

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ダミー光ファイバ（１０）を介して被測定光ファイバ（５０）に光パルス（Ｐ）を出射するパルス光源（１１）と、

前記ダミー光ファイバおよび前記被測定光ファイバからの前記光パルスの戻り光を電気信号に変換するアバランシェフォトダイオード（１２）と、

前記アバランシェフォトダイオードに逆バイアス電圧を印加するバイアス印加部（１３）と、を備え、

前記アバランシェフォトダイオードによって変換された電気信号に基づいて前記被測定光ファイバの損失分布特性を測定する光パルス試験器において、

前記アバランシェフォトダイオードの周辺温度を検出する温度センサ（１４）と、

前記アバランシェフォトダイオードを所定温度において所望の増倍率で動作させるための逆バイアス電圧および予め定められた逆バイアス電圧の温度傾斜を記憶する逆バイアス電圧温度特性メモリ（１５）と、

前記温度センサで検出された周辺温度、ならびに、前記逆バイアス電圧温度特性メモリに記憶された逆バイアス電圧および温度傾斜に基づいて、前記アバランシェフォトダイオードに印加される逆バイアス電圧の暫定値を算出して前記バイアス印加部に設定する暫定バイアス設定部（１６）と、

前記暫定バイアス設定部で算出された逆バイアス電圧が前記バイアス印加部によって前記アバランシェフォトダイオードに印加された状態における前記ダミー光ファイバからの戻り光の電気信号に基づいて、前記アバランシェフォトダイオードを前記所望の増倍率で動作させるための逆バイアス電圧の補正値を算出して前記バイアス印加部に設定する補正バイアス設定部（１７）と、を備えることを特徴とする光パルス試験器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、被測定光ファイバに光パルスを出射し、出射された光パルスの戻り光に基づいて被測定光ファイバの損失分布特性を解析する光パルス試験器に関し、特に、周辺温度の変化に起因する損失分布特性の測定誤差を補正する光パルス試験器に関する。

【背景技術】

【０００２】

光パルス試験器は、被測定光ファイバに試験光としての光パルスＰを繰り返し入射して、光パルスＰの戻り光（フレネル反射光および後方散乱光）とその遅延時間を検出することにより、被測定光ファイバの障害点の特定や損失分布測定等の試験を行う装置である。

【０００３】

光パルス試験器の受光器としてはアバランシェフォトダイオード（ＡＰＤ：Avalanche Photodiode）が用いられることが多いが、ＡＰＤの増倍率には温度依存性があるため、周辺温度に応じて損失分布特性を補正する必要がある。

【０００４】

そこで、損失分布特性の測定誤差を補正する光パルス試験器として、試験器内に備えられたダミーファイバの任意の位置における戻り光の光パワーレベルと予め設定されている初期値との差分値を、被測定光ファイバの戻り光の測定値に加算（または減算）することにより、損失分布特性を補正するものが提案されている（例えば、特許文献１参照）。

【０００５】

また、被測定光ファイバの戻り光の測定値と初期値とのレベル差 β 、ダミーファイバの戻り光の測定値と初期値とのレベル差 α をそれぞれ算出し、レベル差 β からレベル差 α を減算することにより、光パルス試験器に起因するレベル変動分を除いた被測定光ファイバの特性変化に伴う真のレベル変化量を算出するものも提案されている（例えば、特許文献２参照）。

【特許文献１】特開２００３－２０７４１３号公報（〔００３０〕、図４）

【特許文献2】特許第3025022号明細書（第7頁、図3、図4）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

一般に、APDにおいては、一定の周辺温度の下では逆バイアス電圧の増加に伴いその増倍率が増加し、一定の逆バイアス電圧の下では増倍率が周辺温度の増加に伴い増加する。このため、特許文献1および特許文献2に開示された従来の光パルス試験器は、周辺温度が低下した場合にはAPDの増倍率が所望値よりも低下してしまうため、微弱な試験光の戻り光を検出することができないという課題があった。

【0007】

そこで、使用温度範囲において一定の高い増倍率を用いるために、APDの周辺温度をモニタすることにより逆バイアス電圧を周辺温度に応じて可変とすることが考えられるが、APDの増倍率およびその温度傾斜には個体差があるため、逆バイアス電圧およびその温度傾斜をそれぞれのAPDに合わせて個別調整する必要がある。

【0008】

このため、個々のAPDに対して、光パルス試験器への搭載前に温度特性を測定し、その結果を光パルス試験器に内蔵されたメモリに記憶させておき、周辺温度に合わせて逆バイアス電圧を設定することが考えられる。しかしながら、温度特性の評価には多大な時間を要するので、搭載される全てのAPDについて温度特性の評価を実施すると製品コストの上昇を招いてしまう。

【0009】

本発明は、このような従来の課題を解決するためになされたものであって、APDの個別調整を省略できるとともに、より微弱な試験光の戻り光を検出することができる光パルス試験器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の光パルス試験器は、ダミー光ファイバを介して被測定光ファイバに光パルスを出射するパルス光源と、前記ダミー光ファイバおよび前記被測定光ファイバからの前記光パルスの戻り光を電気信号に変換するアバランシェフォトダイオードと、前記アバランシェフォトダイオードに逆バイアス電圧を印加するバイアス印加部と、を備え、前記アバランシェフォトダイオードによって変換された電気信号に基づいて前記被測定光ファイバの損失分布特性を測定する光パルス試験器において、前記アバランシェフォトダイオードの周辺温度を検出する温度センサと、前記アバランシェフォトダイオードを所定温度において所望の増倍率で動作させるための逆バイアス電圧および予め定められた逆バイアス電圧の温度傾斜を記憶する逆バイアス電圧温度特性メモリと、前記温度センサで検出された周辺温度、ならびに、前記逆バイアス電圧温度特性メモリに記憶された逆バイアス電圧および温度傾斜に基づいて、前記アバランシェフォトダイオードに印加される逆バイアス電圧の暫定値を算出して前記バイアス印加部に設定する暫定バイアス設定部と、前記暫定バイアス設定部で算出された逆バイアス電圧が前記バイアス印加部によって前記アバランシェフォトダイオードに印加された状態における前記ダミー光ファイバからの戻り光の電気信号に基づいて、前記アバランシェフォトダイオードを前記所望の増倍率で動作させるための逆バイアス電圧の補正值を算出して前記バイアス印加部に設定する補正バイアス設定部と、を備えた構成を有している。

【0011】

この構成により、本発明の光パルス試験器は、APDに印加される逆バイアス電圧の粗調整後に微調整を行って増倍率を一定に保つため、APDの個別調整を省略できるとともに、より微弱な試験光の戻り光を検出することができる。

【発明の効果】

【0012】

本発明は、APDの個別調整を省略できるとともに、より微弱な試験光の戻り光を検出

10

20

30

40

50

することができるという効果を有する光パルス試験器を提供するものである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明に係る光パルス試験器の実施形態について、図面を用いて説明する。

図1は、本発明に係る光パルス試験器1を示すブロック図である。図2はアバランシェフォトダイオードの逆バイアス電圧温度特性、および本発明による補正の様子を表した模式的なグラフであり、実線はAPDの暫定的な温度特性、点線は実際の温度特性を示す。

【0014】

図1に示すように光パルス試験器1は、被測定光ファイバ50および被測定光ファイバ50に光学的に接続されたダミー光ファイバ10へ光パルスPを出射するパルス光源11と、被測定光ファイバ50およびダミー光ファイバ10からの光パルスPの戻り光を電気信号に変換するAPD12と、APD12に逆バイアス電圧 V_A を印加するバイアス印加部13と、を備える。

【0015】

また、光パルス試験器1は、APD12の周辺温度Tを検出する温度センサ14と、APD12を所定温度 T_0 において所望の増倍率で動作させるための逆バイアス電圧 $V_A(T_0)$ および予め定められた逆バイアス電圧の温度傾斜を記憶する逆バイアス電圧温度特性メモリ15と、温度センサ14で検出された周辺温度T、ならびに、逆バイアス電圧温度特性メモリ15に記憶された逆バイアス電圧 $V_A(T_0)$ および温度傾斜に基づいて、APD12に印加される逆バイアス電圧（以下、暫定逆バイアス電圧と記す） $V_0(T)$ を算出してバイアス印加部13に設定する暫定バイアス設定部16と、暫定バイアス設定部16で算出された暫定逆バイアス電圧 $V_0(T)$ がバイアス印加部13によってAPD12に印加された状態におけるダミー光ファイバ10からの戻り光の電気信号に基づいて、APD12を所望の増倍率で動作させるための逆バイアス電圧の補正值（以下、補正逆バイアス電圧と記す） $V(T)$ を算出してバイアス印加部13に設定する補正バイアス設定部17と、をさらに備える。

【0016】

また、光パルス試験器1は、パルス光源11から光パルスPを出射させるためのパルスタイミング信号 E_p を出力するタイミング発生器18と、タイミング発生器18から出力されたパルスタイミング信号 E_p に従って、パルス光源11から光パルスPを出射させる駆動回路19と、パルス光源11から出射された光パルスPをダミー光ファイバ10および被測定光ファイバ50に送出するとともに、ダミー光ファイバ10および被測定光ファイバ50からの戻り光をAPD12に送出する光サーキュレータ20と、ダミー光ファイバ10と被測定光ファイバ50とを光結合させる光コネクタ21と、をさらに備える。

【0017】

また、光パルス試験器1は、APD12によって変換された電気信号を増幅する増幅器22と、増幅器22によって増幅された信号をサンプリングしてデジタル化するA/D変換器23と、A/D変換器23によってデジタル化された信号に対して加算平均化処理等を行うことにより生成した波形データを波形メモリ24に記憶させるとともに、波形データに基づいて被測定光ファイバ50の損失分布特性を算出する損失分布特性算出部25と、波形メモリ24に記憶された波形データおよび被測定光ファイバ50の損失分布特性を表示する表示部26と、をさらに備える。

【0018】

さらに、光パルス試験器1は、タイミング発生器18、駆動回路19、A/D変換器23、損失分布特性算出部25、表示部26を制御する制御部27を備える。

【0019】

ダミー光ファイバ10は、光コネクタ21を介して被測定光ファイバ50に接続されており、損失分布特性等が予め既知であり、例えば50m程度の長さを有する。

【0020】

タイミング発生器18は、典型的なパルス周期が50マイクロ秒（ μs ）程度かつパル

10

20

30

40

50

ス幅が 5 ナノ秒 (ns) 程度のパルスタイミング信号 E_p を駆動回路 19 へ出力する。

【 0021 】

駆動回路 19 は、タイミング発生器 18 から出力されるパルスタイミング信号 E_p を検出すると、光パルス P の出射タイミング、光パワーレベル、波長などの情報を含む信号をパルス光源 11 に出力する。パルス光源 11 は、直接変調にて光パルス P を生成する半導体レーザである。

【 0022 】

逆バイアス電圧温度特性メモリ 15 は、所定温度 T_0 (= 25) において APD 12 を所望の増倍率で動作させるための逆バイアス電圧 V_A (25) および典型的な温度傾斜を予め記憶している。一般に、逆バイアス電圧の温度傾斜は APD ごとに異なるが、逆バイアス電圧温度特性メモリ 15 は、例えば図 2 の実線で示されるような逆バイアス電圧 V_A (25) が 60 V である APD の逆バイアス電圧 V_A の温度傾斜 - 0.12 V / を記憶している。

10

【 0023 】

損失分布特性算出部 25 は、パルスタイミング信号 E_p がタイミング発生器 18 から出力されるごとに、A / D 変換器 23 によってサンプリングされたデータを一連の波形データとして取得する波形データ取得処理と、パルスタイミング信号 E_p がタイミング発生器 18 から所定回数出力されるごとに、波形データ取得処理において取得された波形データを加算し平均化する平均化処理と、平均化処理において平均化された波形データを波形メモリ 24 に記憶させる記憶処理と、波形メモリ 24 に記憶された波形データに基づいて被測定光ファイバ 50 の損失分布特性を評価する損失分布特性評価処理と、を実行する。

20

【 0024 】

表示部 26 は、波形メモリ 24 に記憶された波形データおよび損失分布特性算出部 25 によって算出された損失分布特性を表示するものであり、CRT (Cathode Ray Tube) や LCD (Liquid Crystal Display) など構成される。

【 0025 】

制御部 27 は、CPU (Central Processing Unit) と、演算処理結果を記憶する RAM (Random Access Memory) とを含む。

【 0026 】

次に、本実施形態の光パルス試験器 1 の動作について説明する。

30

図 3 は、光パルス試験器 1 の処理手順の一例を示すフローチャートである。以下、このフローチャートと前述した図 2 の温度特性にしたがって光パルス試験器 1 の動作をその処理手順にしたがって説明する。処理手順は、APD 12 に印加される逆バイアス電圧 V_A の粗調整段階 (ステップ S1、S2) および微調整段階 (ステップ S3 ~ S8) からなる校正段階と、被測定光ファイバ 50 の測定段階 (ステップ S9) と、を含む。

【 0027 】

まず、APD 12 の周辺温度 T が温度センサ 14 によって測定される (ステップ S1) 。

【 0028 】

ステップ S1 で測定された周辺温度 T、逆バイアス電圧温度特性メモリ 15 に予め記憶された逆バイアス電圧 V_A (25) および温度傾斜 - 0.12 V / に基づいて、APD 12 に対する暫定逆バイアス電圧 V_0 (T) が、暫定バイアス設定部 16 によって算出され、バイアス印加部 13 に設定される (ステップ S2)。ここで、暫定逆バイアス電圧 V_0 (T) は [数 1] によって求められる。

40

【 数 1 】

$$V_0(T) = V_A(25^{\circ}\text{C}) - 0.12 \times (T - 25)$$

【 0029 】

バイアス印加部 13 によって逆バイアス電圧 V_A として暫定逆バイアス電圧 V_0 (T) が

50

設定されることにより、A P D 1 2 に暫定逆バイアス電圧 $V_0(T)$ が印加される（ステップ S 3）。

【 0 0 3 0 】

タイミング発生器 1 8 からパルスタイミング信号 E_p が出力されると、駆動回路 1 9 によって駆動されたパルス光源 1 1 から光パルス P が出射される。パルス光源 1 1 から出射された光パルス P は、光サーキュレータ 2 0 を介してダミー光ファイバ 1 0 に出射され、ダミー光ファイバ 1 0 を透過した光パルス P は、光コネクタ 2 1 を介して被測定光ファイバ 5 0 に出射される（ステップ S 4）。

【 0 0 3 1 】

ダミー光ファイバ 1 0 および被測定光ファイバ 5 0 に出射された光パルス P は、戻り光となって光サーキュレータ 2 0 を介して A P D 1 2 に受光されて電気信号に変換される。A P D 1 2 によって変換された戻り光の電気信号は、増幅器 2 2 によって増幅された後に A / D 変換器 2 3 によってサンプリングされてデジタル信号に変換される。

【 0 0 3 2 】

A / D 変換器 2 3 から出力されたデジタル信号は、損失分布特性算出部 2 5 に入力され、パルスタイミング信号 E_p がタイミング発生器 1 8 から出力されるごとに一連の波形データとして波形メモリ 2 4 に記憶される。さらに、パルスタイミング信号 E_p がタイミング発生器 1 8 から所定回数出射されるごとに、波形メモリ 2 4 に記憶された波形データは加算されて平均化された後に再び波形メモリ 2 4 に記憶される。これにより、ダミー光ファイバ 1 0 からの戻り光の光パワーレベル L が取得される（ステップ S 5）。

【 0 0 3 3 】

ここで、波形メモリ 2 4 に記憶された平均化処理後の波形データを図 4 に模式的に示す。実線は A P D 1 2 が所望の増倍率で動作している際に予め測定された、ダミー光ファイバ 1 0 からの戻り光の光パワーレベルの初期データ L_0 を示している。一方、一点鎖線は周辺温度 T が 2 5 よりも低く、A P D 1 2 の増倍率が所望の増倍率よりも低下した状態で測定されたダミー光ファイバ 1 0 からの戻り光の光パワーレベル L を示している。

【 0 0 3 4 】

図 4 に示すように、光サーキュレータ 2 0 とダミー光ファイバ 1 0 との接続点におけるフレネル反射光 R_{F1} に続き、ダミー光ファイバ 1 0 の光導波路中の屈折率の揺らぎなどに起因する後方散乱光 S_R が A P D 1 2 に受光される。後方散乱光 S_R に続いて、ダミー光ファイバ 1 0 と光コネクタ 2 1 との微小なずれにより生じるフレネル反射光 R_{F2} が A P D 1 2 に受光される。

【 0 0 3 5 】

補正バイアス設定部 1 7 によって、後方散乱光 S_R が受光された区間の任意の距離における戻り光の光パワーレベル L が、該距離における初期データの光パワーレベル L_0 と所定の範囲内（例えば $\pm 1\%$ ）で一致しているか否かが判定される（ステップ S 6）。

【 0 0 3 6 】

戻り光の光パワーレベル L が該距離における初期データの光パワーレベル L_0 と所定の範囲内で一致していないと判定された場合には、補正バイアス設定部 1 7 によって、逆バイアス電圧 V_A を刻み α （例えば $\pm 0.1V$ ）で変化させた値がバイアス印加部 1 3 に設定され、ステップ S 3 の処理に戻る（ステップ S 7）。ここで、周辺温度 T が 2 5 よりも低い場合には $\alpha > 0$ 、周辺温度 T が 2 5 よりも高い場合には $\alpha < 0$ である。

【 0 0 3 7 】

戻り光の光パワーレベル L が該距離における初期データの光パワーレベル L_0 と所定の範囲内で一致していると判定された場合には、そのとき A P D 1 2 に印加されている逆バイアス電圧が補正逆バイアス電圧 $V(T)$ として決定され、バイアス印加部 1 3 に設定される（ステップ S 8）。

【 0 0 3 8 】

バイアス印加部 1 3 によって逆バイアス電圧 V_A として補正逆バイアス電圧 $V(T)$ が設定されることにより、A P D 1 2 に補正逆バイアス電圧 $V(T)$ が印加される。ダミー

10

20

30

40

50

光ファイバ 10 に対して行われたステップ S 4、ステップ S 5 の処理と同様に、損失分布特性算出部 25 によって波形データが算出される。さらに、損失分布特性算出部 25 によって被測定光ファイバ 50 の損失分布特性が算出され、波形データおよび損失分布特性が表示部 26 に表示される（ステップ S 9）。

【0039】

以上説明したように、本実施形態の光パルス試験器は、予め定められた逆バイアス電圧の温度傾斜を用いて A P D に印加される逆バイアス電圧の粗調整を行った後に微調整を行って増倍率を一定に保つため、A P D の個別調整を省略できるとともに、より微弱な試験光の戻り光を検出することができる。

【0040】

また、本実施形態によれば、例えばペルチェ素子を用いた温度制御により周辺温度を一定にする必要がないため、低コストで光パルス試験器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図 1】本発明の実施形態の光パルス試験器を示すブロック図

【図 2】本発明の実施形態の光パルス試験器におけるアバランシェフォトダイオードの逆バイアス電圧温度特性およびその補正を示す図

【図 3】本発明の実施形態の光パルス試験器の処理手順の一例を示すフローチャート

【図 4】ダミー光ファイバからの戻り光の光パワーレベルを示す模式図

【符号の説明】

【0042】

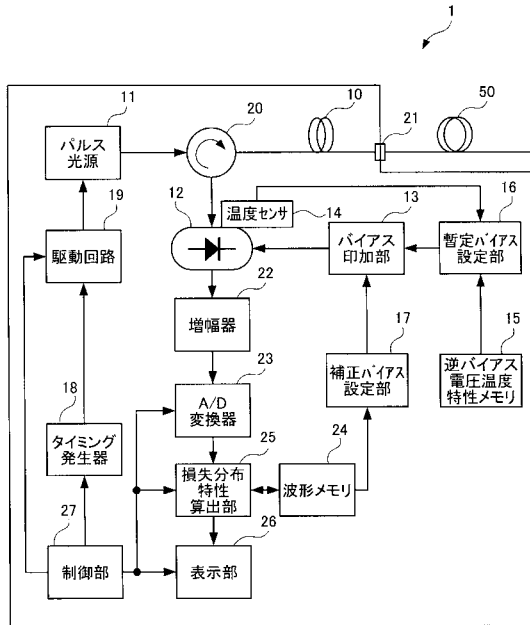
- 1 光パルス試験器
- 10 ダミー光ファイバ
- 11 パルス光源
- 12 アバランシェフォトダイオード（A P D）
- 13 バイアス印加部
- 14 温度センサ
- 15 逆バイアス電圧温度特性メモリ
- 16 暫定バイアス設定部
- 17 補正バイアス設定部
- 50 被測定光ファイバ

10

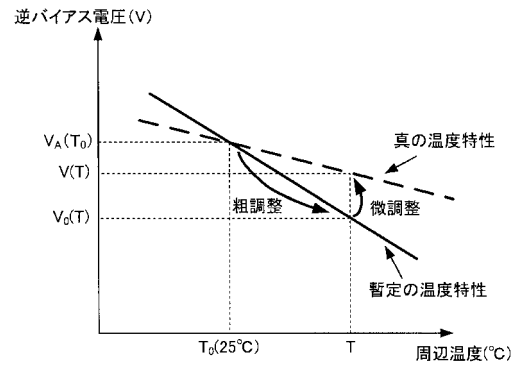
20

30

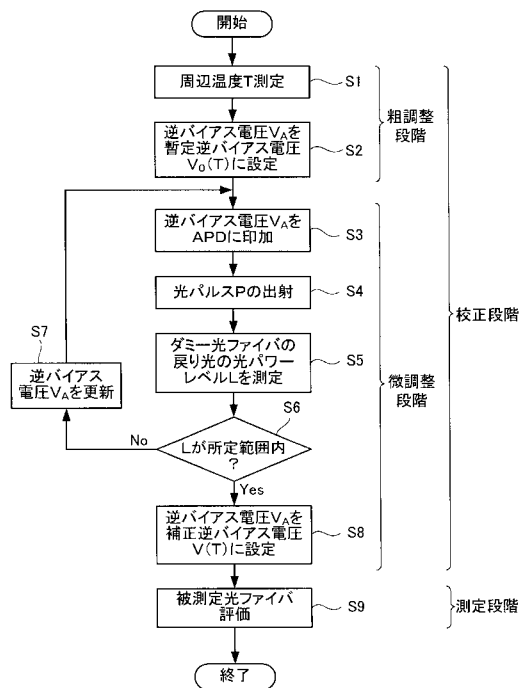
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

