正確に補償することが可能になる。

【0084】

また、本実施形態では、トランスバーサルフィルタ部 106 a は、入力端子 101 が受け付けた伝送信号の歪みを補償する。比較器 105 a は、トランスバーサルフィルタ部 1

10

20

30

40

50

06aにて歪みが補償された伝送信号と補償用信号との差分を表す差分信号を生成する。

【0085】

この場合、伝送信号の歪みをより正確に補償することが可能になる。

【0086】

また、本実施形態では、比較器105aは、伝送信号と補償用信号とを3値信号とし、その伝送信号と補償用信号とについて3値の排他的論理和を演算する。比較器105aは、その演算結果を差分信号として生成する。

【0087】

この場合、容易に伝送信号の歪みを補償することが可能になる。

【0088】

次に、第二の実施形態について説明する。

【0089】

図7は、第二の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。以下では、主に図5Aと異なる構成について説明する。なお、図7において、図5Aと同じものには同じ符号が付してある。

【0090】

図7では、遅延器105bは、遅延量が可変である。

【0091】

測定器104は、歪み量が特定の範囲に含まれると判定すると、その歪み量に応じて、遅延器105bの遅延量を調節する。

【0092】

具体的には、群遅延差が $N - 0.15M [UI]$ ないし $N + 0.15M [UI]$ に含まれる範囲であり、かつ、分岐比率が0.4ないし0.6に含まれる範囲であると、測定器104は、遅延器105bの遅延量を、 $N - 0.25 [UI]$ ないし $N + 0.25 [UI]$ に含まれる値に調節する。

【0093】

例えば、群遅延差が $0.85 [UI]$ ないし $1.15 [UI]$ に含まれる範囲であり、かつ、分岐比率が0.4ないし0.6に含まれる範囲であると、測定器104は、遅延器105bの遅延量を $0.75 [UI]$ ないし $1.25 [UI]$ に含まれる値に調節する($N = 1$ に相当)。また、群遅延差が $1.7 [UI]$ ないし $2.3 [UI]$ に含まれる範囲であり、かつ、分岐比率が0.4ないし0.6に含まれる範囲であると、測定器104は、遅延器105bの遅延量を $1.75 [UI]$ ないし $2.25 [UI]$ の範囲に含まれる値に調節する($N = 2$ に相当)。

【0094】

次に動作を説明する。

【0095】

以下では、主に第一の実施形態で説明した処理と異なる処理について説明する。

【0096】

なお、特定の範囲として、群遅延差が $N - 0.15M [UI]$ ないし $N + 1.15M [UI]$ であり、分岐比率が0.4ないし0.6であるとする。

【0097】

測定された歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、測定器104は、その歪み量に応じた遅延量を求める。例えば、測定器104は、その歪み量から基準数を求め、その基準数に応じた遅延量を求める。

【0098】

図8は、歪み量が特定の範囲に含まれる伝送信号の一例を示した信号図である。この伝送信号では、群遅延差が $2 [UI]$ であり、分岐比率が0.5である。

【0099】

図8では、波形401は、入力端子101が受け付けた伝送信号の遅軸波の波形を示す。波形402は、その伝送信号の速軸波の波形を示す。なお、波形401は、偏波モード

10

20

30

40

50

分散にて波形が歪む前の伝送信号の波形と同じである。波形 4 0 3 は、変換器 1 0 2 にて電気信号に変換された伝送信号の波形を示す。

【 0 1 0 0 】

この場合、測定器 1 0 4 は、群遅延差が 1 . 7 [U I] ないし 1 . 3 [U I] に含まれ、かつ、分岐比率が 0 . 4 ないし 0 . 6 に含まれるので、基準数を 2 と求める。測定器 1 0 4 は、その基準数である 2 に応じて、1 . 7 5 [U I] ないし 2 . 2 5 [U I] に含まれる値を遅延量として求める。以下、遅延量を 2 [U I] とする。

【 0 1 0 1 】

測定器 1 0 4 は、遅延量を求めると、その遅延量を示す遅延量信号と、遅延を示す制御信号とを遅延器 1 0 5 b に出力する。

10

【 0 1 0 2 】

遅延器 1 0 5 b は、その遅延量信号および制御信号を受け付けると、その遅延量信号が示す遅延量 (2 [U I]) を自己に設定する。その後、遅延器 1 0 5 b は、比較器 1 0 5 a から受け付けた差分信号を設定された遅延量 (2 [U I]) だけ遅延して、補償用信号を生成する。

【 0 1 0 3 】

波形 4 0 4 は、この補償用信号の波形を示す。ここで、波形 4 0 4 は、波形 4 0 2 と同じになっている。この場合、差分信号の波形を示す波形 4 0 5 は、符号間干渉が解消され、波形 4 0 1 と同じになる。

【 0 1 0 4 】

本実施形態によれば、測定器 1 0 4 は、測定した歪み量に応じて、遅延器 1 0 5 b の遅延量を調節する。

20

【 0 1 0 5 】

伝送信号の歪みは、伝送信号が通過する光ファイバにかかる応力などに応じて変化する。このため、適切な遅延量を予め知ることが困難な場合がある。本実施形態では、遅延量が歪み量に応じて調節されるので、適切な遅延量を予め知ることが困難な場合でも、偏波モード分散による伝送信号の歪みを補償することが可能な範囲を広げることが可能になる。

【 0 1 0 6 】

次に、第三の実施形態について説明する。

30

【 0 1 0 7 】

図 9 は、第三の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。以下では、主に図 7 と異なる構成および処理について説明する。なお、図 9 において、図 7 と同じものには同じ符号が付してある。

【 0 1 0 8 】

図 9 において、遅延器 1 0 5 b は、調整部 5 0 1 と、D 型フリップフロップ 5 0 2 とを含む。その他の構成は、図 7 で示した等化フィルタの構成と同じである。

【 0 1 0 9 】

調整部 5 0 1 は、クロック信号を生成するクロック信号生成部 (図示せず) からクロック信号を受け付け、そのクロック信号の周期を変える。

40

【 0 1 1 0 】

D 型フリップフロップ 5 0 2 は、サンプル・アンド・ホールド型遅延部の一例である。しかしながら、サンプル・アンド・ホールド型遅延部は、D 型フリップフロップに限らず適宜変更可能である。

【 0 1 1 1 】

測定器 1 0 4 にて歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、D 型フリップフロップ 5 0 2 は、調整部 5 0 1 にて周期が変えられたクロック信号に同期して、比較器 1 0 5 a が生成した差分信号を取り込み、その取り込んだ差分信号を補償用信号として生成する。

【 0 1 1 2 】

50

一方、測定器 104 にて歪み量が特定の範囲に含まれないと判定されると、D型フリップフロップ 502 は、その歪み量に応じて、Low レベル信号または High レベル信号を補償用信号として生成する。

【0113】

測定器 104 は、伝送信号の歪み量を測定すると、その歪み量に応じて、調整部 501 にて変えられるクロック信号の周期を変える。

【0114】

例えば、測定器 104 は、群遅延差が 1.7 [UI] ないし 2.3 [UI] に含まれ、かつ、分岐比率が 0.4 ないし 0.6 に含まれる場合、調整部 501 がクロック信号の周期を 2 倍に変えるように調節する。

10

【0115】

次に動作を説明する。

【0116】

以下では、主に第一または第二の実施形態で説明した処理と異なる処理について説明する。

【0117】

測定された歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、測定器 104 は、その歪み量に応じたクロック信号の周期を求める。例えば、測定器 104 は、その歪み量から基準数を求め、その基準数に応じたクロック信号の周期を求める。

20

【0118】

この伝送信号は、図 6 の波形 201 および 202 で示した波形を有するものとする。この場合、群遅延差が 1 [UI] であり、分岐比率が 0.5 なので、測定器 104 は、基準数を 1 と求める。測定器 104 は、その基準数「1」を、クロック信号の周期「1 [UI]」として求める。

【0119】

測定器 104 は、その求めた周期を示す周期信号を調整部 501 に出力し、続いて、遅延を示す制御信号を D 型フリップフロップ 502 に出力する。

【0120】

調整部 501 は、クロック信号を受け付けている。調整部 501 は、測定器 104 から周期信号を受け付けると、その周期信号が示す周期に、そのクロック信号の周期を変える。

30

【0121】

調整部 501 は、その周期を変えたクロック信号を D 型フリップフロップ 502 に出力する。伝送信号が波形 201 および 202 で示した波形を有する場合、周期信号が示す周期が 1 [UI] なので、調整部 501 は、その受け付けたクロック信号を、D 型フリップフロップ 502 に出力する。

【0122】

D 型フリップフロップ 502 は、遅延を示す制御信号を受け付けた後で、調整部 501 からクロック信号を受け付けると、そのクロック信号に同期して、比較器 105 a が出力した差分信号を取り込み、その差分信号を補償用信号として生成する。

40

【0123】

一方、歪み量が特定の範囲に含まれないと判定されると、測定器 104 は、その歪み量に応じて、Low レベル信号または High レベル信号を示す制御信号を D 型フリップフロップ 502 に出力する。

【0124】

D 型フリップフロップ 502 は、Low レベル信号を示す制御信号を受け付けると、Low レベル信号を補償用信号として生成する。また、D 型フリップフロップ 502 は、High レベル信号を示す制御信号を受け付けると、High レベル信号を補償用信号として生成する。遅延器 105 b は、その補償用信号を比較器 105 a に出力する。

【0125】

50

比較器 105 a は、増幅器 103 から伝送信号を受け付け、D 型フリップフロップ 502 から補償用信号を受け付ける。比較器 105 a は、その伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成する。比較器 105 a は、その差分信号を D 型フリップフロップ 502 およびトランスバーサルフィルタ部 106 に出力する。

【0126】

本実施形態によれば、調整部 501 は、クロック信号の周期を変える。D 型フリップフロップは、測定器 104 にて測定された歪み量が特定の範囲に含まれると、調整部 501 にて周期が変えられたクロック信号に同期して、比較器 105 a が生成した差分信号を取り込み、その取り込んだ差分信号を補償用信号として生成する。測定器 104 は、測定した歪み量に応じて、調整部 501 にて変えられるクロック信号の周期を調節する。

10

【0127】

この場合、クロック信号の周期が歪み量に応じて変えられる。また、その周期が変えられたクロック信号に同期して取り込まれた差分信号が、補償用信号として出力される。このため、容易に遅延量を変えることが可能になる。

【0128】

次に、第四の実施形態について説明する。

【0129】

図 10 は、第四の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。以下では、主に図 7 と異なる構成および処理について説明する。なお、図 10 において、図 7 と同じものには同じ符号が付してある。

20

【0130】

遅延器 105 b は、所定遅延器 601 および 602 を含む。なお、その他の構成は、図 7 で示した等化フィルタの構成と同じである。また、所定遅延器の数は、本実施形態では、2 であるが、実際には複数あればよい。

【0131】

所定遅延器 601 および 602 のそれぞれは、互いに並列に接続され、かつ、互いに異なる遅延量を有する。以下、所定遅延器 601 の遅延量を 1 [UI] とし、所定遅延器 602 の遅延量を 2 [UI] とする。

【0132】

測定器 104 にて測定された歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、所定遅延器 601 および 602 のいずれか一つが、比較器 105 a が生成した差分信号を遅延して補償用信号を生成する。

30

【0133】

測定器 104 は、測定された歪み量が特定の範囲に含まれると判定すると、その測定した歪み量に応じて、比較器 105 a が生成した差分信号を遅延して補償用信号を生成する所定遅延器を選択する。

【0134】

例えば、群遅延差が 0.85 [UI] ないし 1.15 [UI] に含まれ、かつ、分岐比率が 0.4 ないし 0.6 に含まれると、測定器 104 は、遅延量が 1 [UI] の所定遅延器 601 を選択する。また、群遅延差が 1.7 [UI] ないし 2.3 [UI] に含まれ、かつ、分岐比率が 0.4 ないし 0.6 に含まれると、測定器 104 は、遅延量が 2 [UI] の所定遅延器 602 を選択する。

40

【0135】

比較器 105 a は、測定器 104 にて選択された所定遅延器が生成した補償用信号と伝送信号との差分を表す差分信号を生成する。

【0136】

次に動作を説明する。

【0137】

以下では、主に第一ないし第三の実施形態のいずれかで説明した処理と異なる処理について説明する。

50

【 0 1 3 8 】

測定された歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、測定器 1 0 4 は、その歪み量に応じて、差分信号を遅延して補償用信号を生成する所定遅延器を選択する。

【 0 1 3 9 】

例えば、測定器 1 0 4 は、図 6 にて示された伝送信号のように群遅延差が 1 [U I] であると、所定遅延器 6 0 1 を選択し、図 8 にて示された伝送信号のように群遅延差が 2 [U I] であると、所定遅延器 6 0 2 を選択する。

【 0 1 4 0 】

以下、所定遅延器 6 0 1 が選択されたとする。

【 0 1 4 1 】

測定器 1 0 4 は、所定遅延器 6 0 1 に遅延を示す制御信号を出力し、所定遅延器 6 0 2 に L o w レベル信号を示す制御信号を出力する。

【 0 1 4 2 】

所定遅延器 6 0 1 および 6 0 2 は、比較器 1 0 5 a から差分信号を受け付ける。所定遅延器 6 0 1 は、測定器 1 0 4 から遅延を示す制御信号を受け付けると、その差分信号を遅延して、補償用信号を生成し、その補償用信号を比較器 1 0 5 a に出力する。また、所定遅延器 6 0 2 は、測定器 1 0 4 から L o w レベル信号を示す制御信号を受け付けると、L o w レベル信号を比較器 1 0 5 a に出力する。

【 0 1 4 3 】

一方、測定された歪み量が特定の範囲に含まれないと判定されると、測定器 1 0 4 は、その歪み量に応じて、L o w レベル信号または H i g h レベル信号を示す制御信号を所定遅延器 6 0 1 および 6 0 2 に出力する。

【 0 1 4 4 】

所定遅延器 6 0 1 および 6 0 2 は、L o w レベル信号を示す制御信号を受け付けると、L o w レベル信号を補償用信号として生成する。また、所定遅延器 6 0 1 および 6 0 2 は、H i g h レベル信号を示す制御信号を受け付けると、H i g h レベル信号を補償用信号として生成する。遅延器 1 0 5 b は、その補償用信号を比較器 1 0 5 a に出力する。

【 0 1 4 5 】

本実施形態によれば、所定遅延器 6 0 1 および 6 0 2 は、互いに異なる遅延量を有する。また、所定遅延器 6 0 1 および 6 0 2 は、測定器 1 0 4 にて歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、いずれか一つが差分信号を遅延して補償用信号を生成する。測定器 1 0 4 は、測定した歪み量に応じて、補償用信号を生成する所定遅延器を選択する。

【 0 1 4 6 】

この場合、補償用信号を生成する所定遅延器が、歪み量に応じて選択される。このため、容易に遅延器の遅延量を調節することが可能になる。

【 0 1 4 7 】

次に第五の実施形態について説明する。

【 0 1 4 8 】

図 1 1 は、第五の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。以下では、主に図 7 と異なる構成および処理について説明する。なお、図 1 1 において、図 7 と同じものには同じ符号が付してある。

【 0 1 4 9 】

トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 は、出力リミット機能が付いたトランスバーサルフィルタを含む。この場合、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 は、歪みを補償した差分信号の振幅が所定の出力リミット値より大きくなると、その差分信号の振幅を出力リミット値にする。

【 0 1 5 0 】

比較器 1 0 5 a は、増幅器 1 0 3 が増幅した伝送信号と、遅延器 1 0 5 b が生成した補償用信号とを線形増幅し、その線形増幅した伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成する。

10

20

30

40

50

【 0 1 5 1 】

比較器 1 0 5 a の増幅量は、予め等化フィルタの設計者にて設定されていてもよいし、測定器 1 0 4 にて調節されてもよい。

【 0 1 5 2 】

増幅量が調節される場合、測定器 1 0 4 は、歪み量を測定すると、その歪み量に応じて、比較器 1 0 5 a の増幅量を調節する。

【 0 1 5 3 】

図 1 2 は、入力端子 1 0 1 が受け付けた伝送信号の E Y E 波形の一例を示した説明図である。図 1 2 で示された E Y E 波形の伝送信号は、群遅延差が 1 [U I] であり、分岐比率が 0 . 5 である。

10

【 0 1 5 4 】

この場合、例えば、測定器 1 0 4 は、比較器 1 0 5 a の伝送信号の増幅量を 1 倍に調節し、比較器 1 0 5 a の補償用信号の増幅量を 1 . 6 倍に調節する。また、測定器 1 0 4 は、遅延器 1 0 5 b の遅延量を 0 . 9 ないし 1 . 1 に含まれる値に調節する。

【 0 1 5 5 】

比較器 1 0 5 a は、測定器 1 0 4 にて調節された増幅量だけ伝送信号および補償用信号を線形増幅する。具体的には、比較器 1 0 5 a は、伝送信号を 1 倍し、補償用信号を 1 . 6 倍する。

【 0 1 5 6 】

比較器 1 0 5 a は、その線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成する。例えば、比較器 1 0 5 a は、1 . 6 倍された補償用信号を論理反転し、その論理反転した補償用信号と、1 倍された伝送信号とを加算することで、差分信号を生成する。

20

【 0 1 5 7 】

図 1 3 は、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 が出力する伝送信号（差分信号）の E Y E 波形の一例を示した説明図である。具体的には、この E Y E 波形は、入力端子 1 0 1 が図 1 2 で示された E Y E 波形の伝送信号を受け付けたとき、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 が出力する伝送信号の E Y E 波形である。

【 0 1 5 8 】

この E Y E 波形は、伝送信号からデータを再生することが可能な E Y E 波形となっている。

30

【 0 1 5 9 】

図 1 4 は、入力端子 1 0 1 が受け付けた伝送信号の E Y E 波形の他の例を示した説明図である。図 1 4 で示された E Y E 波形の伝送信号は、群遅延差が 1 [U I] であり、分岐比率が 0 . 3 である。

【 0 1 6 0 】

この場合、例えば、測定器 1 0 4 は、比較器 1 0 5 a の伝送信号の増幅量を 2 倍に調節し、比較器 1 0 5 a の補償用信号の増幅量を 1 倍に調節する。また、測定器 1 0 4 は、遅延器 1 0 5 b の遅延量を 0 . 9 ないし 1 . 1 に含まれる値に調節する。

【 0 1 6 1 】

図 1 5 は、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 が出力する伝送信号（差分信号）の E Y E 波形を示した説明図である。具体的には、この E Y E 波形は、入力端子 1 0 1 が図 1 4 で示された E Y E 波形の伝送信号を受け付けたときの、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 が出力する伝送信号の E Y E 波形である。なお、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 の歪みを補償するためのパラメータは、固定されている。この E Y E 波形は、伝送信号からデータを再生することが可能な E Y E 波形となっている。

40

【 0 1 6 2 】

このように、伝送信号および補償用信号を線形増幅することで、差分信号の波形を、データの再生に適した波形にすることが可能になる。

【 0 1 6 3 】

50

なお、図12および図14で示したEYE波形の伝送信号の歪みを補償するための、比較器105aの増幅量および遅延器105bの遅延量の値は、一例であり、これらの値に限らず、トランスバーサルフィルタ部106が出力する伝送信号からデータが再生できるような値であればよい。

【0164】

次に、動作を説明する。

【0165】

以下では、主に第一ないし第四の実施形態のいずれかで説明した処理と異なる処理について説明する。

【0166】

測定器104は、歪み量を測定すると、その歪み量に応じて比較器105aの増幅量を求める。例えば、群遅延差が1UIであり、分岐比率が0.5の場合、測定器104は、比較器105aの伝送信号の増幅量を1倍と求め、比較器105aの補償用信号の増幅量を1.6倍と求める。また、測定器104は、遅延器105bの遅延量を0.9ないし1.1の範囲に含まれる値を求める。

【0167】

測定器104は、伝送信号および補償用信号の増幅量を求めると、伝送信号の増幅量を示す伝送増幅量信号と、補償用信号の増幅量を示す補償増幅量信号を比較器105aに出力する。

【0168】

比較器105aは、その伝送増幅量信号および補償増幅量信号を受け付けると、その伝送増幅量信号が示す増幅量を伝送信号の増幅量として設定し、その補償増幅量信号が示す増幅量を補償用信号の増幅量として設定する。

【0169】

その後、比較器105aは、伝送信号および補償用信号を受け付けると、その伝送信号を、設定された伝送信号の増幅量だけ線形増幅し、その補償用信号を、設定された補償用信号の増幅量だけ線形増幅する。

【0170】

比較器105aは、その線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成する。

【0171】

なお、本実施形態では、群遅延差が1[UI]であり、分岐比率が変化した場合について説明したが、群遅延差が変化しても、比較器105aの増幅量を調節することで、伝送信号の波形の歪みを補償することが可能であることは明らかである。

【0172】

本実施形態によれば、比較器105aは、伝送信号および補償用信号を線形増幅し、その線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分信号を生成する。

【0173】

この場合、線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号が生成される。このため、差分信号の振幅を適切な値にすることが可能になり、差分信号の波形を、データの再生に適した波形にすることが可能になる。

【0174】

また、本実施形態では、測定器104は、測定した歪み量に応じて、比較器105aの増幅量を調節する。

【0175】

増幅量の適切な値を予め知ることは困難な場合がある。本実施形態では、増幅量が歪み量に応じて調節される。このため、増幅量の適切な値を予め知ることは困難な場合でも、差分信号の波形を、データの再生に適した波形にすることが可能になる。

【0176】

次に第六の実施形態について説明する。

10

20

30

40

50

【 0 1 7 7 】

図 1 6 は、第六の実施形態の等化フィルタの構成を示したブロック図である。以下では、主に図 5 B、図 7 および図 1 1 と異なる構成および処理について説明する。なお、図 1 6 において、図 5 B および図 7 と同じものには同じ符号が付してある。

【 0 1 7 8 】

図 1 6 において、等化フィルタは、入力端子 1 0 1 と、増幅器 1 0 3 と、測定器 1 0 4 と、前置補償器 1 0 5 と、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 と、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 a と、出力端子 1 0 7 と、増幅器 1 1 1 と、データ信号再生分離部 1 1 2 とを含む。

【 0 1 7 9 】

増幅器 1 1 1 は、比較器 1 0 5 a が生成した差分信号を増幅する。

10

【 0 1 8 0 】

データ信号再生分離部（以下、再生分離部と称する）1 1 2 は、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 が歪みを補償した差分信号を再生する。

【 0 1 8 1 】

入力端子 1 0 1 は、電気信号の伝送信号を受け付ける。なお、変換器（図示せず）が、送信機から光ファイバを経由して、光信号の伝送信号を受け付ける。変換器は、その光信号の伝送信号を電気信号に変換し、その電気信号に変換した伝送信号を出力する。入力端子 1 0 1 は、変換器からその電子信号の伝送信号を受け付けるものとする。

【 0 1 8 2 】

増幅器 1 0 3 は、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 a が歪みを補償した伝送信号を増幅する。

20

【 0 1 8 3 】

測定器 1 0 4 は、計測部 1 0 4 a と、制御端子信号生成部 1 0 4 b とを含む。

【 0 1 8 4 】

計測部 1 0 4 a は、例えば、サンプリングオシロスコープであり、比較器 1 0 5 a が出力する差分信号の波形を評価する。具体的には、計測部 1 0 4 a は、増幅器 1 1 1 にて増幅された差分信号を、一定期間、断続的に調査し、その調査結果に基づいて、増幅器 1 1 1 が出力する差分信号の波形を評価する。

【 0 1 8 5 】

制御端子信号生成部 1 0 4 b は、その計測部 1 0 4 a の評価結果に基づいて、現在の歪み量を推定する。制御端子信号生成部 1 0 4 b は、その推定した歪み量に応じて、比較器 1 0 5 a の増幅量と、遅延器 1 0 5 b の遅延量とを調節する。

30

【 0 1 8 6 】

その後、制御端子信号生成部 1 0 4 b は、計測部 1 0 4 a の評価結果と、比較器 1 0 5 a の増幅量と遅延器 1 0 5 b の遅延量とに基づいて、比較器 1 0 5 a の増幅量と、遅延器 1 0 5 b の遅延量とを調節する。

【 0 1 8 7 】

これにより、測定器 1 0 4 は、比較器 1 0 5 a の増幅量と遅延器 1 0 5 b の遅延量とをフィードバック制御して調節することになる。

40

【 0 1 8 8 】

前置補償器 1 0 5 は、比較器 1 0 5 a および遅延器 1 0 5 b に加え、制御端子 1 0 5 a 1 と、制御端子 1 0 5 b 1 とを含む。比較器 1 0 5 a は、制御端子 1 0 5 a 1 と接続され、遅延器 1 0 5 b は、制御端子 1 0 5 b 1 と接続される。

【 0 1 8 9 】

制御端子 1 0 5 a 1 および 1 0 5 b 1 は、制御端子信号生成部 1 0 4 b と接続される。

【 0 1 9 0 】

トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 a は、フィルタ入力端子 1 5 1 と、フィルタ出力部 1 5 2 と、入力側遅延器 1 5 3 と、出力側遅延器 1 5 4 と、重み付け回路 1 5 5 と、負荷抵抗 1 5 6 ないし 1 5 8 とを含む。

50

【 0 1 9 1 】

なお、フィルタ入力端子 1 5 1 と、フィルタ出力部 1 5 2 と、入力側遅延器 1 5 3 と、出力側遅延器 1 5 4 と、重み付け回路 1 5 5 と、負荷抵抗 1 5 6 ないし 1 5 8 とのそれぞれは、図 2 で示したトランスバーサルフィルタの、フィルタ入力端子 8 0 1 と、フィルタ出力端子 8 0 2 と、遅延器 8 0 3 と、遅延器 8 0 4 と、重み付け回路 8 0 5 と、5 0 負荷抵抗 8 0 6 および 8 0 7 と、出力の負荷抵抗 8 0 9 とのそれぞれと同じ機能を有する。入力の負荷抵抗 8 0 8 は、図示していない。このトランスバーサルフィルタ部 1 0 6 a の各部の動作は、従来のもので変らず、当業者にとって自明なため詳細な説明は省略する。

【 0 1 9 2 】

なお、フィルタ出力部 1 5 2 には、出力リミット機能が付けられてもよい。

10

【 0 1 9 3 】

トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 a は、入力端子 1 0 1 が受け付けた伝送信号の歪みを補償する。具体的には、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 a は、光伝送中に発生された波長分散による伝送信号の歪み、および、電気伝送中に発生された電氣的な反射および損失などによる伝送信号の歪みなど、偏波モード分散による歪みと異なる歪みを主に補償する。

【 0 1 9 4 】

これにより、伝送信号が、偏波モード分散による歪みと、その偏波モード分散による歪みと異なる歪みとの両方の歪みを有していても、前置補償器 1 0 5 に入力される伝送信号の歪みを、例えば、図 1 2 または図 1 4 で示した E Y E 波形の伝送信号のように、偏波モード分散による歪みだけにすることが可能になる。

20

【 0 1 9 5 】

トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 は、フィルタ入力端子 1 6 1 と、フィルタ出力部 1 6 2 と、入力側遅延器 1 6 3 と、出力側遅延器 1 6 4 と、重み付け回路 1 6 5 と、負荷抵抗 1 6 6 ないし 1 6 8 とを含む。

【 0 1 9 6 】

なお、フィルタ入力端子 1 6 1 と、フィルタ出力部 1 6 2 と、入力側遅延器 1 6 3 と、出力側遅延器 1 6 4 と、重み付け回路 1 6 5 と、負荷抵抗 1 6 6 ないし 1 6 8 とのそれぞれは、図 2 で示したトランスバーサルフィルタの、フィルタ入力端子 8 0 1 と、フィルタ出力端子 8 0 2 と、遅延器 8 0 3 と、遅延器 8 0 4 と、重み付け回路 8 0 5 と、5 0 負荷抵抗 8 0 6 および 8 0 7 と、出力の負荷抵抗 8 0 9 とのそれぞれと同じ機能を有する。入力の負荷抵抗 8 0 8 は、図示していない。このトランスバーサルフィルタ部 1 0 6 の各部の動作は、従来のもので変らず、当業者にとって自明なため詳細な説明は省略する。

30

【 0 1 9 7 】

なお、フィルタ出力部 1 6 2 には、出力リミット機能が付けられてもよい。

【 0 1 9 8 】

トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 は、増幅器 1 1 1 が増幅した差分信号の歪みを補償する。具体的には、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 は、伝送信号の歪み量が特定の範囲に含まれないときの、偏波モード分散による差分信号の歪みを主に補償する。

【 0 1 9 9 】

ここで、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 の伝送信号の歪みを補正するためのパラメータは、固定値である。固定値は、その歪みを最大限に補償することが可能な値であることが望ましい。

40

【 0 2 0 0 】

パラメータは、例えば、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 のフィルタ係数、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 に含まれる複数の遅延器のそれぞれの遅延量、および、トランスバーサルフィルタ部 1 0 6 の出力リミット値などである。

【 0 2 0 1 】

例えば、入力端子 1 0 1 が図 1 2 で示された E Y E 波形の伝送信号を受け付けた場合、測定器 1 0 4 a は、その伝送信号の波形を評価する。制御端子信号生成部 1 0 4 b は、そ

50

の差分信号の波形に基づいて、群遅延差を1 [UI]と推定し、分岐比率を0.5と推定する。

【0202】

制御端子信号生成部104bは、遅延器105bの遅延量を0.9 [UI]ないし1.1 [UI]に含まれる値に調節する。また、制御端子信号生成部104bは、比較器105aの伝送信号の増幅量を1倍に調節し、比較器105aの補償用信号の増幅量を1.5倍に調節する。

【0203】

この場合、トランスバーサルフィルタ部106にて歪みが補償された差分信号のEYE波形は、図13で示されたEYE波形のようになる。

10

【0204】

このEYE波形の差分信号の場合、再生分離部112は、差分信号からエラーのないデータを再生することができる。

【0205】

例えば、入力端子101が図14で示されたEYE波形の伝送信号を受け付けた場合、測定器104aは、その伝送信号の波形を評価する。制御端子信号生成部104bは、その差分信号の波形に基づいて、群遅延差を1 [UI]と推定し、分岐比率を0.3と推定する。

【0206】

制御端子信号生成部104bは、遅延器105bがLowレベル信号を補償用信号として生成するように制御する。また、制御端子信号生成部104bは、比較器105aの伝送信号の増幅量を2倍に調節し、比較器105aの補償用信号の増幅量を1倍に調節する。

20

【0207】

比較器105aは、測定器104にて調節された増幅量だけ伝送信号および補償用信号を線形増幅する。比較器105aは、その線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成する。なお、補償用信号がLowレベル信号のため、この差分信号は、線形増幅された伝送信号と同じになる。

【0208】

この場合、トランスバーサルフィルタ部106にて歪みが補償された差分信号のEYE波形は、図14で示されたEYE波形の信号に比べて、ジッタなどの歪みが大きい。しかしながら、この場合でも、再生分離部112は、その差分信号からエラーのないデータを再生することができる。

30

【0209】

なお、トランスバーサルフィルタ部106のパラメータを固定値として説明したが、トランスバーサルフィルタ部106aのパラメータを固定値にしてもよい。この場合、トランスバーサルフィルタ部106が、偏波モード分散による歪みと異なる歪みを主に補償し、トランスバーサルフィルタ部106aが、伝送信号の歪み量が特定の範囲に含まれないときの、偏波モード分散による差分信号の歪みを主に補償する。

【0210】

次に動作を説明する。

40

【0211】

入力端子101は、伝送信号を受け付けると、その伝送信号をトランスバーサルフィルタ部106aに出力する。

【0212】

トランスバーサルフィルタ部106aは、その伝送信号を受け付けると、その伝送信号の歪みを補償し、その歪みを補償した伝送信号を増幅器103に出力する。なお、トランスバーサルフィルタ部106aは、偏波モード分散による歪みと異なる歪みを補償する。

【0213】

増幅器103は、トランスバーサルフィルタ部106aから伝送信号を受け付けると、

50

その伝送信号を増幅する。増幅器 103 は、その増幅した伝送信号を前置補償器 105 に出力する。

【0214】

前置補償器 105 は、その伝送信号を受け付けると、その伝送信号の歪みを補償した差分信号を生成する。前置補償器 105 は、その差分信号を増幅器 111 に出力する。

【0215】

増幅器 111 は、その差分信号を受け付けると、その差分信号を増幅する。増幅器 111 は、その増幅した差分信号を計測部 104a およびトランスバーサルフィルタ部 106 に出力する。

【0216】

計測部 104a は、その差分信号を受け付けると、その差分信号の波形を評価する。計測部 104a は、その評価結果を制御端子信号生成部 104b に出力する。

【0217】

制御端子信号生成部 104b は、その評価結果を受け付けると、その評価結果と、比較器 105a の増幅量と、遅延器 105b の遅延量とに基づいて、伝送信号の歪み量を推定する。なお、制御端子信号生成部 104b は、その増幅量および遅延量を保持しているものとする。

【0218】

制御端子信号生成部 104b は、その歪み量に基づいて、比較器 105a の増幅量と、遅延器 105b の遅延量とを求める。制御端子信号生成部 104b は、その増幅量を示す増幅量信号と、その遅延量を示す遅延量信号と、制御信号を生成する。

【0219】

なお、制御端子信号生成部 104b は、遅延量として 0 でない値を求めると、遅延を示す制御信号と、遅延量信号を生成する。遅延量として 0 を求めると、その遅延量を示す遅延量信号を生成せずに、Low レベル信号を示す制御信号を生成する。

【0220】

制御端子信号生成部 104b は、その増幅量信号を、制御端子 105a1 を介して比較器 105a に出力する。また、制御端子信号生成部 104b は、その遅延量信号を、制御端子 105b1 を介して遅延器 105b に出力する。

【0221】

トランスバーサルフィルタ部 106 は、その差分信号を受け付けると、その差分信号の歪みを補償し、その歪みを補償した差分信号を再生分離部 112 に出力する。

【0222】

再生分離部 112 は、その差分信号を受け付けると、その差分信号からデータを再生する。

【0223】

本実施形態では、トランスバーサルフィルタ部 106 または 106a の歪みを補償するためのパラメータは、固定値である。

【0224】

この場合、伝送信号の歪みを補償させるために調節が必要な回路の数を減少させることが可能になり、伝送信号の歪みの変動に対する追従性を良くすることが可能になる。

【0225】

なお、各実施形態において、変換器 102、増幅器 103 および 111、測定器 104、トランスバーサルフィルタ部 106 および 106a、比較器 105a、遅延器 105b および再生分離部 112 などは、バイポーラトランジスタ、電界効果トランジスタおよび MOS トランジスタなどの半導体素子を用いて構成される。なお、これらの構成は、当業者にとって自明なため、詳細な説明は省略する。

【0226】

上記の実施形態によれば、伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号が生成される。また、伝送信号の歪みを特徴付ける歪み量に基づいてその差分信号が遅延され、補償

10

20

30

40

50

用信号が生成される。

【 0 2 2 7 】

伝送信号において、遅軸波と速軸波とが重なり合っ符号間干渉が発生している場合、補償用信号は、速軸波の振幅と同程度にすることが可能になる。例えば、歪み量を表す群遅延差が 0.85 [UI] ないし 0.15 [UI] に含まれ、かつ、光パワーの分岐比率が 0.4 ないし 0.6 に含まれる場合、差分信号は、0.75 [UI] ないし 1.25 [UI] に含まれる値だけ遅延されると、補償用信号の振幅が伝送信号の速軸波の振幅と同程度になる。

【 0 2 2 8 】

このため、伝送信号と補償用信号との差分を表す差分信号は、伝送信号から速軸波を差し引いた信号と同程度の振幅となり、伝送信号の符号間干渉を解消することが可能になる。したがって、従来、伝送信号のレベルの判定が困難であった場合でも、伝送信号のレベルを判定することが可能になり、偏波モード分散による伝送信号の歪みを補償することが可能な範囲を広げることが可能になる。

10

【 0 2 2 9 】

また、前記測定部は、前記歪み量を測定すると、該歪み量が特定の範囲に含まれるかを判定し、前記生成部は、前記測定部にて前記歪み量が前記特定の範囲に含まれると判定されると、前記差分信号を所定の遅延量で遅延することが望ましい。

【 0 2 3 0 】

上記の実施形態によれば、歪み量が特定の範囲に含まれると、差分信号が所定の遅延量だけ遅延される。このため、伝送信号の歪みをより正確に補償することが可能になる。

20

【 0 2 3 1 】

また、前記測定部は、前記歪み量が前記特定の範囲に含まれると判定すると、該歪み量に応じて前記生成部の遅延量を調節することが望ましい。

【 0 2 3 2 】

伝送信号の歪みは、伝送信号が通過する光ファイバにかかる応力などに応じて変化する。このため、適切な遅延量を予め知ることが困難な場合がある。

【 0 2 3 3 】

上記の実施形態によれば、遅延量が歪み量に応じて調節される。このため、適切な遅延量を予め知ることが困難な場合でも、偏波モード分散による伝送信号の歪みを補償することが可能な範囲を広げることが可能になる。

30

【 0 2 3 4 】

また、前記生成部は、クロック信号の周期を変える調整部と、前記測定部にて前記歪み量が前記特定の範囲に含まれると判定されると、前記調整部にて周期が変えられたクロック信号に同期して、前記補償部が生成した差分信号を取り込み、該取り込んだ差分信号を前記補償用信号として生成するサンプル・アンド・ホールド型遅延部と、を含み、前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記調整部が変えるクロック信号の周期を調節することが望ましい。

【 0 2 3 5 】

上記の実施形態によれば、クロック信号の周期が歪み量に応じて変えられる。また、その周期が変えられたクロック信号に同期して取り込まれた差分信号が、補償用信号として生成される。このため、容易に遅延量を調節することが可能になる。

40

【 0 2 3 6 】

また、前記生成部は、互いに異なる遅延量を有し、前記測定部にて前記歪み量が特定の範囲に含まれると判定されると、いずれか一つが前記差分信号を遅延して前記補償用信号を生成する複数の所定遅延部を含み、前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記補償用信号を生成する所定遅延部を選択することが望ましい。

【 0 2 3 7 】

上記の実施形態によれば、補償用信号を生成する所定遅延部が、歪み量に応じて選択される。このため、容易に遅延量を調節することが可能になる。

50

【 0 2 3 8 】

また、前記歪み量は、群遅延差および光パワーの分岐比率であることが望ましい。

【 0 2 3 9 】

また、Nを1以上の整数とし、かつ、MをNが1であると1としNが2以上であると2としたとき、前記特定の範囲としては、前記群遅延差が $N - 0.15M [UI]$ ないし $N + 0.15M [UI]$ に含まれる範囲であり、かつ、前記分岐比率が0.4ないし0.6に含まれる範囲であり、また、前記差分信号の遅延量が、 $N - 0.25 [UI]$ ないし $N + 0.25 [UI]$ に含まれる値であることが望ましい。

【 0 2 4 0 】

また、前記補償部が生成した差分信号の歪みを補償する後段フィルタ部を含むことが望ましい。 10

【 0 2 4 1 】

上記の実施形態によれば、伝送信号の歪みをより正確に補償することが可能になる。

【 0 2 4 2 】

また、前記後段フィルタ部は、少なくとも一つのフィードフォワード型等化フィルタ、または、少なくとも一つのフィードバック型等化フィルタを含むことが望ましい。

【 0 2 4 3 】

また、前記入力部が受け付けた伝送信号の歪みを補償する前段フィルタ部を含み、前記生成部は、前記前段フィルタ部にて歪みが補償された伝送信号と前記補償用信号との差分を表す差分信号を生成することが望ましい。 20

【 0 2 4 4 】

上記の実施形態によれば、伝送信号の歪みをより正確に補償することが可能になる。

【 0 2 4 5 】

また、前記前段フィルタ部は、少なくとも一つのフィードフォワード型等化フィルタ、または、少なくとも一つのフィードバック型等化フィルタを含むことが望ましい。

【 0 2 4 6 】

また、前記補償部は、前記伝送信号および前記補償用信号を線形増幅し、該線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成することが望ましい。

【 0 2 4 7 】

特に伝送信号がアナログ信号の場合、差分信号の振幅が大きくなりすぎたり、小さくなりすぎたりする。このため、差分信号の波形が、データの再生に適さなくなる可能性がある。 30

【 0 2 4 8 】

上記の実施形態によれば、線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号が生成される。このため、差分信号の振幅を適切な値にすることが可能になり、差分信号の波形を、データの再生に適した波形にすることが可能になる。

【 0 2 4 9 】

また、前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記補償部の増幅量を調節することが望ましい。

【 0 2 5 0 】

増幅量の適切な値を予め知ることは困難な場合がある。 40

【 0 2 5 1 】

上記の実施形態によれば、増幅量が歪み量に応じて調節される。このため、増幅量の適切な値を予め知ることは困難な場合でも、差分信号の波形を、データの再生に適した波形にすることが可能になる。

【 0 2 5 2 】

前記後段フィルタ部の前記伝送信号の歪みを補償するためのパラメータは、固定値であり、前記補償部は、前記伝送信号および前記補償用信号を線形増幅し、該線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成し、前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記補償部の増幅量を調節することが望ましい。 50

【 0 2 5 3 】

例えば、パラメータを表すフィルタ係数は、後段フィルタ部が含む複数の増幅器のそれぞれの増幅量が調節されることで変動する。伝送信号の歪みが時間と共に変動する場合、従来の等化フィルタは、パラメータを時間共に変動させて、伝送信号の歪みを補償していた。このため、伝送信号の歪みを補償させるために調節が必要な回路の数が多いので、その回路からの応答時間が長くなっていた。したがって、伝送信号の歪みの変動に対する追従性が悪かった。

【 0 2 5 4 】

上記の実施形態によれば、パラメータは、固定値である。増幅量が歪み量に応じて調節される。このため、伝送信号の歪みを補償させるために調節が必要な回路の数を減少させることが可能になり、伝送信号の歪みの変動に対する追従性を良くすることが可能になる。

10

【 0 2 5 5 】

また、前記前段フィルタ部の前記伝送信号の歪みを補償するためのパラメータは、固定値であり、前記補償部は、前記伝送信号および前記補償用信号を線形増幅し、該線形増幅された伝送信号および補償用信号の差分を表す差分信号を生成し、前記測定部は、前記測定した歪み量に応じて、前記補償部の増幅量を調節することが望ましい。

【 0 2 5 6 】

例えば、パラメータを表すフィルタ係数は、前段フィルタ部が含む複数の増幅器のそれぞれの増幅量が調節されることで変動する。伝送信号の歪みが時間と共に変動する場合、従来の等化フィルタは、パラメータを時間共に変動させて、伝送信号の歪みを補償していた。このため、伝送信号の歪みを補償させるために調節が必要な回路の数が多いので、その回路からの応答時間が長くなっていた。したがって、伝送信号の歪みの変動に対する追従性が悪かった。

20

【 0 2 5 7 】

上記の実施形態によれば、パラメータは、固定値である。増幅量が歪み量に応じて調節される。このため、伝送信号の歪みを補償させるために調節が必要な回路の数を減少させることが可能になり、伝送信号の歪みの変動に対する追従性を良くすることが可能になる。

【 0 2 5 8 】

また、前記生成部は、前記伝送信号と前記補償用信号とを3値信号とし、前記伝送信号と前記補償用信号とについて3値の排他的論理和を演算し、その演算結果を差分信号として生成することが望ましい。

30

【 0 2 5 9 】

上記の実施形態によれば、容易に伝送信号の歪みを補償することが可能になる。

【 0 2 6 0 】

以上説明した各実施形態において、図示した構成は単なる一例であって、本発明はその構成に限定されるものではない。

【 0 2 6 1 】

例えば、遅延器105bは、伝送信号がアナログ信号の場合、アナログデジタル変換を行なうA/D変換器でもよい。この場合、測定器104は、そのデジタル信号に変換された伝送信号の出力タイミングを調節することで、遅延器105bの遅延量を調節する。

40

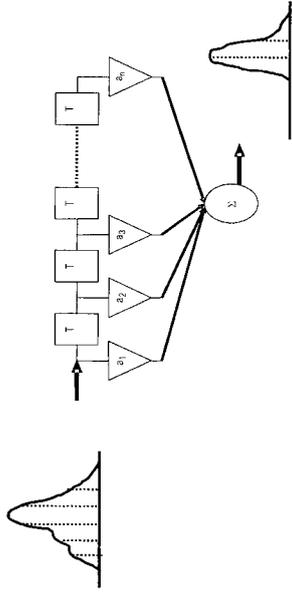
【 0 2 6 2 】

また、各実施形態では、伝送信号を単相信号として説明したが、伝送信号は差動信号でもよい。この場合、差動信号の二つの信号ごとに、等化フィルタを用いることで、その差動信号の歪みを補償することができる。

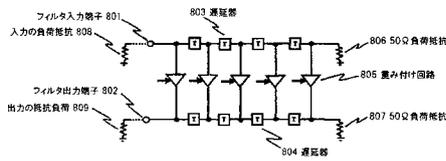
【 0 2 6 3 】

この出願は、2006年12月19日に提出された日本出願特願2006-341274を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

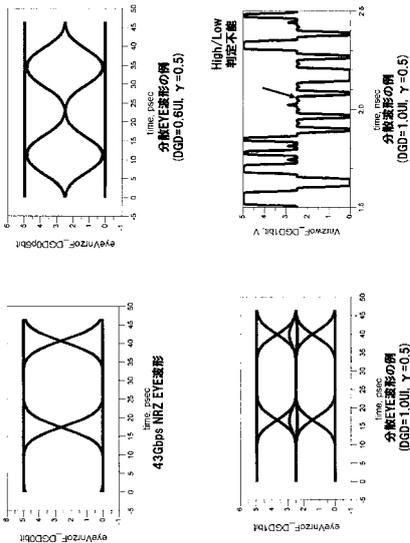
【図1】



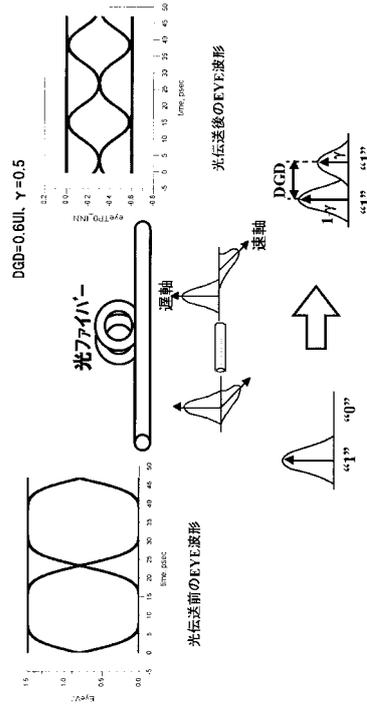
【図2】



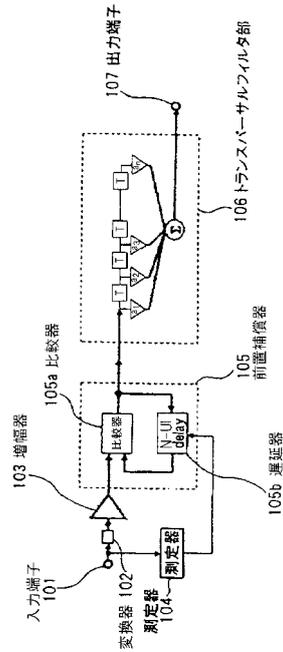
【図4】



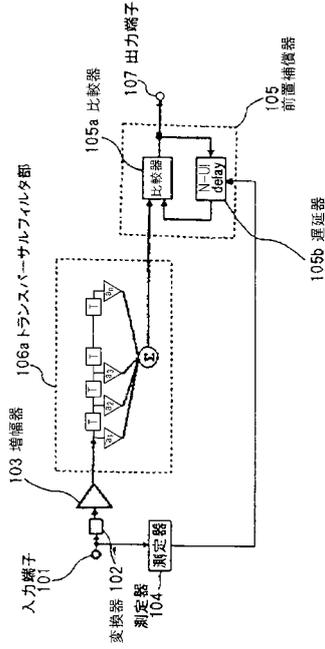
【図3】



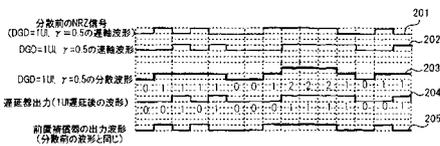
【図5A】



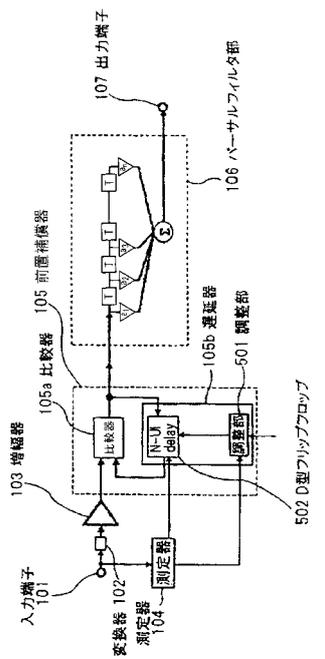
【図5B】



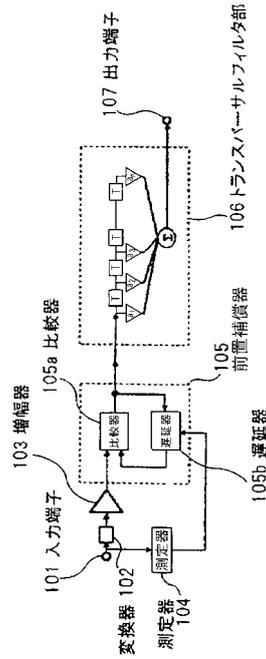
【図6】



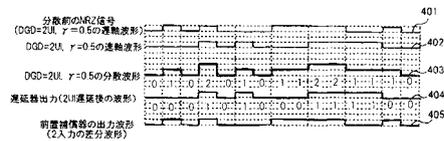
【図9】



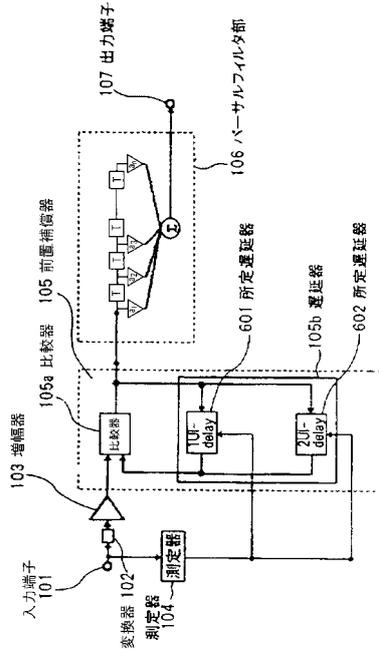
【図7】



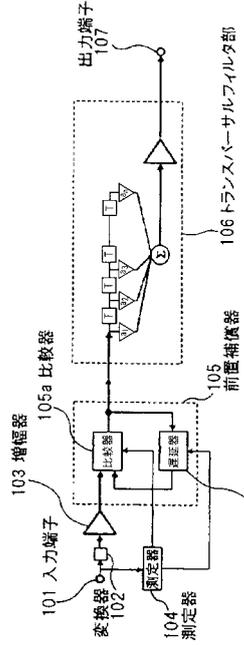
【図8】



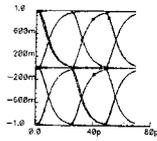
【図10】



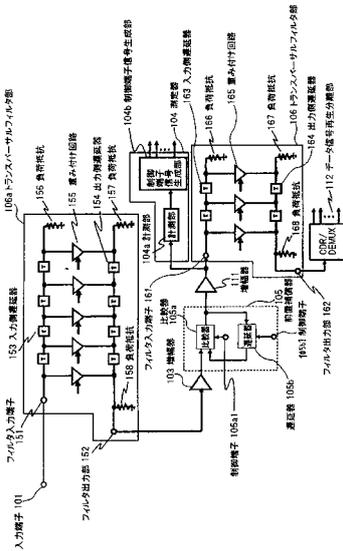
【図 1 1】



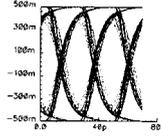
【図 1 2】



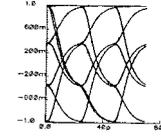
【図 1 6】



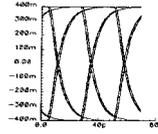
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 Herbert F.Haunstein, et.al. , Principles for electronic equalization of polarization-mode dispersion , Journal of Lightwave Technology , 米国 , IEEE , 2004年 4月 , Vol.22, No.4 , pages.1169-1182

Afshin Montaz, et.al. , A Fully Integrated 10-Gb/s Receiver With Adaptive Optical Dispersion Equalizer in 0.13- μm CMOS , IEEE Journal of Solid-State Circuits , 米国 , IEEE , 2006年 , Vol.42, Issue.4 , pages.872-880

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H04B 3/06