

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年6月30日(30.06.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/103633 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/03 (2006.01) H04B 10/548 (2013.01)
H04B 10/077 (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/006248
- (22) 国際出願日: 2015年12月15日(15.12.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-260680 2014年12月24日(24.12.2014) JP
- (71) 出願人: 日本電気株式会社(NEC CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号
Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 五江 潤太(GOEBUCHI, Yuta); 〒
1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気
株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 下坂 直樹(SHIMOSAKA, Naoki); 〒
1088001 東京都港区芝五丁目7番1号日本電気
株式会社内 Tokyo (JP).

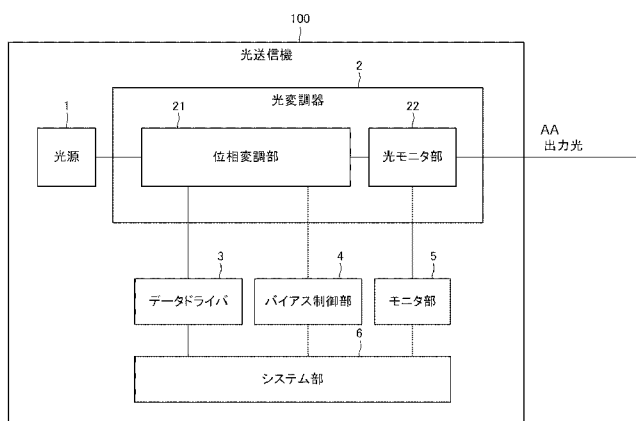
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: OPTICAL TRANSMITTER AND METHOD FOR CONTROLLING OPTICAL TRANSMITTER

(54) 発明の名称: 光送信機及び光送信機の制御方法



1 Light source
2 Optical modulator
3 Data driver
4 Bias control unit
5 Monitor unit
6 System unit
21 Phase modulation unit
22 Light monitor unit
100 Optical transmitter
AA Output light

(57) Abstract: In order to shorten the convergence time in ABC control and minimize the reduction in reception sensitivity by a simple configuration while taking into consideration individual differences among modulators, this optical transmitter is provided with: an optical modulation unit to which are applied an optical carrier wave, a data signal for modulating the optical carrier wave, and a bias voltage onto which a pilot signal is superimposed, the bias voltage setting a carrier wave modulation point, and the optical modulation unit outputting a data signal-modulated carrier wave as output light, as well as outputting a monitor signal proportional to the amplitude of the output light; and a control unit for detecting from the monitor signal the amplitude of a first signal which is a signal of a frequency double that of the pilot signal, and performing feedback control of the bias voltage such that the amplitude of the first signal reaches maximum, as well as setting the amplitude of the pilot signal to a first amplitude when commencing feedback control, and when the amplitude of the first signal has increased, setting the amplitude of the pilot signal to a second amplitude lower than the first amplitude.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/103633 A1



簡単な構成で、変調器の個体差を考慮しつつ、A B C制御の収束時間を短縮し、受信感度の低下を抑制するために、光送信機は、光搬送波と、光搬送波を変調するためのデータ信号と、パイロット信号が重畳された、光搬送波の変調点を設定するバイアス電圧と、が印加され、データ信号により変調された光搬送波を出力光として出力するとともに、出力光の振幅に比例するモニタ信号を出力する光変調部と、パイロット信号の2倍の周波数の信号である第1の信号の振幅をモニタ信号から検出し、第1の信号の振幅が最大となるようにバイアス電圧をフィードバック制御するとともに、フィードバック制御の開始時にはパイロット信号の振幅を第1の振幅に設定し、第1の信号の振幅が増加した場合にはパイロット信号の振幅を第1の振幅よりも小さい第2の振幅に設定する制御部と、を備える。

明 細 書

発明の名称：光送信機及び光送信機の制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、光送信機及び光送信機の制御方法に関し、特に、バイアス電圧に重畳されるパイロット信号の制御手段を備える光送信機及び光送信機の制御方法に関する。

背景技術

[0002] 光ファイバ通信システムでは、より大容量の通信を実現するために、光位相変調方式が用いられる。光位相変調方式として、例えば、四位相偏移（Quadrature Phase Shift Keying、Q P S K）変調が広く知られている。光導波路に設けられた電極に印加する電圧を制御することでQ P S K変調を行う光変調器も知られている。

[0003] 図10は、一般的な光変調器900の構成を示すブロック図である。光変調器900は、位相変調部91、光モニタ部92を備える。位相変調部91は、マッハツェンダー（Mach-Zehnder、MZ）変調器93、94、及び移相器95を備える。MZ変調器93、94は、入力光をデータ信号によりQ P S K変調する。移相器95は、MZ変調器93から出力される変調光とMZ変調器94から出力される変調光との間に $\pi/2$ の位相差を付加する。MZ変調器93、94で位相変調された光は合波され、Q P S K信号が生成される。

[0004] 光モニタ部92は、Q P S K信号の振幅に比例した振幅を持つモニタ信号を出力する。MZ変調器93、94のバイアス電圧を制御するために、バイアス電圧にパイロット信号（ディザ信号）を重畳して、モニタ信号からパイロット信号の周波数成分を検出し、その振幅が最小となるようにバイアス電圧を制御する方法が知られている。このような制御方法は、A B C（automatic bias control）制御と呼ばれる場合がある（例えば、特許文献1参照）。さらに、特許文献2及び特許文献3には、発光素子の変調電流にパイロット

電流が重畳され、検出されたパイロット電流の振幅に基づいて変調電流が制御される、発光素子の制御方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2008-092172号公報
特許文献2：国際公開第2014/038239号
特許文献3：国際公開第2014/038338号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 一般的なABC制御ではパイロット信号の振幅は一定であるため、ABC制御が安定するまでの時間、受信感度、あるいは光変調器の個体差といった点から、パイロット信号の振幅が必ずしも好ましい設定となっていない可能性があった。特許文献1には、パイロット信号の振幅を変化させることが記載されている。しかし、特許文献1～3に記載された技術は、パイロット信号の振幅を適切に制御するための具体的な手順を開示するものではない。

- [0007] (発明の目的)

本発明は、簡単な構成で、変調器の個体差を考慮しつつ、ABC制御の収束時間の短縮、受信感度の低下の抑制を実現するための技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明の光送信機は、光搬送波と、前記光搬送波を変調するためのデータ信号と、パイロット信号が重畳された、前記光搬送波の変調点を設定するバイアス電圧と、が印加され、前記データ信号により変調された前記光搬送波を出力光として出力するとともに、前記出力光の振幅に比例するモニタ信号を出力する光変調手段と、前記パイロット信号の2倍の周波数の信号である第1の信号の振幅を前記モニタ信号から検出し、前記第1の信号の振幅が最大となるように前記バイアス電圧をフィードバック制御するとともに、前記

フィードバック制御の開始時には前記パイロット信号の振幅を第１の振幅に設定し、前記第１の信号の振幅が増加した場合には前記パイロット信号の振幅を前記第１の振幅よりも小さい第２の振幅に設定する制御部と、を備える。

[0009] 本発明の光送信機の制御方法は、光搬送波と、前記光搬送波を変調するためのデータ信号と、パイロット信号が重畳された、前記光搬送波の変調点を設定するバイアス電圧と、を光変調手段に印加し、前記データ信号により変調された前記光搬送波を出力光として出力し、前記出力光の振幅に比例するモニタ信号を出力し、前記パイロット信号の２倍の周波数成分を含む第１の信号を前記モニタ信号から検出し、前記第１の信号の振幅が最大となるように前記バイアス電圧をフィードバック制御し、前記フィードバック制御の開始時には前記パイロット信号の振幅を第１の振幅に設定し、前記第１の信号の振幅が増加した場合には前記パイロット信号の振幅を前記第１の振幅よりも小さい第２の振幅に設定する、ことを特徴とする。

[0010] 本発明の光送信機の制御プログラムは、光送信機のコンピュータに、光搬送波と、前記光搬送波を変調するためのデータ信号と、パイロット信号が重畳された、前記光搬送波の変調点を設定するバイアス電圧と、を光変調手段に印加する手順、前記データ信号により変調された前記光搬送波を出力光として出力する手順、前記出力光の振幅に比例するモニタ信号を出力する手順、前記パイロット信号の２倍の周波数成分を含む第１の信号を前記モニタ信号から検出する手順、記第１の信号の振幅が最大となるように前記バイアス電圧をフィードバック制御する手順、前記フィードバック制御の開始時に前記パイロット信号の振幅を第１の振幅に設定する手順、前記第１の信号の振幅が増加した場合には前記パイロット信号の振幅を前記第１の振幅よりも小さい第２の振幅に設定する手順、を実行させる。

発明の効果

[0011] 本発明の光送信機及び光送信機の制御方法は、簡単な構成で、変調器の個体差を考慮しつつ、ＡＢＣ制御の収束時間の短縮、受信感度の低下の抑制を

実現する。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]第1の実施形態の光送信機の構成を示すブロック図である。

[図2]第1の実施形態の光変調器の特性例を示す図である。

[図3]パイロット信号の振幅に対する受信感度への影響の測定結果の例を示す図である。

[図4]パイロット信号の振幅に対する受信感度への影響の測定結果の例を示す図である。

[図5]パイロット信号の振幅の違いによるA B C制御の収束時間を測定した結果を示す図である。

[図6]パイロット信号の振幅の違いによるA B C制御の収束時間を測定した結果を示す図である。

[図7]システム部の動作を示すフローチャートの例である。

[図8]パイロット信号の振幅を変更するための回路例を示すブロック図である。

[図9]パイロット信号の振幅を変更するための回路例を示すブロック図である。

[図10]一般的な光変調器の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0013] (実施形態の概要)

以下の実施形態においては、光変調器の自動バイアス制御 (automatic bias control、A B C制御) の途中で、バイアス電圧に重畳されるパイロット信号の振幅が変更される。

[0014] 後述されるように、周波数 f_0 のパイロット信号をバイアス電圧に重畳した場合には、バイアス電圧の最適値 (ロック点) 付近では、モニタ信号に含まれる f_0 成分の振幅が減少するとともに、 $2f_0$ 成分の振幅が増加する。以下の実施形態では、モニタ信号に含まれる $2f_0$ 成分の振幅の変化に基づいてパイロット信号の振幅が変更される。

[0015] (第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態の光送信機100の構成を示すブロック図である。光送信機100は、光源1、光変調器2、データドライバ3、バイアス制御部4、モニタ部5、システム部6を備える。光源1は、例えばレーザダイオードであり、一定の波長及び一定の振幅の光搬送波を発生する。光変調器2は、データドライバ3から出力されるデータ信号によって、光搬送波を変調する。

[0016] 光変調器2は、位相変調部21及び光モニタ部22を備える。位相変調部21は、データドライバ3から入力されるデータ信号を用いて、光源1から入力された光搬送波をQPSK (quadrature phase shift keying) 変調して、出力光として出力する。位相変調部21は、例えば、ニオブ酸リチウム (lithium niobate、LN) を材料としたマッハツェンダー (Mach-Zehnder) 変調器を含む光導波路デバイスである。光モニタ部22は、光カップラと受光素子とを備え、光カップラで分岐した出力光を受光素子で電気信号に変換して、モニタ信号としてモニタ部5へ出力する。モニタ信号は、出力光の振幅に比例した振幅を持つ信号である。

[0017] 図10で説明した光変調器900を、本実施形態の光変調器2として用いることができる。この場合、図10の光変調器900、位相変調部91、光モニタ部92は、それぞれ、図1の光変調器2、位相変調部21、光モニタ部22に対応する。

[0018] データドライバ3は、システム部6から入力されたデジタルデータを、位相変調部21の駆動に適した形式及び振幅の電気信号に変換する。データドライバ3は、QPSK変調のために2ビットのデータを光変調器2へ出力してもよい。バイアス制御部4は、システム部6の指示に基づいて、位相変調部21に印加するバイアス電圧を制御する。バイアス電圧は、位相変調部21の光搬送波の変調点を設定するために印加される。モニタ部5は、光モニタ部22から出力されるモニタ信号を増幅し、モニタ信号に含まれるパイロット信号の周波数に関連する周波数成分の振幅及び位相 (モニタ信号の情報

）を検出してシステム部6へ出力する。システム部6は、光送信機100によって送信されるデジタルデータをデータドライバ3に出力するとともに、モニタ部5から受信したモニタ信号の情報に基づいて、バイアス電圧を指示する信号をバイアス制御部4に出力する。

[0019] 図2は、光変調器2の特性例を示す図である。図2には、光変調器2のドライブ電圧－出力光強度特性の例（図2の左側）と、ドライブ電圧－出力光強度特性に対応する、モニタ信号に含まれるパイロット信号の振幅の時間変化の例（図2の右側）が示される。ドライブ電圧は、バイアス電圧及びデータ信号に基づいて光変調器2に印加される電圧である。左側のグラフの縦軸は光変調器2の光出力強度を示す。左側のグラフの横軸はドライブ電圧を示す。このように例示される光変調器の特性は V_{π} 特性と呼ばれる。光変調器2に印加されるドライブ電圧の変化により、光変調器2の光出力強度は周期的に変化する。

[0020] バイアス制御部4は、ABC制御を実行するために、バイアス電圧に周波数 f_0 のパイロット信号を重畳する。パイロット信号はディザ信号とも呼ばれる。パイロット信号の周波数 f_0 はデータ信号の速度と比較して十分に低く、モニタ信号からの周波数 f_0 成分の検出は容易である。データ信号の伝送特性への影響を考慮して、パイロット信号の振幅は比較的小さい値に設定される。

[0021] モニタ部5は、光モニタ部22で検出されたモニタ信号の情報をシステム部6に伝達する。モニタ信号の情報は、モニタ信号に含まれるパイロット信号の周波数に関連する周波数成分の振幅及び位相の情報を含む。システム部6は、モニタ信号の情報に基づいて、バイアス制御部4から出力されるバイアス電圧及びバイアス制御部4で重畳されるパイロット信号の振幅を制御する。

[0022] モニタ信号には、パイロット信号に対応する信号の周波数及び振幅が含まれる。これらは、パイロット信号を重畳した時のバイアス電圧に依存して変化する。図2を参照すると、光出力強度が最大または最小となる点（図中の

PEAK点またはNULL点)とデータ信号の振幅とが一致するようになるようにバイアス電圧が設定された場合には、図2の右側のグラフに示されるように、モニタ信号に含まれるパイロット信号の f_0 成分の振幅は最小となる。光出力強度が最大から半分(QUADRATURE点)となるようにバイアス電圧が設定された場合、パイロット信号の振幅は最大となる。ドライブ電圧がNULL点またはPEAK点を中心に V_π 特性の対称の位置にある場合、それぞれのドライブ電圧のパイロット信号に対応するモニタ信号は、位相が互いに180度異なる。このため、モニタ信号に含まれる f_0 成分の位相の変化から、ドライブ電圧がNULL点またはPEAK点を超えて変化したかどうかを知ることができる。

[0023] 重畳されたパイロット信号により、出力光の振幅は周波数 f_0 で変化する。一方、ドライブ電圧が図2のPEAK点の近傍にある場合、図2の右側のグラフに示されるように、モニタ信号にはパイロット信号の周波数成分である f_0 の2倍の周波数 $2f_0$ の成分の信号が含まれる。このようなモニタ信号の状態の変化を監視するために、モニタ部5は、パイロット信号の周波数である f_0 及びその2倍の周波数である $2f_0$ の成分の振幅をモニタ信号から検出して、システム部6に通知する。すなわち、モニタ部5は、出力光に含まれる、パイロット信号の2倍の周波数の信号をもシステム部6に出力する。 $2f_0$ 成分の振幅は、ドライブ電圧が最適となるPEAK点付近で増加し、PEAK点において最大となる。システム部6は、 $2f_0$ 成分の振幅が最大となった場合に、バイアス電圧が最適値であると判断してもよい。そして、システム部6は、 $2f_0$ 成分の振幅が増加している場合には、バイアス電圧の制御によりドライブ電圧が最適値に近づいていると判断して、パイロット信号の振幅を小さくする。以下では、パイロット信号の振幅の変化に伴う受信感度及びABC制御への影響について説明する。

[0024] 図3及び図4は、パイロット信号の振幅に対する受信感度への影響の測定結果を示す例である。パイロット信号は、データ信号に対するノイズ成分となる。このため、バイアス電圧に重畳されるパイロット信号の振幅が小さい

ほど、出力光のS N比（signal to noise比、信号対雑音比）は向上する。図3には、光干渉計を用いた直接検波方式を用いた受信系による受信感度の測定結果の例が示される。図3のグラフは、所定のエラーレートにおける最低光受信レベル（受信感度）を示す。図4は、図3におけるエラーレート（bit error rate、BER）が 10^{-9} である場合の受信感度（dBm）をパイロット信号の振幅（Vpp）と対応させて示す。図3及び図4から、パイロット信号の振幅が小さいほど受信感度が高いことが確認できる。このように、受信感度の観点からは、パイロット信号の振幅はなるべく小さいことが好ましい。

[0025] 一方、パイロット信号の振幅は、ABC制御の収束時間にも影響する。フィードバック系においては、一般的に、系のゲインを高くすると系が安定するまでの時間は短くなる。系が安定するまでの時間は「収束時間」あるいは「整定時間」と呼ばれる。図5及び図6は、パイロット信号の振幅の違いによるABC制御の収束時間を測定した結果の例を示す図である。図5及び図6には、時間を横軸とし、バイアス電圧あるいはモニタ信号の振幅を縦軸とした測定結果が示される。図5はパイロット信号の振幅が比較的大きい場合の例を示し、図6はパイロット信号の振幅が図5の場合よりも小さい場合の例を示す。図5及び図6の縦軸の目盛は任意であり、収束時間は横軸で比較される。図5及び図6のバイアス電圧は図1の位相変調部21に印加される電圧の波形を示し、モニタ信号の振幅はモニタ部5から出力されるモニタ信号のf0成分の振幅を示す。図5及び図6の例では、ABC制御が開始された直後にはバイアス電圧は一旦上昇し、その後一定値に収束する動作が示される。

[0026] 図5において、パイロット信号の振幅が大きい場合の収束時間は1.865秒であり、図6の測定結果の収束時間17.229秒と比較して収束時間は非常に短い。しかし、図5では、収束後のモニタ信号の振幅にノイズが残存することが確認できる。これは、フィードバック系のゲインが高いことに起因する。これに対して、図6に示される、パイロット信号の振幅が小さい

場合の収束時間は17.229秒である。しかし、図6では、収束後のモニタ信号の振幅にはノイズは見られない。これは、パイロット信号の振幅が比較的小さい場合には、フィードバック系がより安定していることを示す。

[0027] 図3～図6の測定結果に示されるように、パイロット信号の振幅を大きくすることは、収束時間の短縮という利点がある一方、受信感度の低下や収束後のモニタ信号のノイズによる悪影響が懸念される。逆に、パイロット信号の振幅を小さくした場合には、収束時間は増大するものの、収束後のモニタ信号のノイズが少ないため系の安定度が向上する。また、パイロット信号の振幅を小さくした場合には、受信感度も改善される。このため、ABC制御の初期にはパイロット信号の振幅を大きくすることで収束時間を短縮し、ある程度バイアス電圧が安定した後はパイロット信号の振幅を小さくすることで、受信感度の低下を抑制できるとともに系を安定させることができる。

[0028] また、光変調器2の V_{π} 特性は、光変調器ごとに異なっている。従って、 V_{π} 特性の個体差に合わせてパイロット信号の振幅を変更することで、パイロット信号の振幅を最適化することができる。

[0029] 図7は、本実施形態における、システム部6の動作を示すフローチャートの例である。ステップS1では、光変調器2の出荷データ（あるいは実測）により確認された V_{π} 特性に基づいて決定された、パイロット信号の振幅 V_1 がシステム部6に記録される（ステップS1）。例えば、光変調器2のバイアス電圧が10Vの場合には、パイロット信号の振幅 V_1 の既定値が200mVppと規定されたとする。振幅 V_1 は、光送信機100におけるABC制御の安定後のパイロット信号の振幅である。この場合、バイアス電圧が9Vである V_{π} 特性を持つ光変調器2に対しては、これに比例するようにパイロット信号の振幅 V_1 が180mVppに設定され、システム部6に記録される。

[0030] ステップS2では、ABC制御が安定するまでの期間のパイロット信号の振幅 V_2 を、ステップS1で記録した振幅 V_1 に対する利得 A （ A は1を超える正数）としてシステム部6に記録する。すなわち、 $V_2 = V_1 \times A$ であ

り、 $V_2 > V_1$ である。システム部6は、パイロット信号及びモニタ信号を処理する際に、利得Aに基づいて内部の利得を制御してもよい。また、利得Aは、モニタ部5におけるモニタ信号の振幅の飽和を回避できるように設定されてもよい。

[0031] ABC制御の安定後のパイロット信号の振幅 V_1 及び振幅 V_1 に対する利得Aは、パイロット信号の振幅の相違による受信感度やモニタ信号の雑音の発生度合いを予め評価し、その評価結果に基づいて決定されてもよい。

[0032] ステップS3では、システム部6は、光源1及びデータドライバ3を順に起動させた後、パイロット信号の振幅をステップS2でシステムに記録した値 $V_2 (= V_1 \times A)$ に設定してABC制御を開始する。ステップS4では、システム部6は、モニタ信号に含まれる f_0 成分の振幅と $2f_0$ 成分の振幅との監視を開始する。ステップS5では、システム部6は、モニタ信号に含まれる $2f_0$ 成分の振幅が増加したかどうかを判断する。モニタ信号に含まれる $2f_0$ 成分の振幅は、モニタ部5から出力されるモニタ信号の情報から得られる。システム部6は、所定の時間内に $2f_0$ 成分の振幅の増加量が所定の値を上回った場合に、 $2f_0$ 成分が増加したと判断してもよい。なお、データ信号のドライブ電圧がPEAK点から大きく離れている場合には、モニタ信号には $2f_0$ 成分は含まれない。システム部6は、モニタ信号に $2f_0$ 成分が含まれない場合には、 f_0 成分が小さくなるようにバイアス電圧を制御してもよい。

[0033] $2f_0$ 成分が増加したと判断された場合（ステップS5：Yes）は、ステップS6に進む。 $2f_0$ 成分が増加したと判断されない場合（ステップS5：No）は、現状のパイロット信号の振幅が維持され、継続して $2f_0$ 成分が増加したかどうか判断される。

[0034] 図2に示されるように、ドライブ電圧がPEAK点あるいはNULL点に近づくと、 $2f_0$ 成分の振幅が増加する。この際、パイロット信号の振幅 f_0 成分の振幅は減少する。このため、システム部6は、 $2f_0$ 成分の振幅が増加し、かつ、 f_0 成分の振幅が減少した場合に、バイアス電圧が最適値に

近づいていると判断してもよい。2 f 0 成分の振幅及び f 0 成分の振幅を監視することで、雑音等による誤差の影響を低減し、より確実に最適なバイアス電圧への接近を検出できる。

[0035] ステップ S 6 では、パイロット信号の振幅が V 2 から V 1 に変更される。その後、ステップ S 7 ではパイロット信号の振幅が V 1 の状態でモニタ信号に含まれる 2 f 0 成分が最大値となるように A B C 制御が開始され、その結果、光変調器 2 は、図 2 の P E A K 点において駆動される。

[0036] 予め光変調器ごとにパイロット信号の振幅の相違による特性変化の評価を行い、パイロット信号の振幅の好ましい変更タイミング及びそのタイミングにおけるモニタ信号の 2 f 0 成分の振幅を見いだしてもよい。この場合には、ステップ S 5 において、2 f 0 成分の増加の判断は、実際の 2 f 0 の振幅と、見いだされたタイミングにおけるモニタ信号の 2 f 0 成分の振幅との比較によって行われる。すなわち、ステップ S 5 において、モニタ信号の 2 f 0 成分の振幅が所定の閾値を超えた場合に、ステップ S 6 においてパイロット信号の振幅が V 2 から V 1 へ変更されてもよい。

[0037] このように、システム部 6 は、周波数 2 f 0 の信号の振幅が最大となるようにバイアス電圧をフィードバック制御する。システム部 6 は、フィードバック制御の開始時にはパイロット信号の振幅を V 2 に設定し、周波数 2 f 0 の信号の振幅が増加した場合にはパイロット信号の振幅を V 2 よりも小さい V 1 に設定する。

[0038] 以上に説明したシステム部 6 の動作手順は、中央処理装置 (Central Processing Unit、C P U) がプログラムを実行することで実現されてもよい。この場合、システム部 6 は、C P U とメモリとを備える。C P U はメモリに記録されたプログラムを実行することによりシステム部 6 の機能を実現する。メモリはプログラムの記録媒体である。プログラムの記録媒体は一時的ではなくかつ固定された媒体であり、例えば、半導体メモリや磁気ディスク装置である。

[0039] 図 8 及び図 9 は、パイロット信号の振幅を変更するための回路例を示すブ

ロック図である。図8では、可変抵抗器 (variable resister、VR) 50は、矩形波のパイロット信号の振幅を変化させる。ローパスフィルタ (low pass filter、LPF) 51は、矩形波のパイロット信号を正弦波に変換する。増幅器52は、直流電圧を増幅する。加算器53は、正弦波に変換されたパイロット信号と増幅器52から出力される直流電圧とを加算して、パイロット信号が重畳されたバイアス電圧を生成する。パイロット信号の振幅は、可変抵抗器50により制御可能である。バイアス電圧の直流分の振幅は、増幅器52により制御可能である。

[0040] 図9では、パイロット信号が直流 (direct current、DC) 電圧に重畳された電圧 (脈流) のデジタルデータが、デジタルーアナログ変換器 (digital-analog converter、DAC) 54によってアナログ電圧に変換される。増幅器55は、アナログーデジタル変換器54から出力されたアナログ電圧を増幅する。バイアス電圧の直流分及び重畳されたパイロット信号の振幅は、デジタルデータの値の変更あるいは増幅器55の利得を変更することで制御される。図8及び図9の構成は、図1のバイアス制御部4に実装されてもよい。

[0041] 以上説明したように、本実施形態の光送信機100は、光変調器のABC制御において、パイロット信号の2倍の周波数 $2f_0$ の振幅を監視し、パイロット信号の振幅を V_2 からより小さい V_1 に変更する。その結果、光送信機100は、ABC制御の収束時間を短縮できるとともに、ABC制御のフィードバック系の安定度が向上し、パイロット信号による受信感度の低下も抑制される。

[0042] このように、光送信機100は、パイロット信号の振幅の適切な制御を可能とする。その結果、光送信機100は、簡単な構成で、変調器の個体差を考慮しつつ、ABC制御の収束時間の短縮、受信感度の低下の抑制を実現することができる。

[0043] (第2の実施形態)

第1の実施形態の光送信機の効果は、以下に表現される、第2の実施形態

の光送信機によってももたらされる。第2の実施形態の説明において、対応する図1の構成要素の符号を括弧内に示す。

[0044] 第2の実施形態の光送信機は、光変調部(2)と、制御部(3、4、5、6)を備える。

[0045] 光変調部(2)には、光搬送波と、光搬送波を変調するためのデータ信号と、光搬送波の変調点を設定するバイアス電圧と、が印加される。バイアス電圧にはパイロット信号が重畳される。データ信号により変調された光搬送波は、出力光として出力される。光変調部(2)は、出力光の振幅に比例するモニタ信号を出力する。

[0046] 制御部は、パイロット信号の2倍の周波数の信号である第1の信号の振幅をモニタ信号から検出して、第1の信号の振幅が最大となるようにバイアス電圧をフィードバック制御する。制御部は、さらに、フィードバック制御の開始時にはパイロット信号の振幅を第1の振幅に設定し、第1の信号の振幅が増加した場合にはパイロット信号の振幅を第1の振幅よりも小さい第2の振幅に設定する。ここで、第1の振幅及び第2の振幅は、光変調部(2)ごとに異なる値を用いることができる。

[0047] このような構成を備える光送信機は、パイロット信号の2倍の周波数の信号の振幅が最大となるようにバイアス電圧をフィードバック制御する。さらに、制御部は、さらに、パイロット信号の振幅を当初は第1の振幅に設定し、第1の信号の振幅が増加した場合にはパイロット信号の振幅を第1の振幅よりも小さい第2の振幅に設定する。このような構成を備える光送信機も、第1の実施形態の光送信機100と同様に、パイロット信号の振幅の適切な制御を可能とする。すなわち、第2の実施形態の光送信機は、簡単な構成で、光変調部(2)の個体差を考慮しつつ、ABC制御の収束時間の短縮、受信感度の低下の抑制を実現することができる。

[0048] 以上、実施形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記の実施形態に限定されない。本願発明の構成や詳細には、本願発明のScope内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

[0049] この出願は、2014年12月24日に出願された日本出願特願2014-260680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。

符号の説明

[0050] 100 光送信機

1 光源

2、900 光変調器

3 データドライバ

4 バイアス制御部

5 モニタ部

6 システム部

21、91 位相変調部

22、92 光モニタ部

50 可変抵抗器

51 ローパスフィルタ

52、55 増幅器

53 加算器

54 デジタルーアナログ変換器

93、94 MZ変調器

95 移相器

請求の範囲

- [請求項1] 光搬送波と、前記光搬送波を変調するためのデータ信号と、パイロット信号が重畳された、前記光搬送波の変調点を設定するバイアス電圧と、が印加され、前記データ信号により変調された前記光搬送波を出力光として出力するとともに、前記出力光の振幅に比例するモニタ信号を出力する光変調手段と、
- 前記パイロット信号の2倍の周波数の信号である第1の信号の振幅を前記モニタ信号から検出し、前記第1の信号の振幅が最大となるように前記バイアス電圧をフィードバック制御するとともに、前記フィードバック制御の開始時には前記パイロット信号の振幅を第1の振幅に設定し、前記第1の信号の振幅が増加した場合には前記パイロット信号の振幅を前記第1の振幅よりも小さい第2の振幅に設定する制御手段と、
- を備える光送信機。
- [請求項2] 前記制御手段は、第1の信号の振幅が第1の閾値を超えた場合に、前記第1の信号の振幅が増加したと判断することを特徴とする、請求項1に記載された光送信機。
- [請求項3] 前記制御手段は、所定の時間内に前記第1の信号の振幅の増加量が第2の閾値を上回った場合に、前記第1の信号の振幅が増加したと判断することを特徴とする、請求項1に記載された光送信機。
- [請求項4] 前記制御手段は、さらに、前記パイロット信号と同一の周波数の信号である第2の信号を前記モニタ信号から検出し、前記第1の信号の振幅が検出されない場合には、前記第2の信号の振幅が最小となるように前記バイアス電圧をフィードバック制御する、ことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載された光送信機。
- [請求項5] 前記制御手段は、さらに、前記パイロット信号の周波数の信号である第2の信号を前記モニタ信号から検出し、前記第1の信号の振幅が最大かつ前記第2の信号の振幅が最小となるように前記バイアス電圧

をフィードバック制御する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載された光送信機。

[請求項6] 前記光変調手段は、マッハツェンダー (Mach-Zehnder) 変調器により前記光搬送波を位相変調する光導波路デバイスであることを特徴とする、請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載された光送信機。

[請求項7] 前記光搬送波を生成する光源をさらに備える、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載された光送信機。

[請求項8] 光搬送波と、前記光搬送波を変調するためのデータ信号と、パイロット信号が重畳された、前記光搬送波の変調点を設定するバイアス電圧と、を光変調手段に印加し、

前記データ信号により変調された前記光搬送波を出力光として出力し、

前記出力光の振幅に比例するモニタ信号を出力し、

前記パイロット信号の 2 倍の周波数成分を含む第 1 の信号を前記モニタ信号から検出し、

前記第 1 の信号の振幅が最大となるように前記バイアス電圧をフィードバック制御し、

前記フィードバック制御の開始時には前記パイロット信号の振幅を第 1 の振幅に設定し、

前記第 1 の信号の振幅が増加した場合には前記パイロット信号の振幅を前記第 1 の振幅よりも小さい第 2 の振幅に設定する、
光送信機の制御方法。

[請求項9] 光搬送波と、前記光搬送波を変調するためのデータ信号と、パイロット信号が重畳された、前記光搬送波の変調点を設定するバイアス電圧と、を光変調手段に印加する手順、

前記データ信号により変調された前記光搬送波を出力光として出力する手順、

前記出力光の振幅に比例するモニタ信号を出力する手順、

前記パイロット信号の2倍の周波数成分を含む第1の信号を前記モニタ信号から検出する手順、

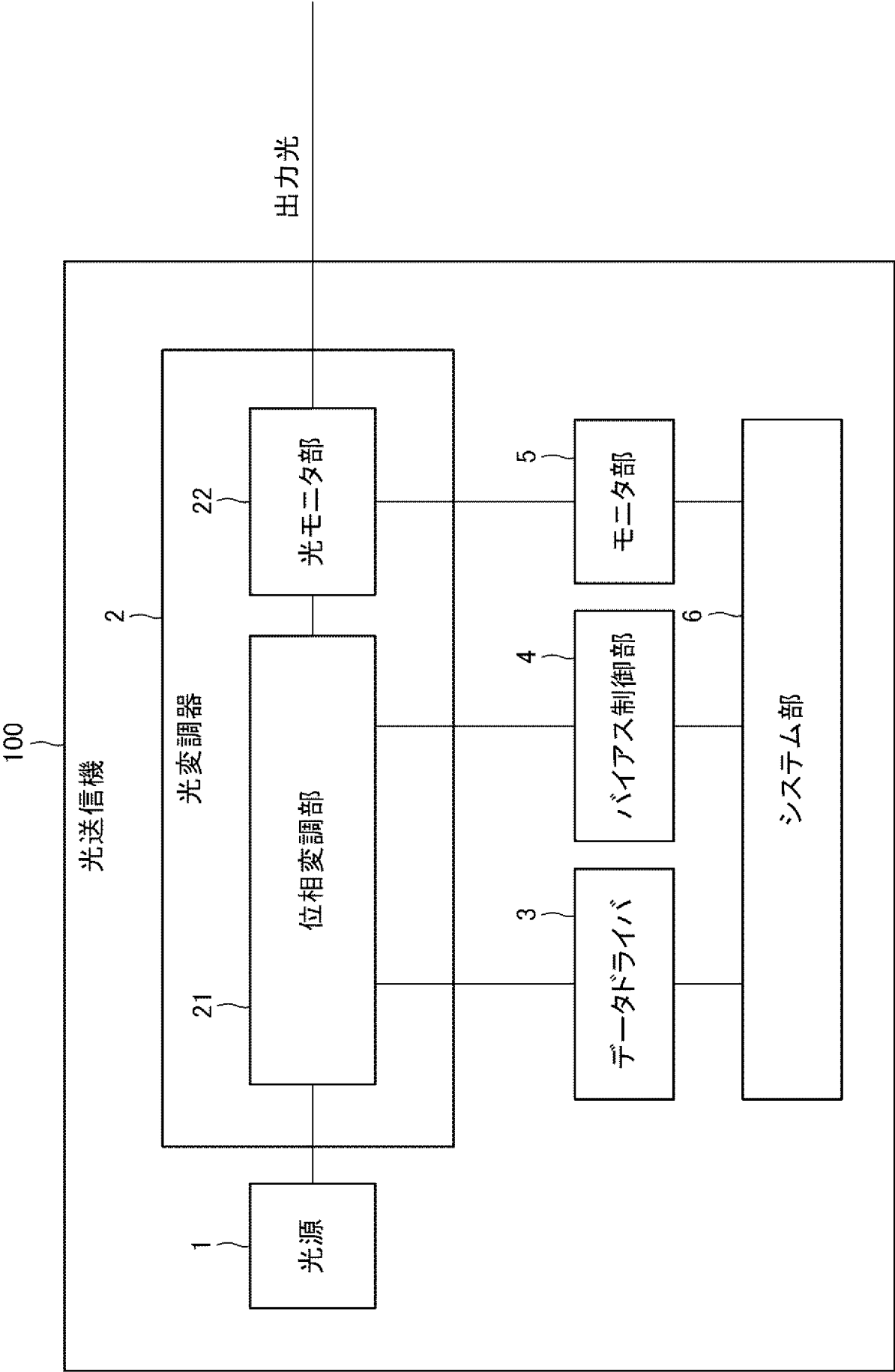
記第1の信号の振幅が最大となるように前記バイアス電圧をフィードバック制御する手順、

前記フィードバック制御の開始時に前記パイロット信号の振幅を第1の振幅に設定する手順、

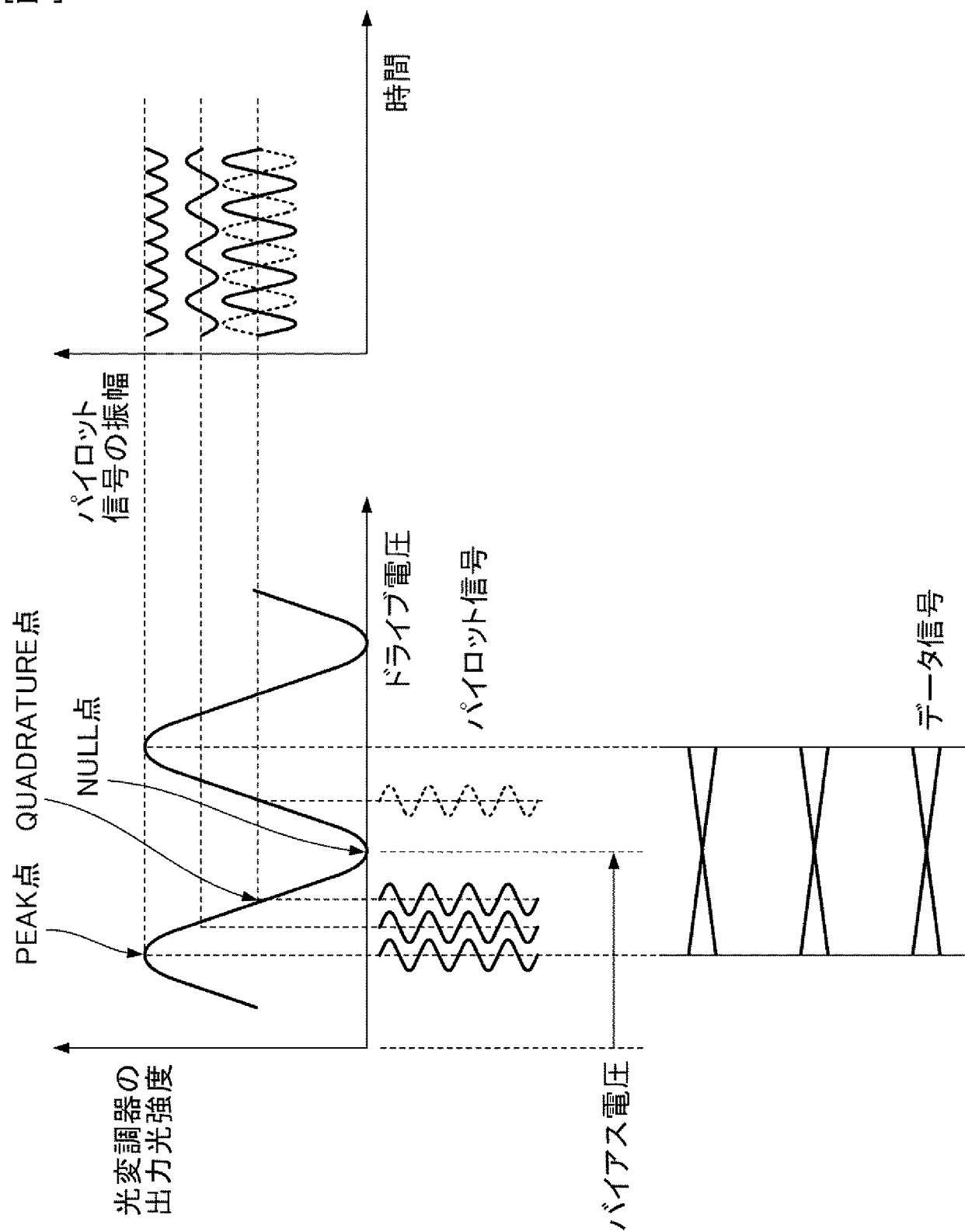
前記第1の信号の振幅が増加した場合には前記パイロット信号の振幅を前記第1の振幅よりも小さい第2の振幅に設定する手順、

を光送信機のコンピュータに実行させるための光送信機の制御プログラムを記録した、記録媒体。

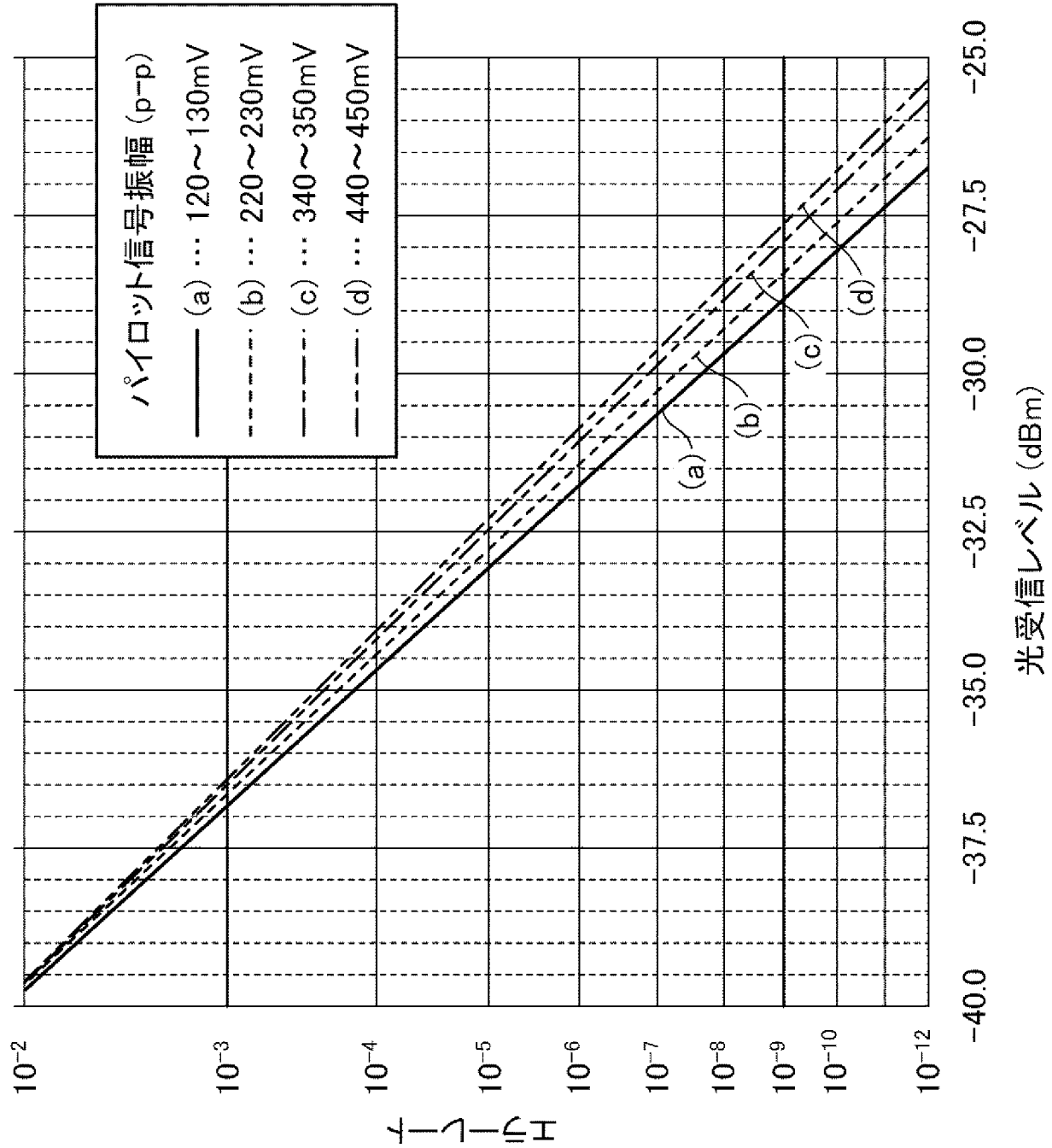
[図1]



[図2]



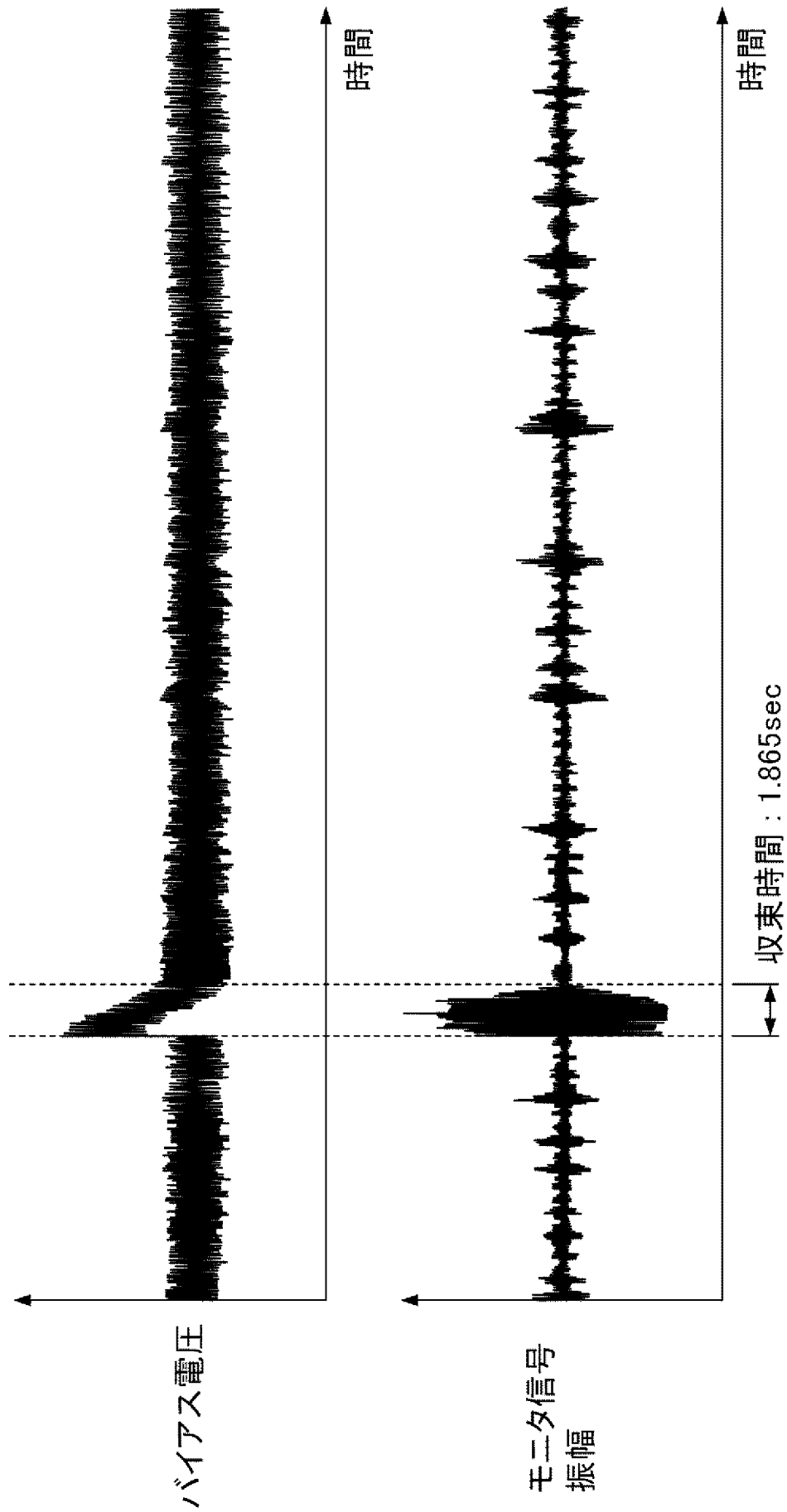
[図3]



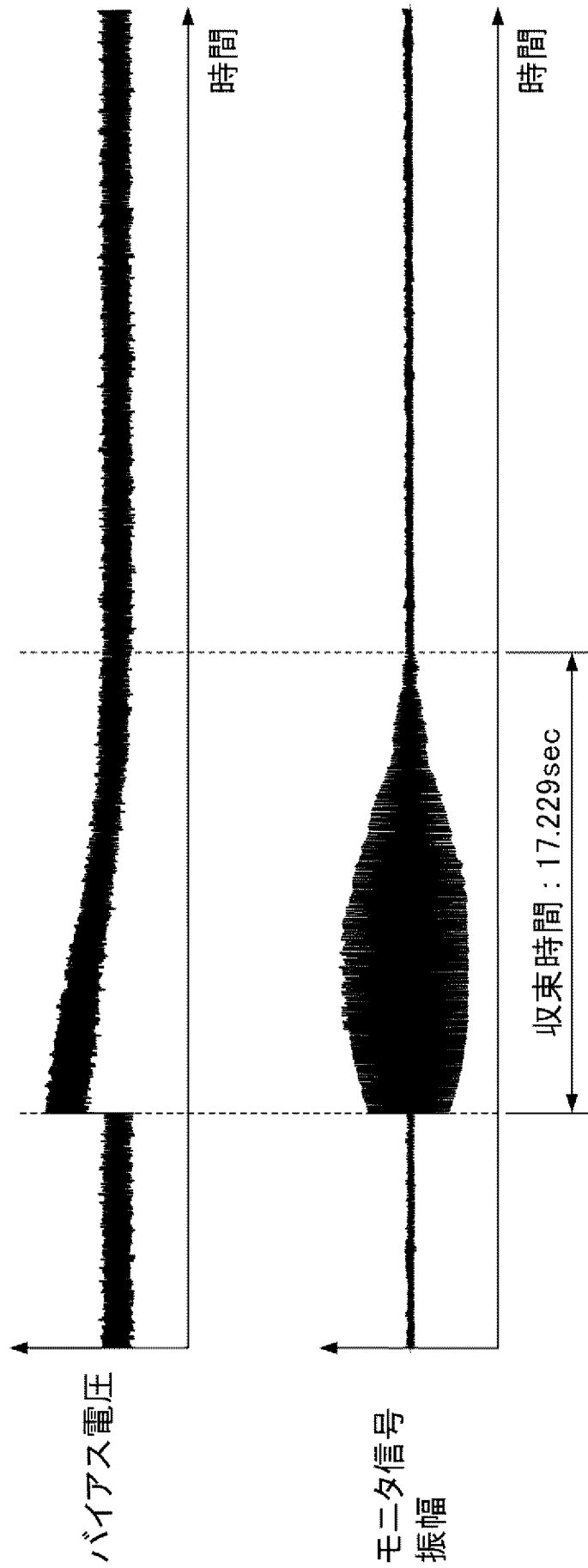
[図4]

パイロット信号重畳量	BERが 10^{-9} の場合の受信感度
120～130mVpp	-28.85dBm
140～150mVpp	-28.70dBm
170～180mVpp	-28.67dBm
190～200mVpp	-28.58dBm
220～230mVpp	-28.42dBm
260～270mVpp	-28.35dBm
340～350mVpp	-27.95dBm
440～450mVpp	-27.65dBm

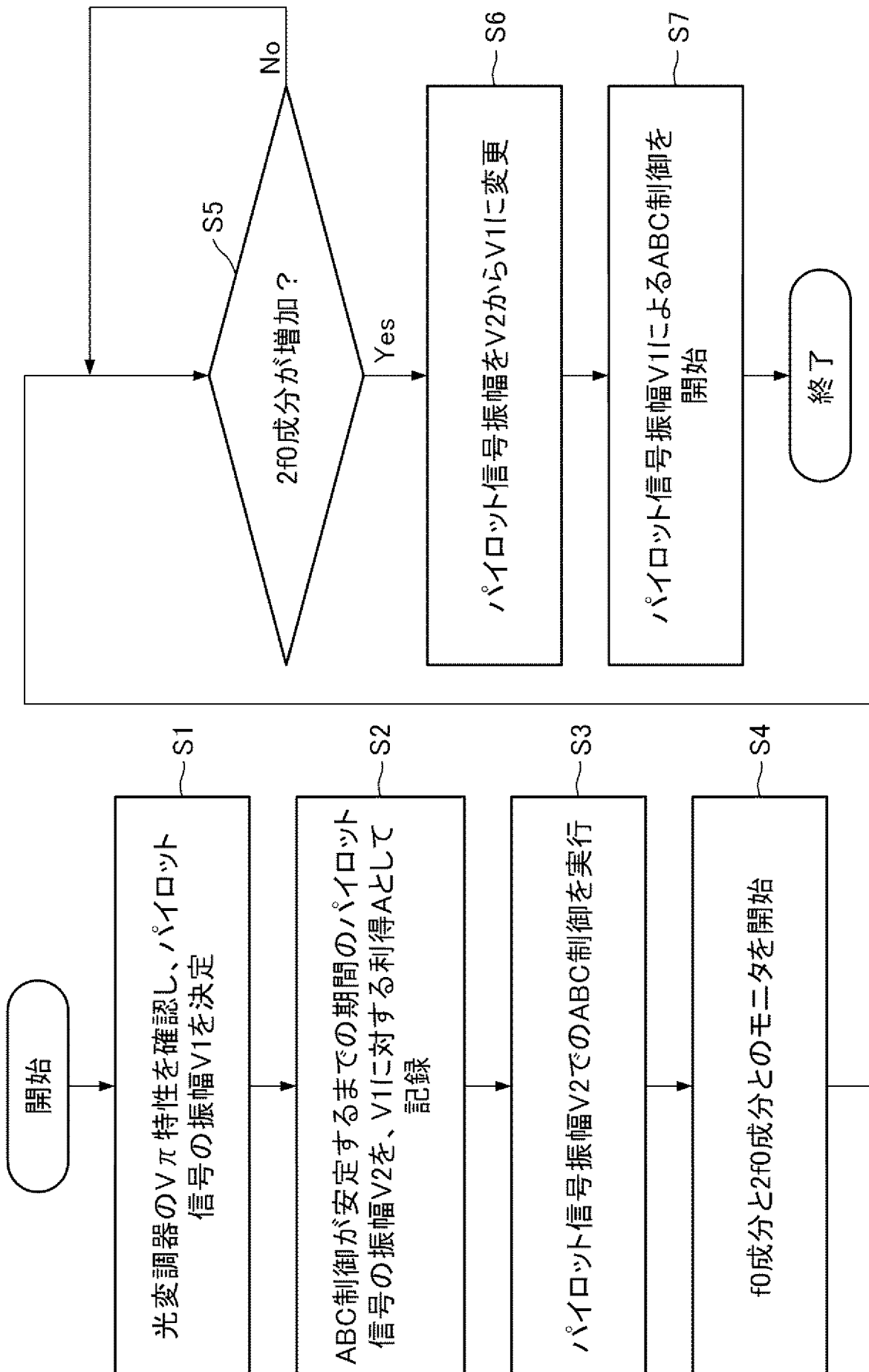
[図5]



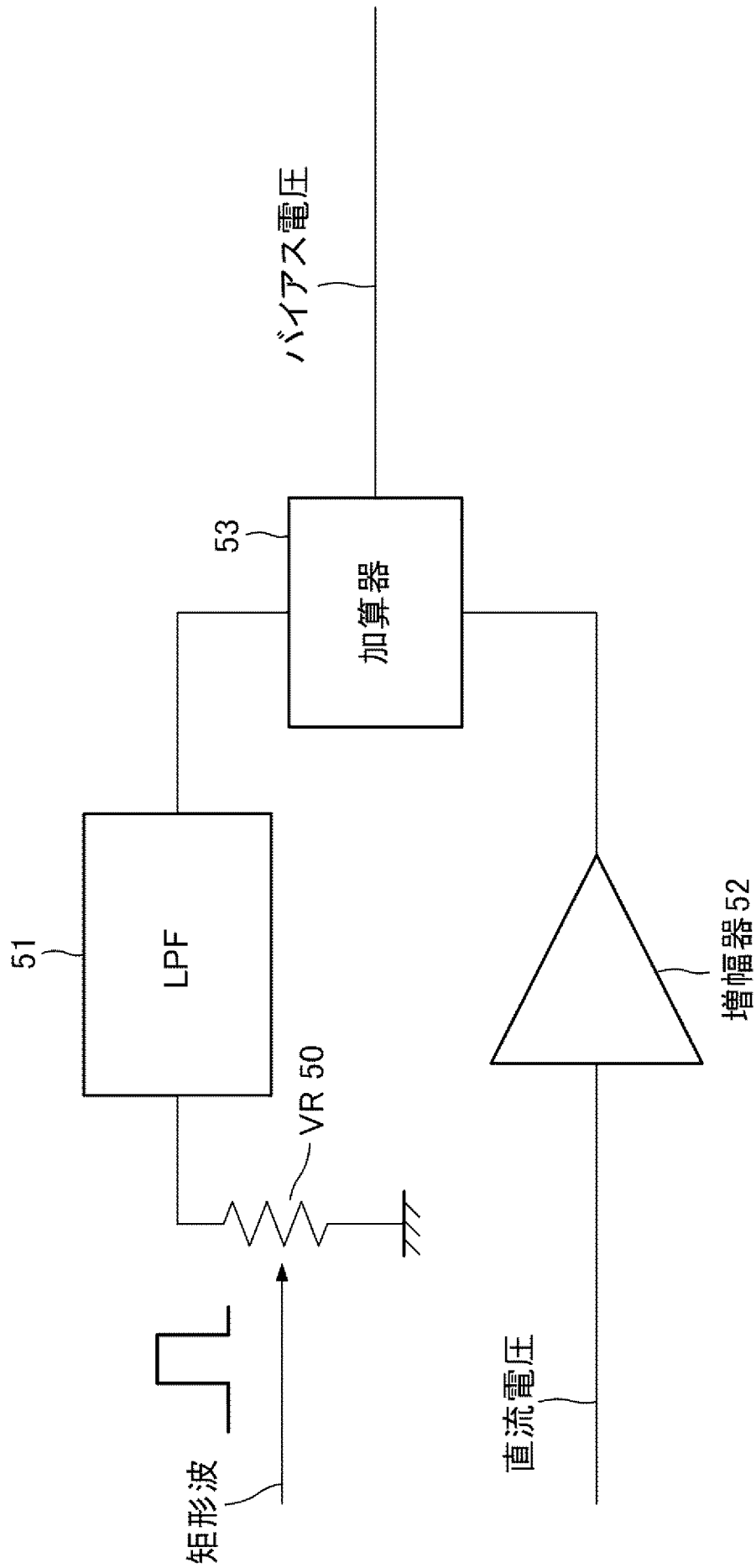
[図6]



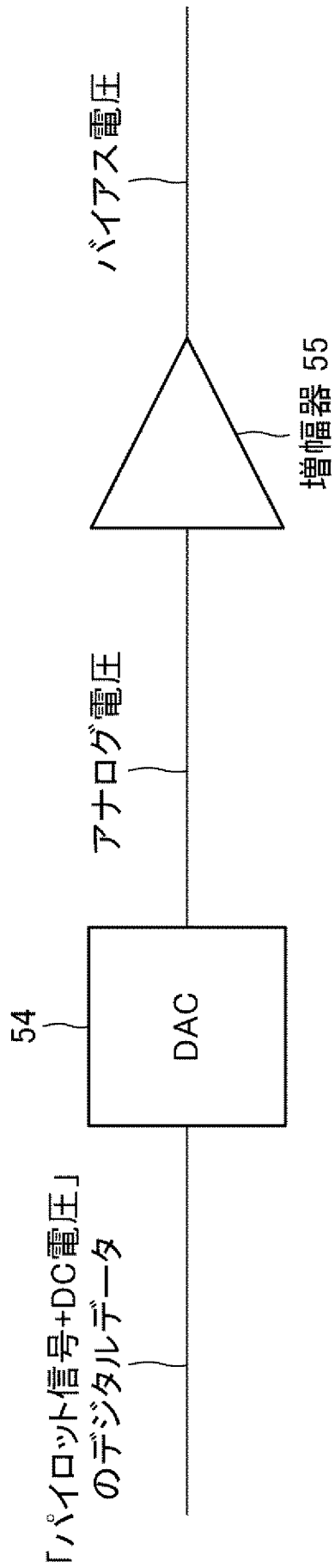
[図7]



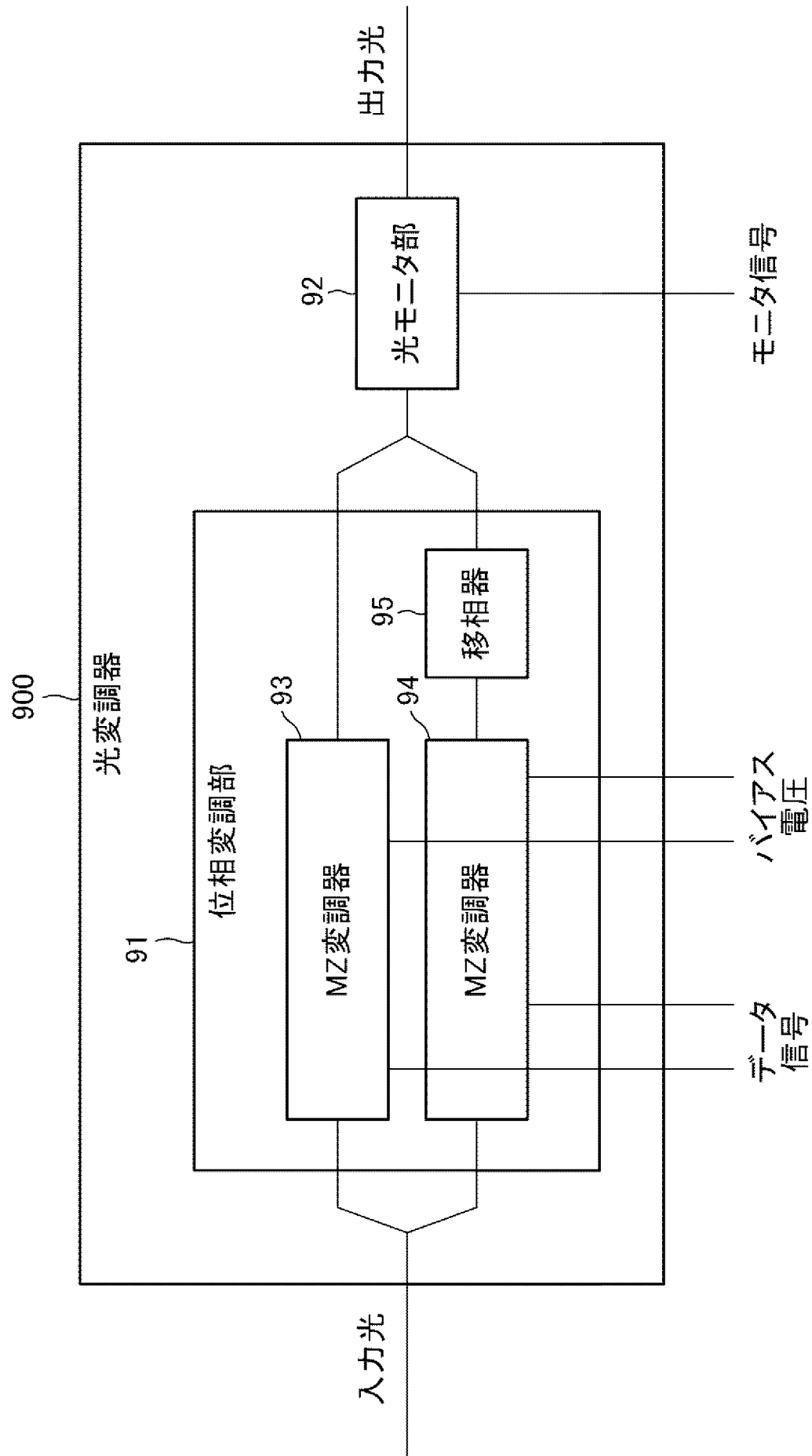
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/006248

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/03(2006.01)i, H04B10/077(2013.01)i, H04B10/548(2013.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/01-1/065, H04B10/00-10/90

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Xplore, JSTPlus(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2008-92172 A (Fujitsu Ltd.), 17 April 2008 (17.04.2008), paragraphs [0034] to [0039]; fig. 9 to 16 & US 2008/0080872 A1 paragraphs [0068] to [0076]; fig. 9 to 16 & EP 1906564 A1 & CN 101154994 A	1-9
Y	JP 2010-243953 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 28 October 2010 (28.10.2010), paragraphs [0051] to [0052]; fig. 3 (Family: none)	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 March 2016 (09.03.16)

Date of mailing of the international search report
22 March 2016 (22.03.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/006248

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-43638 A (Fujitsu Ltd.), 15 February 2007 (15.02.2007), paragraphs [0042] to [0090]; fig. 10 to 23 & US 2006/0263098 A1 paragraphs [0125] to [0194]; fig. 11 to 24 & EP 1727303 A2 & CN 1870472 A	4, 5
A	JP 2005-5767 A (Hitachi Cable Ltd.), 06 January 2005 (06.01.2005), entire text; all drawings & US 2005/0068600 A1	1-9
A	JP 2008-39929 A (NEC Corp.), 21 February 2008 (21.02.2008), entire text; all drawings & US 2008/0219678 A1 & EP 1884820 A2	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02F1/03(2006.01)i, H04B10/077(2013.01)i, H04B10/548(2013.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02F1/01-1/065, H04B10/00-10/90

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

IEEE Xplore
JSTPlus (JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2008-92172 A（富士通株式会社）2008.04.17, 段落【0034】－【0039】，図9-16 & US 2008/0080872 A1, 段落 [0068] - [0076], 図9-16 & EP 1906564 A1 & CN 101154994 A	1-9
Y	JP 2010-243953 A（日本電信電話株式会社）2010.10.28, 段落【0051】－【0052】，図3 （ファミリーなし）	1-9

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.03.2016

国際調査報告の発送日

22.03.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

河原 正

2 X

9 0 1 7

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2007-43638 A (富士通株式会社) 2007. 02. 15, 段落【0042】－【0090】, 図10－23 & US 2006/0263098 A1, 段落[0125]－[0194], 図11－24 & EP 1727303 A2 & CN 1870472 A	4, 5
A	JP 2005-5767 A (日立電線株式会社) 2005. 01. 06, 全文, 全図 & US 2005/0068600 A1	1-9
A	JP 2008-39929 A (日本電気株式会社) 2008. 02. 21, 全文, 全図 & US 2008/0219678 A1 & EP 1884820 A2	1-9