

(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2014-190879
(P2014-190879A)

(43) 公開日 平成26年10月6日(2014.10.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 R 19/00 (2006.01)	GO 1 R 19/00 V	2 G 0 2 5
GO 1 R 15/24 (2006.01)	GO 1 R 15/07 B	2 G 0 3 5

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2013-67480 (P2013-67480)	(71) 出願人	514105011
(22) 出願日	平成25年3月27日 (2013. 3. 27)		株式会社東光高岳
		(74) 代理人	100092598
			弁理士 松井 伸一
		(72) 発明者	板倉 英治
			栃木県小山市大字中久喜 1 4 4 〇番地 株
			式会社高岳製作所生産本部内
		F ターム (参考)	2G025 AA12 AB10
			2G035 AA04 AB08 AC02 AD22 AD38
			AD43

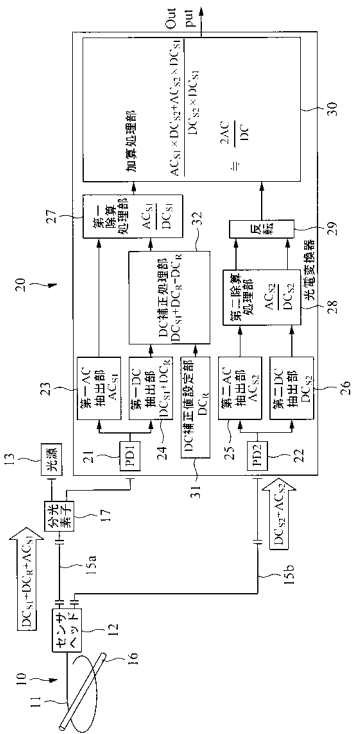
(54) 【発明の名称】 光ファイバ電流センサ

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバ伝送路の反射減衰量に基づく戻り光の影響を受けず、誤差のない電流値の測定を行う

【解決手段】 光電変換器 2 0 は、第一 D C 抽出部 2 4 と第一除算処理部 2 7 との間に D C 補正処理部 3 2 を設ける。D C 補正処理部は、第一 D C 抽出部の出力から D C 補正值設定部で設定された補正值 D C_R を減算する処理を実行する。これにより、第一光ファイバ伝送路 1 5 a を経由してセンサヘッド 1 2 より光電変換器 2 0 に入力される光信号の D C 成分 (D C_{S1} + D C_R) より、補正值を引くことで、第一除算処理部には、D C_{S1} が入力される。第一除算処理部で求める変調度は、光ファイバ伝送路 1 5 a の反射減衰量に起因した誤差を補償することができる。よって、加算処理部 3 0 に与えられる 2 つの信号の変調度は、いずれも光ファイバ伝送路の反射減衰量 (戻り光) の影響がなくなる。

【選択図】 図 3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定点に配置される感知部と、
測定点から離れた位置に配置される光源及び光電変換器と、
前記感知部と前記光電変換器とを接続する第一光ファイバ伝送路，第二光ファイバ伝送路と、

を備えた光ファイバ電流センサであって、

前記光源からの光は、前記第一光ファイバ伝送路を用いて前記感知部に伝送され、

前記感知部は、導体の外周に周回状態に配置する磁界に比例して光の偏光面が回転するファラデー効果を示すセンシングファイバと、前記第一光ファイバ伝送路を介して送られてきた光を直線偏光にして前記センシングファイバに出力するとともに、前記センシングファイバからの戻り光を偏光面が直交する2つの光に分離し、その分離した光を前記第一光ファイバ伝送路と前記第二光ファイバ伝送路に出力するセンサヘッドを備え、

前記光電変換器は、

前記第一光ファイバ伝送路から送られてきた光を受光し、受光した光強度に応じた電圧を出力する第一受光素子と、

前記第一受光素子の出力からAC成分を抽出する第一AC抽出部と、

前記第一受光素子の出力からDC成分を抽出する第一DC抽出部と、

前記第一AC抽出部の出力に基づく値を前記第一DC抽出部の出力に基づく値で除算する第一除算処理部と、

前記第二光ファイバ伝送路から送られてきた光を受光し、受光した光強度に応じた電圧を出力する第二受光素子と、

前記第二受光素子の出力からAC成分を抽出する第二AC抽出部と、

前記第二受光素子の出力からDC成分を抽出する第二DC抽出部と、

前記第二AC抽出部の出力に基づく値を前記第二DC抽出部の出力に基づく値で除算する第二除算処理部と、

前記第一除算処理部の出力と、前記第二除算処理部の出力に基づき、電流値に応じた値を求める演算部とを備えており、

さらに前記光電変換器は、前記第一DC抽出部と前記第一除算処理部との間にDC補正処理部を設け、

前記DC補正処理部は、前記第一DC抽出部の出力からDC補正值設定部で設定された補正值を減算する処理を実行する機能を持ち、

前記補正值は、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光に基づくDC成分に対応する値としたことを特徴とする光ファイバ電流センサ。

【請求項 2】

測定点に配置される感知部と、

測定点から離れた位置に配置される光源及び光電変換器と、

前記感知部と前記光電変換器とを接続する第一光ファイバ伝送路，第二光ファイバ伝送路と、

を備えた光ファイバ電流センサであって、

前記光源からの光は、前記第一光ファイバ伝送路を用いて前記感知部に伝送され、

前記感知部は、導体の外周に周回状態に配置する磁界に比例して光の偏光面が回転するファラデー効果を示すセンシングファイバと、前記第一光ファイバ伝送路を介して送られてきた光を直線偏光にして前記センシングファイバに出力するとともに、前記センシングファイバからの戻り光を偏光面が直交する2つの光に分離し、その分離した光を前記第一光ファイバ伝送路と前記第二光ファイバ伝送路に出力するセンサヘッドを備え、

前記光電変換器は、

前記第一光ファイバ伝送路から送られてきた光を受光し、受光した光強度に応じた電圧を出力する第一受光素子と、

前記第一受光素子の出力からAC成分を抽出する第一AC抽出部と、

前記第一受光素子の出力から D C 成分を抽出する第一 D C 抽出部と、

前記第一 A C 抽出部の出力に基づく値を前記第一 D C 抽出部の出力に基づく値で除算する第一除算処理部と、

前記第二光ファイバ伝送路から送られてきた光を受光し、受光した光強度に応じた電圧を出力する第二受光素子と、

前記第二受光素子の出力から A C 成分を抽出する第二 A C 抽出部と、

前記第二受光素子の出力から D C 成分を抽出する第二 D C 抽出部と、

前記第二 A C 抽出部の出力に基づく値を前記第二 D C 抽出部の出力に基づく値で除算する第二除算処理部と、

前記第一除算処理部の出力と、前記第二除算処理部の出力に基づき、電流値に応じた値を求める演算部とを備えており、 10

さらに前記光電変換器は、前記第一 A C 抽出部と、前記第一除算処理部の間に、除算補償処理部を配置し、

前記除算補償処理部は、前記第一 A C 抽出部の出力に対し、乗算係数設定部から設定された所定の乗算係数を掛ける乗算機能を有し、

前記所定の乗算係数は、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する誤差の影響がなくなる値としたことを特徴とする光ファイバ電流センサ。

【請求項 3】

前記誤差の影響がなくなる値は、前記第一除算処理部の出力に、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光に基づく D C 成分の影響がなくなる値であることを特徴とする請求項 2 に記載の光ファイバ電流センサ。 20

【請求項 4】

前記センサヘッドから前記第一光ファイバ伝送路に出力される光の D C 成分を DC_{S1} 、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光の D C 成分を DC_R とした場合に、

前記乗算係数は、

$$(DC_{S1} + DC_R) / DC_{S1}$$

に対応する値であることを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の光ファイバ電流センサ。

【請求項 5】

測定点に配置される感知部と、 30

測定点から離れた位置に配置される光源及び光電変換器と、

前記感知部と前記光電変換器とを接続する第一光ファイバ伝送路、第二光ファイバ伝送路と、

を備えた光ファイバ電流センサであって、

前記光源からの光は、前記第一光ファイバ伝送路を用いて前記感知部に伝送され、

前記感知部は、導体の外周に周回状態に配置する磁界に比例して光の偏光面が回転するファラデー効果を示すセンシングファイバと、前記第一光ファイバ伝送路を介して送られてきた光を直線偏光にして前記センシングファイバに出力するとともに、前記センシングファイバからの戻り光を偏光面が直交する 2 つの光に分離し、その分離した光を前記第一光ファイバ伝送路と前記第二光ファイバ伝送路に出力するセンサヘッドを備え、 40

前記光電変換器は、

前記第一光ファイバ伝送路から送られてきた光を受光し、受光した光強度に応じた電圧を出力する第一受光素子と、

前記第一受光素子の出力から A C 成分を抽出する第一 A C 抽出部と、

前記第一受光素子の出力から D C 成分を抽出する第一 D C 抽出部と、

前記第一 A C 抽出部の出力に基づく値を前記第一 D C 抽出部の出力に基づく値で除算する第一除算処理部と、

前記第二光ファイバ伝送路から送られてきた光を受光し、受光した光強度に応じた電圧を出力する第二受光素子と、

前記第二受光素子の出力から A C 成分を抽出する第二 A C 抽出部と、 50

前記第二受光素子の出力からDC成分を抽出する第二DC抽出部と、

前記第二AC抽出部の出力に基づく値を前記第二DC抽出部の出力に基づく値で除算する第二除算処理部と、

前記第一除算処理部の出力と、前記第二除算処理部の出力に基づき、電流値に応じた値を求める演算部とを備えており、

さらに前記光電変換器は、前記演算部の出力に所定の乗算係数を掛ける補償処理部を有し、

前記所定の乗算係数は、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する誤差の影響がなくなる値としたことを特徴とする光ファイバ電流センサ。

【請求項6】

前記センサヘッドから前記第一光ファイバ伝送路に出力される光のDC成分を DC_{S1} 、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光のDC成分を DC_R とした場合に、

前記乗算係数は、

$$(2(DC_{S1} + DC_R)) / (2DC_{S1} + DC_R)$$

に対応する値であることを特徴とする請求項5に記載の光ファイバ電流センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバ電流センサに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、架空送電線や地中送電線などの電力系統では事故点の探索が重要な課題であり、遠隔地点の電流の検出(測定)は欠かせない重要技術と言える。遠隔地での電流測定に関して、センシングファイバを通過する光のファラデー効果を利用して電流検出を行う光ファイバ電流センサがある。この光ファイバ電流センサは、電磁雑音の影響がなく、電気的な絶縁が容易であり、広帯域で測定でき、長距離信号伝送が可能である等の利点がある。光ファイバ電流センサは、磁界の大きさに比例して光の偏光面が回転するファラデー効果を示すセンシングファイバを導体の外周に周回状態に配置し、当該センシングファイバの先端に反射ミラーを取り付けて光を往復させる反射方式の構成がある。

【0003】

図1は、反射方式の光ファイバ電流センサの一例を示している。図1に示すように、光ファイバ電流センサは、遠隔の測定点に配置される感知部2と、監視地に配置される光源3や所定の信号処理を行い電流値を求める光電変換器4と、それら測定点の感知部2と監視地の光源3、光電変換器4を結ぶ光ファイバ伝送路(第一、第二光ファイバ伝送路5a, 5b)を備えている。

【0004】

感知部2は、電流値の測定対象の導体6の外周に周回状態に配置するセンシングファイバ2aと、偏光子やファラデー回転子などの光学部品等を組み込んだセンサヘッド2bを備える。ファラデー回転子は、通過する光の偏光面を22.5度回転する。さらにセンシングファイバ2aの先端には、ミラーが配置され、センシングファイバ2a内を先端に向けて進む光は、当該ミラーで反射されてセンシングファイバ2a内を通過して戻るように構成される。これにより、光の偏光面はファラデー回転子を往復することで45度回転し、戻ってきた光は、検光子として機能する偏光子に至る。

【0005】

第一、第二光ファイバ伝送路5a, 5bのそれぞれの一端は、センサヘッド2bに接続され、第一光ファイバ伝送路5aの他端には、偏波無依存型の光サーキュレータからなる3ポートの分光素子7に接続される。分光素子7の他のポートには、光源3と、光電変換器4内の第一受光素子4aと、が接続される。また、第二光ファイバ伝送路5bの他端には、光電変換器4内の第二受光素子4bが接続される。

【0006】

上記の光学的な構成によれば、まず、光源3からの光は、その一部が分光素子7を通過して第一光ファイバ伝送路5a内を進み、センサヘッド2bに至る。センサヘッド2bは、入力された無偏光の光を内蔵する偏光子で直線偏光にし、ファラデー回転子で偏光面を22.5度回転させた後、センシングファイバ2aに供給する。係る直線偏光は、センシングファイバ2a内を進み、先端のミラーで反射して戻ってくる。センシングファイバ2aは、電流が流れる導体に巻き付けてあるので、電流によって発生する磁界の影響を受けて偏光面が回転する。偏光面の回転角度の大きさは、磁界の大きさ、すなわち電流値に依存する。

【0007】

そして、センシングファイバ2a内を再び戻ってきた光は、センサヘッド2bの中のファラデー回転子で偏光面をさらに22.5度回転して偏光子を通過し、2つの光に分けられ、第一光ファイバ伝送路5aと、第二光ファイバ伝送路5bにそれぞれ与えられる。第一光ファイバ伝送路5a内を進む光は、分光素子7を経由して光電変換器4の第一受光素子4aに入力し、第二光ファイバ伝送路5bを進む光は第二受光素子4bに入力する。

【0008】

光ファイバ電流センサを取り付けた導体6に交流電流を通電すると、光ファイバ電流センサは、センサヘッド2bからDC成分にAC成分が重畳した2つの光信号を出力する。その2つの光信号は、上述したように第一光ファイバ伝送路5aと第二光ファイバ伝送路5bに与えられる。それぞれの光信号の変調度(DC成分に対するAC成分の比率: AC/DC)は、導体6に流れる電流値に比例しているため、変調度を求めることにより、導体6に流れる電流値を求めることができる。特に、光ファイバ伝送路の損失変動等により、信号の強度すなわち光電変換器4への受光量が変動したとしても、係る変動はAC成分とDC成分の両方に含まれるので、両成分を除算処理して求める変調度では、係る受光量の変動の影響をカットできるので好ましい。

【0009】

なお、2つの光信号のAC成分は位相が反転しているが、理想状態ではどちらの信号に基づいて変調度を求めても同じ値となるので、一方の信号に基づいて電流値を求めることもできる。しかし、実際には、例えばセンサヘッド2bの内部の光学部品の温度特性(45度の光学バイアスが温度によって変化する)等に起因し、上記の2つの光信号の変調度は異なる。但し、例えば光学部品の温度特性に基づく光学バイアスの角度の変化は、光学バイアスが45度より小さい場合は、一方の信号の変調度が小さくなり他方の信号の変調度が大きくなる。逆に光学バイアスが45度より大きい場合は、一方の信号の変調度が大きくなり他方の信号の変調度が小さくなる。そこで、光学バイアスの温度特性を補償する方法として、両方の信号の変調度を平均化するものがある。

【0010】

係る処理をするため、光電変換器4は、センサヘッド2bから第一、第二光ファイバ伝送路5a, 5bを介して伝送され、受光した光信号を光電変換し所定の演算処理をすることにより検出電流に対応した電気信号を求め、出力する。そして、具体的な構成は、まず光電変換器4は、入力側に第一、第二受光素子4a, 4bを備える。これらの受光素子は、例えばフォトダイオードなどで構成され、入力された光信号の強度に応じた電気信号(例えば電圧)に変換する。光電変換器4に入力される光信号は、DC成分でバイアスされた信号にAC成分が重畳されている。そこで、第一受光素子4aの出力には、第一AC抽出部4cと第一DC抽出部4dをそれぞれ接続し、各抽出部で第一受光素子4aに入力された光信号のAC成分 AC_{s1} とDC成分 DC_{s1} をそれぞれ抽出する。同様に、第二受光素子4bの出力には、第二AC抽出部4eと第二DC抽出部4fをそれぞれ接続し、各抽出部で第二受光素子4bに入力された光信号のAC成分 AC_{s2} とDC成分 DC_{s2} をそれぞれ抽出する。第一AC抽出部4cと第一DC抽出部4dの出力は、次段の第一除算処理部4gに与えられる。同様に第二AC抽出部4eと第二DC抽出部4fの出力は、次段の第二除算処理部4hに与えられる。各除算処理部4g, 4hは、AC成分をDC成分

10

20

30

40

50

で除算する演算処理をする。これにより、各除算処理部 4 g , 4 h は、第一、第二光ファイバ伝送路 5 a , 5 b を介して送られてきた各信号の変調度を求めることになる。

【 0 0 1 1 】

そして、第一除算処理部 4 g の出力は、加算処理部 4 j に直接与えられ、第二除算処理部 4 h の出力は、反転部 4 i を介して加算処理部 4 j に与えられる。上述したようにセンサヘッド 2 b から第一、第二光ファイバ伝送路 5 a , 5 b に出力される 2 つの信号は位相が反転しているため、一方（ここでは、第二光ファイバ伝送路 5 b 側）の信号の変調度を反転して加算することで、加算処理部 4 j では、2 つの信号の変調度（絶対値）の加算値を求める。この例では、その加算値を最終出力としているが、係る加算値を 2 で割ることで平均化される。

10

ここで、前記の温度変化等の外乱がない場合は、

$$A C_{S1} = A C_{S2} = A C$$

$$D C_{S1} = D C_{S2} = D C$$

となるため、最終出力 $O u t p u t$ は、

$$O u t p u t = 2 A C / D C \quad \dots \dots (1)$$

となる。

【 0 0 1 2 】

上述した従来のセンシングファイバの先端にミラーを設置した反射型の光ファイバ電流センサは、例えば特許文献 1 等に関示される。この特許文献 1 では、光電変換器の内部の演算処理部分は、平均化処理部としてまとめて記載している。また、具体的な演算処理を行う構成については、例えば特許文献 2 等に関示されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 1 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 9 - 1 2 8 2 0 8 号公報

【特許文献 2】特許第 3 3 4 2 7 6 8 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 4 】

上述したように、従来の光ファイバ電流センサは、光源 3 からセンサヘッドに光を供給する光ファイバ伝送路と、センサヘッドから出力する 2 つの光信号のうち 1 方の光信号を光電変換器に供給する光ファイバ伝送路を、第一光ファイバ伝送路 5 a で共用している。そして、光源 3 から第一光ファイバ伝送路 5 a に入射した光の一部は、その第一光ファイバ伝送路 5 a を進む際に後方散乱光となって第一光ファイバ伝送路 5 a を逆方向に進み分光素子 7 に戻る。この分光素子 7 に戻ってきた光は、第一受光素子 4 a に入射する。この第一受光素子 4 a に入射された戻り光は、 $D C$ 成分 $D C_R$ となり、誤差となる。すなわち、図 2 に示すように、センサヘッド 2 b 側から分光素子 7 に向けて第一光ファイバ伝送路 5 a 内を進む光は、センサヘッド 2 b から出力される光信号（ $D C_{S1} + A C_{S1}$ ）と、上記の後方散乱光等による戻り光 $D C_R$ が存在する。よって、第一受光素子 4 a に入射する光は、 $D C_{S1} + D C_R + A C_{S1}$ となる。一方、第二光ファイバ伝送路 5 b 側は、上記の戻り光は存在しないので、第二受光素子 4 b に入力される光は、 $D C_{S2} + A C_{S2}$ となる。よって、第一 $D C$ 抽出部 4 d で抽出される $D C$ 成分は、 $D C_{S1} + D C_R$ となり、第一除算処理部 4 g で演算処理される際の分母も $D C_{S1} + D C_R$ となる。その結果、加算処理部 4 j で求めた値も、 $D C_R$ を含むものとなり、検出精度が低下する

30

40

具体的な誤差を求めると、以下のようなになる。例えば、温度変化等の外乱が無い状態では、

$$A C_{S1} = A C_{S2} = A C$$

$$D C_{S1} = D C_{S2} = D C$$

となるため、最終出力 $O u t p u t$ は、

$$O u t p u t = (A C (2 D C + D C_R)) / (D C (D C + D C_R)) \quad \dots \dots (2)$$

50

となる。

式(1)と式(2)より、第一光ファイバ伝送路5aの反射減衰量 R_1 に起因した誤差は、

$$\begin{aligned} \text{誤差} &= ((\text{式}(2) / \text{式}(1)) - 1) \times 100 \quad [\%] \\ &= -DC_R / (2(DC + DC_R)) \times 100 \quad \dots\dots (3) \end{aligned}$$

となる

【0015】

また、光源3から出射した光の第一光ファイバ伝送路5aへの入射光量を P_0 、第一光ファイバ伝送路5aの反射減衰量を R_1 、第一光ファイバ伝送路の損失を L (往復のため L^2)、センサヘッド2bの損失を S とすると、 DC 、 DC_R は次式で表すことができる

10

$$DC = P_0 S L^2 \quad \dots\dots (4)$$

$$DC_R = P_0 R_1 \quad \dots\dots (5)$$

【0016】

そして、式(4)、(5)を式(3)に代入することで、下記式(6)に示すように第一光ファイバ伝送路5aの反射減衰量に起因した誤差を表すことができる。

$$\text{誤差} = -R_1 / (2(SL^2 + R_1)) \times 100 \quad \dots\dots (6)$$

【0017】

上記の式(6)から明らかなように、反射減衰量 R_1 が多くなるほど誤差も大きくなる。反射減衰量 R_1 を特定する戻り光の光量は、第一光ファイバ伝送路5aが長いほど大きくなる。そのため、例えば山間部に設置した場合、現在は、長くても数kmから10km程度であり、要求される測定精度ともあいまって、誤差が許容範囲内に収まるとしても、例えば、光ファイバ伝送路の長さが20kmなどとさらに長距離になると、光ファイバ伝送路の戻り光等に基づく誤差の影響が無視できなくなる。また、要求される測定精度が高くなると、既存の設置長さでも係る誤差の影響が無視できなくなるおそれもある。

20

【0018】

また、例えば、第一光ファイバ伝送路5aへの入射光量 P_0 を10dBm(10mW)、第一光ファイバ伝送路5aの損失 L を10dB(10分の1に減衰)、第一光ファイバ伝送路5aの反射減衰量 R_1 を30dB(1000分の1に減衰)、センサヘッドの損失 S を10dB(10分の1に減衰)とし、これらの値を式(6)に代入する。すると、第一光ファイバ伝送路5aの反射減衰量に起因した誤差は、約-25%となる。この値は、第一光ファイバ伝送路5aの長さが、例えば10km程度に対応する。

30

【課題を解決するための手段】

【0019】

上述した課題を解決するために、本発明の光ファイバ電流センサは、(1)測定点に配置される感知部と、測定点から離れた位置に配置される光源及び光電変換器と、前記感知部と前記光電変換器とを接続する第一光ファイバ伝送路、第二光ファイバ伝送路と、を備えた光ファイバ電流センサであって、前記光源からの光は、前記第一光ファイバ伝送路を用いて前記感知部に伝送され、前記感知部は、導体の外周に周回状態に配置する磁界に比例して光の偏光面が回転するファラデー効果を示すセンシングファイバと、前記第一光ファイバ伝送路を介して送られてきた光を直線偏光にして前記センシングファイバに出力するとともに、前記センシングファイバからの戻り光を偏光面が直交する2つの光に分離し、その分離した光を前記第一光ファイバ伝送路と前記第二光ファイバ伝送路に出力するセンサヘッドを備え、前記光電変換器は、前記第一光ファイバ伝送路から送られてきた光を受光し、受光した光強度に応じた電圧を出力する第一受光素子と、前記第一受光素子の出力からAC成分を抽出する第一AC抽出部と、前記第一受光素子の出力からDC成分を抽出する第一DC抽出部と、前記第一AC抽出部の出力に基づく値を前記第一DC抽出部の出力に基づく値で除算する第一除算処理部と、前記第二光ファイバ伝送路から送られてきた光を受光し、受光した光強度に応じた電圧を出力する第二受光素子と、前記第二受光素子の出力からAC成分を抽出する第二AC抽出部と、前記第二受光素子の出力からDC成

40

50

分を抽出する第二DC抽出部と、前記第二AC抽出部の出力に基づく値を前記第二DC抽出部の出力に基づく値で除算する第二除算処理部と、前記第一除算処理部の出力と、前記第二除算処理部の出力に基づき、電流値に応じた値を求める演算部とを備えたものを前提とする。

【0020】

そして、前記光電変換器は、前記第一DC抽出部と前記第一除算処理部との間にDC補正処理部を設け、前記DC補正処理部は、前記第一DC抽出部の出力からDC補正值設定部で設定された補正值を減算する処理を実行する機能を持ち、前記補正值は、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光に基づくDC成分に対応する値とした。

【0021】

演算部は、実施形態では、加算処理部30と反転部29に対応する。また、実施形態では、第二除算処理部の出力を反転部29で反転処理したものを加算処理部30で第一除算処理部の出力と加算したが、反転部29を設けないとともに、加算処理部に換えて減算処理部としても良い。また、実施形態では、2つの除算処理部の出力(変調度に対応する値)を加算処理したが、本発明はこれに限ることはなく、例えば、係る加算処理したものに対して2で除算して平均化してもよい。

【0022】

本発明によれば、第一DC抽出部の出力から、第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光に基づくDC成分に対応する値である補正值を減算する処理を行うため、第一除算処理部に与えられるDC成分は、第一光ファイバ伝送路からの戻り光のDC成分が無くなり、第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因した誤差を補償することができる。

【0023】

(2)上記の前提の光ファイバ電流センサであって、さらに前記光電変換器は、前記第一AC抽出部と、前記第一除算処理部の間に、除算補償処理部を配置し、前記除算補償処理部は、前記第一AC抽出部の出力に対し、乗算係数設定部から設定された所定の乗算係数を掛ける乗算機能を有し、前記所定の乗算係数は、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する誤差の影響がなくなる値とするとよい。(3)上記の(2)の発明を前提とし、前記誤差の影響がなくなる値は、前記第一除算処理部の出力に、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光に基づくDC成分の影響がなくなる値とするとよい。(4)上記の(2)、(3)の発明を前提とし、前記センサヘッドから前記第一光ファイバ伝送路に出力される光のDC成分を DC_{S1} 、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光のDC成分を DC_R とした場合に、前記乗算係数は、

$(DC_{S1} + DC_R) / DC_{S1}$
に対応する値とするとよい。

【0024】

これら(2)から(4)の発明によれば、第一AC抽出部の値を補正して、第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因した誤差を補償する。すなわち、第一光ファイバ伝送路側の変調度を求める第一除算処理部の入力となるAC成分は、第一AC抽出部から出力される第一光ファイバ伝送路側のAC成分に、所定の乗算係数を掛けた値となる。係る乗算係数を適宜に設定することで、第一除算処理部における除算処理で、第一DC抽出部で抽出された戻り光に基づく直流成分を除去し、第一除算処理の出力を、第一光ファイバ伝送路を介して送られてくる電流値に基づく正しい変調度として求めることができる。よって、最終的に光電変換器からの出力も、第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に基づく誤差のないものとなる。

【0025】

(5)上記の前提の光ファイバ電流センサであって、さらに前記光電変換器は、前記演算部の出力に所定の乗算係数を掛ける補償処理部を有し、前記所定の乗算係数は、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する誤差の影響がなくなる値とするとよい。(6)上記の(5)の発明を前提とし、前記センサヘッドから前記第一光ファイバ伝送路に出

10

20

30

40

50

力される光の DC 成分を DC_{S1} 、前記第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光の DC 成分を DC_R とした場合に、

前記乗算係数は、

$$(2(DC_{S1} + DC_R)) / (2DC_{S1} + DC_R)$$

に対応する値とするといふ。

【0026】

これら(5)、(6)の発明によれば、演算部(例えば実施形態では、加算処理部)の出力を補正して、第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因した誤差を補償する。すなわち、演算部の出力に掛ける乗算係数を、例えば、第一光ファイバ伝送路の反射減衰量に起因する戻り光の直流成分が関係する項の逆数に基づく値等にする事で、係る項と乗算係数が打ち消し合って、反射減衰量の影響を解消できる。

10

【発明の効果】

【0027】

本発明では、光ファイバ伝送路による反射減衰量の影響を抑制できるため、より精度の良い電流計測が行える。その結果、光ファイバ伝送路の長さを長距離にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】従来例を示すブロック図である。

【図2】従来の問題を説明する図である。

20

【図3】本発明に係る光ファイバ電流センサの第一実施形態を示すブロック図である。

【図4】第一実施形態における初期設定を説明する図である。

【図5】第一実施形態における初期設定を説明する図である。

【図6】第一実施形態における初期設定を説明する図である。

【図7】本発明に係る光ファイバ電流センサの第二実施形態を示すブロック図である。

【図8】本発明に係る光ファイバ電流センサの第三実施形態を示すブロック図である。

【図9】本発明に係る光ファイバ電流センサの第三実施形態を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

[第一実施形態]

30

以下、本発明に係る光ファイバ電流センサについて、図面を参照しつつ説明する。図3は、光ファイバ電流センサの第一実施形態を示している。光ファイバ電流センサは、遠隔の測定点に配置される感知部10と、監視地に配置される光源13や所定の信号処理を行い電流値に対応する値・情報を求める光電変換器20と、それら測定点の感知部10と監視地の光源13、光電変換器20を結ぶ光ファイバ伝送路(第一、第二光ファイバ伝送路15a、15b)を備えている。

【0030】

感知部10は、電流値の測定対象の導体16の外周に周回状態に配置するセンシングファイバ11と、偏光子やファラデー回転子などの光学部品等を組み込んだセンサヘッド12を備える。ファラデー回転子は、通過する光の偏光面を22.5度回転する。さらにセンシングファイバ11の先端には、ミラーが配置され、センシングファイバ11内を先端に向けて進む光は、当該ミラーで反射されてセンシングファイバ11内を通過して戻るように構成される。これにより、光の偏光面はファラデー回転子を往復することで45度回転し、戻ってきた光は、検光子として機能する偏光子に至る。

40

【0031】

光源13は、例えば無偏光で高出力の光を発することができるものがよく、例えば、希土類元素添加物ファイバを半導体レーザ等の励起用光源で励起することにより生じた自然放出光がファイバ内を導波するに従い増幅する現象を利用した光源(ASE)を使用する。ASEは、出力光量が大きい(数十mW)、時間的コヒーレンスが低い、空間的コヒーレンスが高いなどの特徴を有しており、光ファイバ電流センサの光源として適している。

50

また、出力光の偏光度は小さいため、偏光解消素子による無偏光化が容易となる。

【0032】

第一、第二光ファイバ伝送路15a, 15bは、例えば単一モード光ファイバを使用する。また、長距離伝送に用いるため、適宜位置にコネクタを配置し、当該単一モード光ファイバを直列に接続してそれぞれの光ファイバ伝送路を構成する。

【0033】

第一、第二光ファイバ伝送路15a, 15bのそれぞれの一端は、センサヘッド12に接続され、第一光ファイバ伝送路15aの他端には、偏波無依存型の光サーキュレータからなる3ポートの分光素子17に接続される。分光素子17の他のポートには、光源13と、光電変換器20内の第一受光素子21と、が接続される。また、第二光ファイバ伝送路15bの他端には、光電変換器20内の第二受光素子22が接続される。

【0034】

上記の光学的な構成は、基本的に図1に示す従来のものと同様である。すなわち、まず、光源13からの光は、その一部が分光素子17を通過して第一光ファイバ伝送路15a内を進み、センサヘッド12に至る。センサヘッド12は、入力された無偏光の光を内蔵する偏光子で直線偏光にし、ファラデー回転子で偏光面を22.5度回転させた後、センシングファイバ11に供給する。係る直線偏光は、センシングファイバ11内を進み、先端のミラーで反射して戻ってくる。センシングファイバ11は、電流が流れる導体に巻き付けてあるので、電流によって発生する磁界の影響を受けて偏光面が回転する。偏光面の回転角度の大きさは、磁界の大きさすなわち電流値に依存する。

【0035】

そして、センシングファイバ11内を再び戻ってきた光は、センサヘッド12の中のファラデー回転子で偏光面をさらに22.5度回転させた後、偏光面が直交する2つの光(第一偏光, 第二偏光)に分けられ、第一光ファイバ伝送路15aと、第二光ファイバ伝送路15bにそれぞれ与えられる。第一光ファイバ伝送路15a内を進む光は、分光素子17を経由して光電変換器20の第一受光素子21に入力し、第二光ファイバ伝送路15bを進む光は第二受光素子22に入力する。これら光学系の構成については、従来のものと基本的に同様のもので実現できる。そして、本実施形態では、後述するように、光ファイバ伝送路の反射減衰量の影響を抑制できるため、光ファイバ伝送路の長さは、従来のものよりも長くできる。

【0036】

光ファイバ電流センサを取り付けた導体16に交流電流を通電すると、光ファイバ電流センサは、センサヘッド12からDC成分にAC成分が重畳した2つの光信号を出力する。その2つの光信号は、上述したように第一光ファイバ伝送路15aと第二光ファイバ伝送路15bに与えられる。それぞれの光信号の変調度(DC成分に対するAC成分の比率: AC/DC)は、導体16に流れる電流値に比例しているため、変調度を求めることにより、導体16に流れる電流値を求めることができる。そして両方の信号の変調度を平均化することで、温度特性に基づく影響等をなくすようにする。

【0037】

係る処理をするため、光電変換器20は、入力側に第一、第二受光素子21, 22を備える。これらの受光素子は、例えばフォトダイオードなどで構成され、入力された光信号の強度に応じた電気信号(例えば電圧)に変換する。

【0038】

第一受光素子21の出力には、第一AC抽出部23と第一DC抽出部24をそれぞれ接続する。これにより、第一AC抽出部23は、第一受光素子21に入力された光信号のAC成分 AC_{S1} を抽出する。また、第一DC抽出部24は、第一受光素子21に入力された光信号のDC成分、すなわち、センサヘッド12から出力される電流値に応じた本来の光信号のDC成分 DC_{S1} に、第一光ファイバ伝送路15aの反射減衰量等に起因する戻り光に基づくDC成分 DC_R が加わったものを抽出する。よって、第一DC抽出部24からは、「 $DC_{S1} + DC_R$ 」の電圧が出力される。

【0039】

また、第二受光素子22の出力には、第二AC抽出部25と第二DC抽出部26をそれぞれ接続する。各抽出部25, 26は、第二受光素子22に輸入された光信号のAC成分 AC_{S2} とDC成分 DC_{S2} をそれぞれ抽出する。これらの構成は従来と同様である。

【0040】

そして、第一AC抽出部23の出力は、直接次段の第一除算処理部27に与えるが、第一DC抽出部24の出力は、DC補正処理部32の一方の入力に与えられ、そのDC補正処理部32の出力が第一除算処理部27に与えられるようにする。このDC補正処理部32の他方の入力には、DC補正值設定部31の出力が与えられる。DC補正值設定部31は、例えば、各種の数値を指定・入力する入力機器を備え、その入力機器を用いて指定された電圧値の直流電圧を出力する。この指定された電圧値は、第一光ファイバ伝送路5aの反射減衰量等に起因する戻り光に基づくDC成分 DC_R に対応する値である。

【0041】

DC補正処理部32は、第一DC抽出部24から与えられた値（電圧値： $DC_{S1} + DC_R$ ）から、DC補正值設定部31から与えられた補正值 DC_R を引く処理を実行する。このように第一受光素子21で受信した光信号のDC成分（ $DC_{S1} + DC_R$ ）から、第一光ファイバ伝送路15aの反射減衰量に起因したDC成分（ DC_R ）を引くことにより、DC補正処理部32からは、センサヘッド12から出力される電流値に応じた本来の光信号のDC成分 DC_{S1} が出力される。よって、第一光ファイバ伝送路15aの反射減衰量に起因した誤差が補償される。

【0042】

第一除算処理部27は、与えられたAC成分をDC成分で除算する。上述したように、第一除算処理部27に与えられるDC成分は、電流値に応じた本来の光信号のDC成分 DC_{S1} となる。よって、第一除算処理部27は、 AC_{S1} / DC_{S1} を実行し、測定対象の電流値に応じた第一光ファイバ伝送路15aを介して送られてきた信号の正しい変調度が求まる。

【0043】

一方、第二AC抽出部25と第二DC抽出部26の出力は、次段の第二除算処理部28に与えられる。第二除算処理部28は、AC成分 AC_{S2} をDC成分 DC_{S2} で除算する演算処理をする。第二除算処理部28は、第二光ファイバ伝送路15bを介して送られてきた信号の変調度を求めることになる。

【0044】

そして、第一除算処理部27の出力は、直接加算処理部30に与えられ、第二除算処理部28の出力は、反転部29を介して加算処理部30に与えられる。センサヘッド12から第一、第二光ファイバ伝送路15a, 15bに出力される2つの信号は位相が反転しているため、一方（ここでは、第二光ファイバ伝送路15b側）の信号の変調度を反転して加算することで、加算処理部30では、2つの信号の変調度（絶対値）の加算値を求める。この例では、その加算値を最終出力としているが、係る加算値を2で割ることで平均化される。

【0045】

本実施形態では、加算処理部30に与えられる2つの信号の変調度は、いずれも光ファイバ伝送路の反射減衰量（戻り光）の影響がなく、導体16に流れる電流の値に応じた正しいものとなっているため、加算処理部30からの出力に基づいて導体16に流れる電流値を精度良く求めることができる。

【0046】

また、DC補正值設定部31に設定するDC補正值は、初期設定として設定し、実際の導体16の電流値の計測時には固定値とする。この初期設定は、各種の方法を採ることができ、一例を示すと、下記の3つのものがある。係る3つの初期設定により、簡単、かつ、精度良くDC補正值を求め、設定することができるが、本発明は、これら3つの方法に限ることはなくその他の各種の設定方法を用いてもよい。

10

20

30

40

50

[D C 補正值の初期設定 1]

【 0 0 4 7 】

D C 補正值設定部 3 1 に設定する D C 補正值は、光パルス試験器 (o p t i c a l t i m e - d o m a i n r e f l e c t o m e t e r : O T D R) を用いて、実際の光ファイバ電流センサに用いる光ファイバ伝送路の反射減衰量 R_1 を求め、それから D C 補正值 $D C_R$ を求め、固定値としてセットする。すなわち、まず光パルス試験器を実際に使用する第一光ファイバ伝送路 1 5 a の一端 (例えば、分光素子 1 7 と接続される側) に接続し、光パルス試験器から所定の光量 P_1 の光を第一光ファイバ伝送路 1 5 a に入射し、戻り光 P_2 を検出する。そして、 $R_1 = P_2 / P_1$ により反射減衰量 R_1 を測定する。実際の第一光ファイバ伝送路 1 5 a を用いて反射減衰量を求めるため、例えば第一光ファイバ伝送路がコネクタ接続される場合、コネクタの部分での影響も分かる。

【 0 0 4 8 】

次いで、分光素子を介して第一光ファイバ伝送路 1 5 a に入射する光量 P_0 を測定する。そして、上記のようにして求めた R_1 , P_0 から、D C 補正值 $D C_R$ を求める ($D C_R = P_0 \times R_1$)。この求めた D C 補正值を、ユーザが上記の入力機器を用いて入力し、D C 補正值設定部 3 1 にセットする。これにより、D C 補正值設定部 3 1 は、D C 補正值 $D C_R$ の直流電圧を出力する。

[D C 補正值の初期設定 2]

【 0 0 4 9 】

図 4 , 図 5 は、2 番目の初期設定の手法を説明する図である。図 4 に示すように、まず、実際に使用する長距離の第一光ファイバ伝送路 1 5 a と第二光ファイバ伝送路 1 5 b を接続しない状態で光学系を構成する。つまり、センサヘッド 1 2 と分光素子 1 7 との間、並びにセンサヘッド 1 2 と光電変換器 2 0 の第二受光素子 2 2 との間をそれぞれ初期設定用のファイバ長の短い光ファイバ伝送路 4 0 で接続する。この光ファイバ伝送路 4 0 は、センサヘッド 1 2 と分光素子 1 7 の間で光の送受ができ、またセンサヘッド 1 2 から出力される光が第二受光素子 2 2 に受信できればよいので、ファイバ長は短いものほどよい。このように光学系を構成することで、光源 1 3 から出射された光は、分光素子 1 7 → 光ファイバ伝送路 4 0 → センサヘッド 1 2 → センシングファイバ 1 1 と進み、センシングファイバ 1 1 の先端で反射してセンサヘッド 1 2 に戻る。そして、センサヘッド 1 2 から出力される 2 つの光は、それぞれ 2 つの光ファイバ伝送路 4 0 を経由して第一、第二受光素子 2 1 , 2 2 に至る。このとき、光ファイバ伝送路 4 0 の全長は短いため、反射減衰量の影響がないか無視できるほど小さいので、分光素子 1 7 からセンサヘッド 1 2 へ向けて進む光の戻り光をほぼなくすることができる。

【 0 0 5 0 】

そこで、D C 補正值設定部 3 1 の値をゼロにし、導体 1 6 に既知の電流 I_1 を通電し、そのときの第一受光素子 2 1 で受光した光の変調度 H_1 を求める。この変調度 H_1 を求めた際の第一受光素子 2 1 で受光した光は反射減衰量の影響を受けていないため、戻り光の D C 成分 $D C_R$ はなく、補正值設定部 3 1 の出力もゼロである。よって、第一除算処理部 2 7 から出力される変調度 H_1 は、 $A C_{S1} / D C_{S1}$ となる。つまり、このとき求めた変調度 H_1 は、電流値 I_1 に対応した変調度となる。

【 0 0 5 1 】

また、変調度 H_1 を求める具体的な処理は、例えば第一除算処理部 2 7 の出力にモニタ端子を設け、そのモニタ端子の電圧値を測定し、その電圧値を変調度 H_1 とする。この電圧値 (変調度 H_1) は、例えば初期設定を行うユーザが紙などに書いて記録する。また、光電変換器あるいは別途用意した初期設定用機器内のメモリに記憶させるようにしてもよい。この場合の初期設定用機器は、モニタ端子に接続し、そこに出力されている電圧値を検出し、検出した電圧値をメモリに格納する機能を持つ。

【 0 0 5 2 】

次に、図 5 に示すように、第一光ファイバ伝送路 1 5 a と第二光ファイバ伝送路 1 5 b を接続し、正規の光ファイバ電流センサの光学系を構成する。その状態で、導体 1 6 に既

知の電流 I_1 を通電し、そのときの第一受光素子 21 で受光した光の変調度を求める。具体的には、例えば第一除算処理部 27 から出力される電圧をモニタする。次いで、DC 補正值設定部 31 に設定する値を換え、導体 16 に既知の電流 I_1 を通電し、そのときの第一受光素子 21 で受光した光の変調度を求める。この求めた変調度と、第一、第二光ファイバ伝送路 15a, 15b の未接続時の変調度 H_1 と比較し、一致したときの DC 補正值設定部 31 の値 DC_x を、DC 補正值としてセットし、初期設定を終了する。この設定した DC_x は、 DC_R とほぼ等しいので、DC 補正值設定部 31 に DC_x をセットした場合の第一除算処理部 27 から出力される変調度は、測定対象の電流値に対応したものとなる。

【0053】

実際の調整は、例えば既知の電流 I_1 を通電した状態を維持しつつ、DC 補正值設定部 31 の値をゼロから徐々に増加させ、第一除算処理部 27 の出力値（変調度）が H_1 になったときの DC 補正值設定部 31 の値で固定することで実現できる。変調度が H_1 と一致したか否かは、例えば、第一除算処理部 27 のモニタ端子に電圧計等を接続し、ユーザがモニタ端子の電圧値を監視する。そして、紙などに記録した H_1 になったか否かをユーザ自身が判定する。また、所定のメモリに記録した場合、例えば、第一除算処理部 27 の出力（電圧値）と、メモリに記憶した値とを装置側で比較し、一致した場合にその旨を報知（例えば、ランプの点灯、警報音出力等）するとよい。さらに、DC 補正值設定部 31 に対する電圧値の設定も自動的に行う設定機能を備え、上記の装置側で比較を行った結果に係る設定機能にフィードバックするようにすると良い。つまり、変調度が一致するまでは、DC 補正值設定部 31 に設定する電圧値を徐々に上昇していき、一致した時に自動的に上昇を終了すると良い。

【0054】

この初期設定の方法によれば、第一、第二光ファイバ伝送路 15a, 15b を未接続の状態得られる第一受光素子 21 側の変調度 H_1 は、第一光ファイバ伝送路 15a の反射減衰量の影響を受けていない。そのため、第一、第二光ファイバ伝送路 15a, 15b を接続した状態で、第一受光素子 21 側の変調度を光ファイバ伝送路未接続状態の値にすることにより、第一光ファイバ伝送路 15a の反射減衰量に起因した誤差を補償することができる。

【0055】

[DC 補正值の初期設定 3]

図 6 は、3 番目の初期設定の手法を説明する図である。図 6 に示すように、第一光ファイバ伝送路 15a と第二光ファイバ伝送路 15b を接続し、正規の光ファイバ電流センサの光学系を構成する。その状態で、導体 16 に既知の電流 I_1 を通電し、そのときの第二受光素子 22 で受光した光の変調度 H_2 を求める。具体的には、例えば反転部 29 から出力される電圧をモニタする。

【0056】

次いで、DC 補正值設定部 31 に設定する値を適宜換え、導体 16 に既知の電流 I_1 を通電し、そのときの第一受光素子 21 で受光した光の変調度 H_1 を求める。この求めた変調度 H_1 が、第二光ファイバ伝送路 15b（第二受光素子 22）側の変調度 H_2 と同じになるような DC 補正值設定部 31 の値 DC_x を求め、それを補正值としてセットし、初期設定を終了する。

【0057】

第二光ファイバ伝送路 15b はセンサヘッド 12 からの戻り光専用の伝送路であるため、光ファイバ伝送路の反射減衰量が光ファイバ電流センサの誤差に影響を及ぼすことはない。そのため、上述したように第一、第二光ファイバ伝送路 15a, 15b を接続した状態で第二光ファイバ伝送路 15b の変調度 H_2 を測定し、第一光ファイバ伝送路 15a 側の変調度 H_1 を第二光ファイバ伝送路 15b 側の変調度 H_2 と同じ値にすることにより、光ファイバ伝送路 1 の反射減衰量に起因した誤差を補償することができる。なお、この初期設定は、センサヘッド 12 から出力される 2 つの信号の DC 成分が等しく、AC 成分が

反転状態の時に行うと良い。

【 0 0 5 8 】

[第二実施形態]

図 7 は、本発明の第二実施形態を示している。この実施形態では、第一 A C 抽出部 2 3 と、第一除算処理部 2 7 の間に、除算補償処理部 3 6 を配置し、変調度を求める第一除算処理部 2 7 に与える A C 成分に所定の係数を掛けることで、第一除算処理部 2 7 の出力が第一光ファイバ伝送路 1 5 a により生じる余分なもの（反射減衰量）の影響が無くなるようにする。

【 0 0 5 9 】

具体的には、除算補償処理部 3 6 は、第一 A C 抽出部 2 3 から与えられる A C 成分 AC_{S1} に対し、所定の乗算係数 B を掛ける乗算機能を有する。この乗算係数 B は、乗算係数設定部 3 5 から設定される。

【 0 0 6 0 】

この乗算係数 B は、 $(DC_{S1} + DC_R) / DC_{S1}$ に対応する値とする。このようにすることで、除算補償処理部 3 6 では、 $AC_{S1} \times B$ の演算処理を実行すると、第一除算処理部 2 7 は、A C 成分 / D C 成分を演算処理するため、

$$\begin{aligned} & (AC_{S1} \times B) / (DC_{S1} + DC_R) \\ & = AC_{S1} / DC_{S1} \end{aligned}$$

【 0 0 6 1 】

となり、 DC_R の項がなくなる。よって、第一除算処理部 2 7 から出力されて次段の加算処理部 3 0 に与えられる第一光ファイバ伝送路 1 5 a 側の変調度は、反射減衰量の影響が補償され、測定対象の電流値に応じたものとなり、精度の良い電流値の計測ができる。

【 0 0 6 2 】

また、光電変換器 2 0 内の第二光ファイバ伝送路 1 5 b 側の各処理部や、光学系を構成するその他の構成は、第一実施形態と同様であるため、対応する部材に同一符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【 0 0 6 3 】

乗算係数設定部 3 5 に設定する乗算係数値は、初期設定として設定し、実際の導体 1 6 の電流値の計測時には固定値とする。この初期設定は、各種の方法を採ることができ、一例を示すと、下記の 2 つのものがある。係る 2 つの初期設定により、簡単、かつ、精度良く乗算係数 B を求め、設定することができるが、本発明は、これら 2 つの方法に限ることはなくその他の各種の設定方法を用いてもよい。

【 0 0 6 4 】

[乗算係数の初期設定 1]

まず、実際に使用する長距離の第一光ファイバ伝送路 1 5 a と第二光ファイバ伝送路 1 5 b を接続しない状態で光学系を構成する。つまり、センサヘッド 1 2 と分光素子 1 7 との間、並びにセンサヘッド 1 2 と光電変換器 2 0 の第二受光素子 2 2 との間をそれぞれファイバ長の短い初期設定用の光ファイバ伝送路で接続する。具体的な図示は省略するが、図 4 に示した「D C 補正值の初期設定 2」における初期設定用の光学系と同様とするとよい。

【 0 0 6 5 】

そして、乗算係数設定部 3 5 の値を 1 にし、導体 1 6 に既知の電流 I_1 を通電し、そのときの第一受光素子 2 1 で受光した光の変調度 H_1 を求める。このとき求めた変調度 H_1 は、反射減衰量の影響を受けていないため、戻り光の D C 成分 DC_R はなく、乗算係数設定部 3 5 の値も 1 であるため、除算補償処理部 3 6 の出力は AC_{S1} となるので、除算処理部 2 7 から出力される変調度 H_1 は、 AC_{S1} / DC_{S1} となる。つまり、このとき求めた変調度 H_1 は、電流値 I_1 に対応した変調度となる。

【 0 0 6 6 】

次に、第一光ファイバ伝送路 1 5 a と第二光ファイバ伝送路 1 5 b を接続し、正規の光ファイバ電流センサの光学系を構成する。その状態で、導体 1 6 に既知の電流 I_1 を通電

10

20

30

40

50

し、乗算係数設定部 35 の値を換えながら、そのときの第一受光素子 21 で受光した光の変調度を求める。この求めた変調度が、第一、第二光ファイバ伝送路 15a, 15b の未接続時の変調度 H_1 と比較し、両者が同じ値になるように乗算係数設定部 35 の値を調整し、初期設定を終了する。

【0067】

[乗算係数の初期設定 2]

第一光ファイバ伝送路 15a と第二光ファイバ伝送路 15b を接続し、正規の光ファイバ電流センサの光学系を構成する。その状態で、導体 16 に既知の電流 I_1 を通電し、そのときの第二受光素子 22 で受光した光の変調度 H_2 を求める。具体的には、例えば反転部 29 から出力される電圧をモニタする。

10

【0068】

次いで、乗算係数設定部 35 の値を換え、導体 16 に既知の電流 I_1 を通電し、そのときの第一受光素子 21 で受光した光の変調度 H_1 を求める。この求めた変調度 H_1 が、第二光ファイバ伝送路 15b (第二受光素子 22) 側の変調度 H_2 と同じになるような乗算係数設定部 35 の値を調整し、初期設定を終了する。

【0069】

[第三実施形態]

図 8, 図 9 は、本発明の第三実施形態を示している。この実施形態では、加算処理部 30 の出力に、補償処理部 37 を配置し、2 つの変調度を加算した加算処理部 30 の出力に所定の係数を掛けることで、第一光ファイバ伝送路により生じる余分なもの (反射減衰量) の影響が無くなるようにする。

20

【0070】

具体的には、補償処理部 37 は、加算処理部 30 の出力値に対し、所定の乗算係数 B を掛ける乗算機能を有する。つまり、加算処理部 30 においてゲイン調整を行う。この乗算係数 B は、乗算係数設定部 38 から設定される。

【0071】

ここで、図 8 中、補償処理部 37 内の近似式について説明する。まず、温度変化等の外乱がない場合は、反射減衰量 DC_R の影響を差し引いた第一光ファイバ伝送路 15a の戻り信号の変調度 AC_{S1} / DC_{S1} と、第二光ファイバ伝送路 15b の戻り信号の変調度 AC_{S2} / DC_{S2} はほぼ等しいので、次式が成り立つ。

30

$$\begin{aligned} AC_{S1} / DC_{S1} &= AC_{S2} / DC_{S2} \\ AC_{S1} &= (AC_{S2} / DC_{S2}) DC_{S1} \quad \dots \dots (7) \end{aligned}$$

この式 (7) を、図 8 の加算処理部 30 内に記載した式に代入すると、以下のようにになる。

$$AC_{S2} (2 DC_{S1} + DC_R) / (DC_{S2} (DC_{S1} + DC_R)) \quad \dots \dots (8)$$

乗算係数 B は、最終出力 (Output) が $2 AC_{S2} / DC_{S2}$ となるように式 (8) に掛ける定数であるため、次式で表すことができ、乗算係数 B が求まる。

40

【0072】

【数 1】

$$\frac{AC_{S2}(2DC_{S1} + DC_R)}{DC_{S2}(DC_{S1} + DC_R)} \times B = \frac{2AC_{S2}}{DC_{S2}}$$

$$B = \frac{2AC_{S2}}{DC_{S2}} \times \frac{DC_{S2}(DC_{S1} + DC_R)}{AC_{S2}(2DC_{S1} + DC_R)}$$

$$B = \frac{2(DC_{S1} + DC_R)}{2DC_{S1} + DC_R}$$

10

【0073】

この乗算係数 B は、 $(2(DC_{S1} + DC_R)) / (2DC_{S1} + DC_R)$ に対応する値とする。このようにすることで、補償処理部 37 では、図 8 中、補償処理部 37 内部の演算式を実行する。図示するように、 DC_R を含む項がなくなるので、最終的な出力は、反射減衰量の影響を受けない測定対象の電流値に対応する正しい値となる。なお、その他の構成並びに作用効果は、上述した各実施形態と同様であるため、対応する部材に同一符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【0074】

20

乗算係数設定部 38 に設定する乗算係数値は、初期設定として設定し、実際の導体 16 の電流値の計測時には固定値とする。この初期設定は、各種の方法を採ることができ、一例を示すと、下記の通りである。係る初期設定により、簡単、かつ、精度良く乗算係数 B を求め、設定することができるが、本発明は、この方法に限ることはなくその他の各種の設定方法を用いてもよい。

【0075】

〔乗算係数の初期設定〕

まず、図 9 に示すように、実際に使用する長距離の第一光ファイバ伝送路 15a と第二光ファイバ伝送路 15b を接続しない状態で光学系を構成する。つまり、センサヘッド 12 と分光素子 17 との間、並びにセンサヘッド 12 と光電変換器 20 の第二受光素子 22 との間をそれぞれファイバ長の短い初期設定用の光ファイバ伝送路 40 で接続する。

30

【0076】

そして、乗算係数設定部 38 の値を 1 にし、導体 16 に既知の電流 I_1 を通電し、そのときの補償処理部 37 の出力（光電変換器 20 の出力）を求め、記録する。このとき求めた出力は、反射減衰量の影響を受けていないため、電流値 I_1 に対応した正しい出力となる。

【0077】

次に、図 8 に示すように、第一光ファイバ伝送路 15a と第二光ファイバ伝送路 15b を接続し、正規の光ファイバ電流センサの光学系を構成する。その状態で、導体 16 に既知の電流 I_1 を通電し、乗算係数設定部 38 の値を換えながら、そのときの補償処理部 37 の出力（光電変換器 20 の出力）を求める。この求めた出力が、第一、第二光ファイバ伝送路 15a, 15b の未接続時の出力と同じ値になるように乗算係数設定部 38 の値を調整し、初期設定を終了する。

40

【符号の説明】

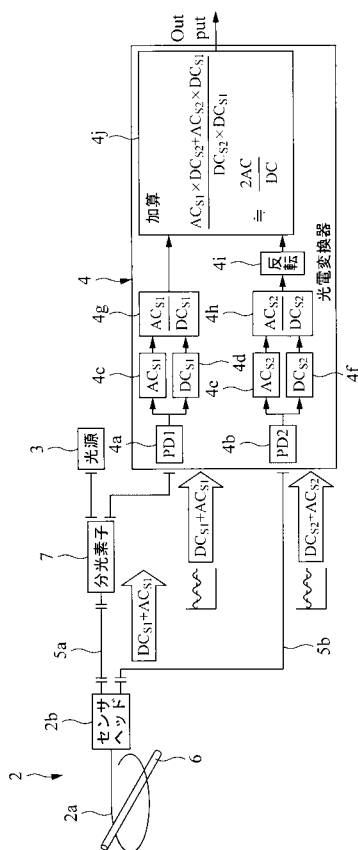
【0078】

- 10 感知部
- 11 センシングファイバ
- 12 センサヘッド
- 15a 第一光ファイバ伝送路
- 15b 第二光ファイバ伝送路

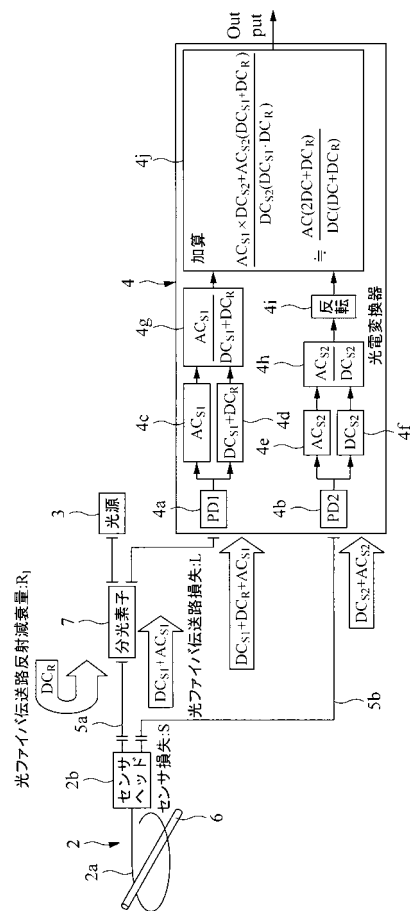
50

- 2 0 光電変換器
- 2 1 第一受光素子
- 2 2 第二受光素子
- 2 3 第一 A C 抽出部
- 2 4 第一 D C 抽出部
- 2 5 第二 A C 抽出部
- 2 6 第二 D C 抽出部
- 2 7 第一除算処理部
- 2 8 第二除算処理部
- 2 9 反転部
- 3 0 加算処理部
- 3 1 D C 補正值設定部
- 3 2 D C 補正処理部
- 3 5 乗算係数設定部
- 3 6 除算補償処理部
- 3 7 補償処理部
- 3 8 乗算係数設定部
- 4 0 光ファイバ伝送路 (初期設定用)

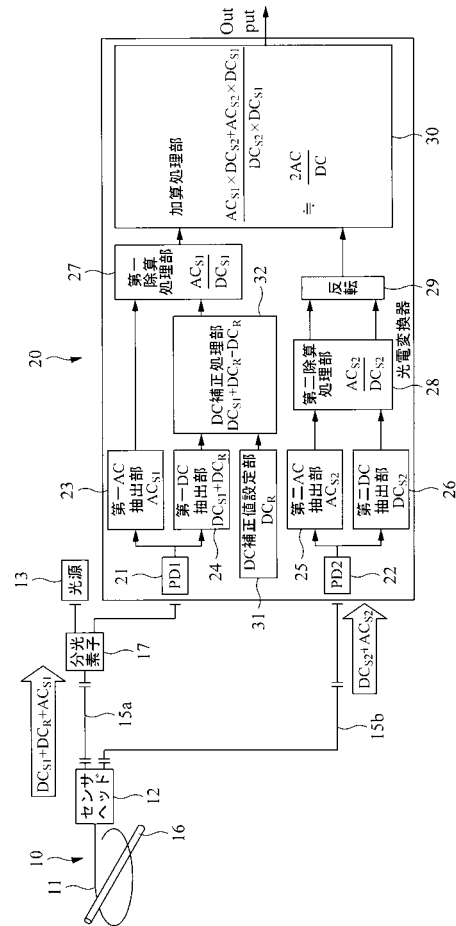
【 図 1 】



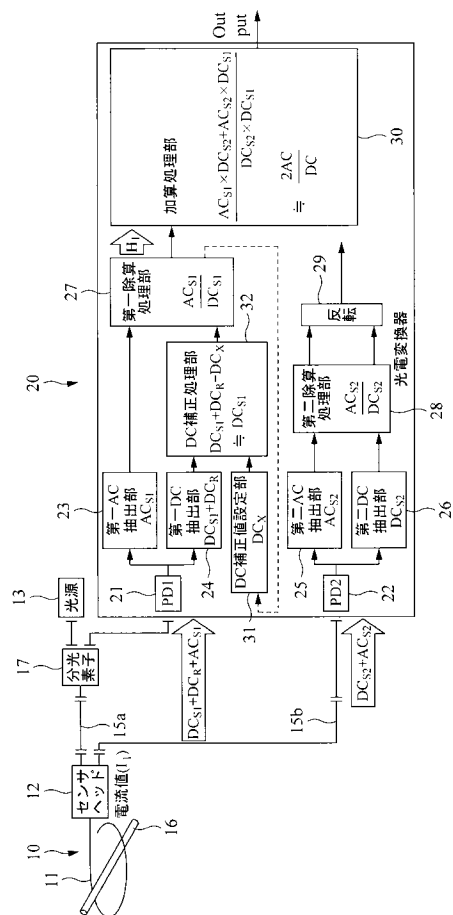
【 図 2 】



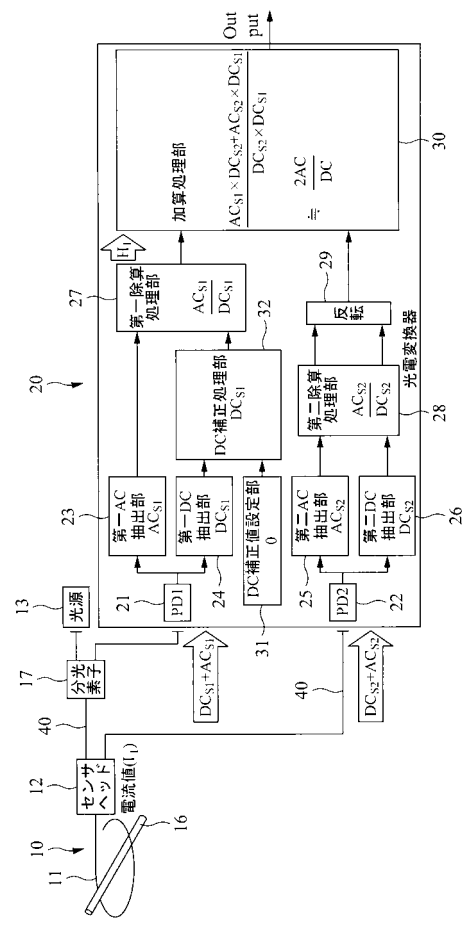
【 図 3 】



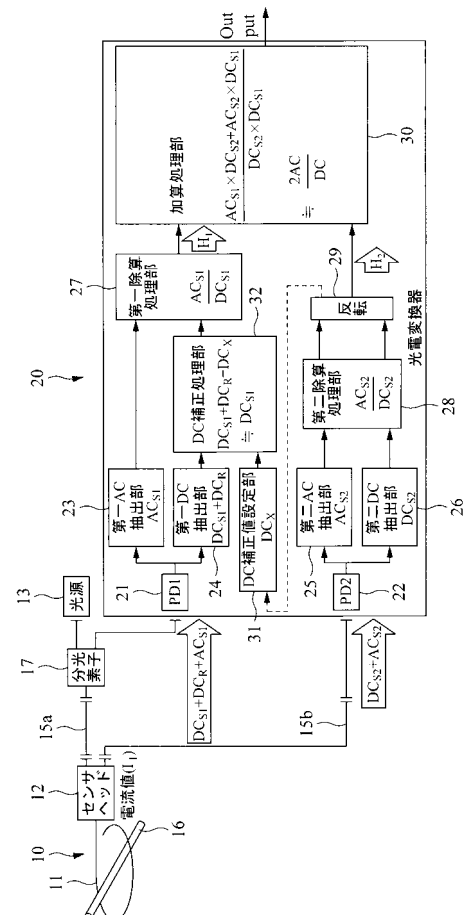
【 図 5 】



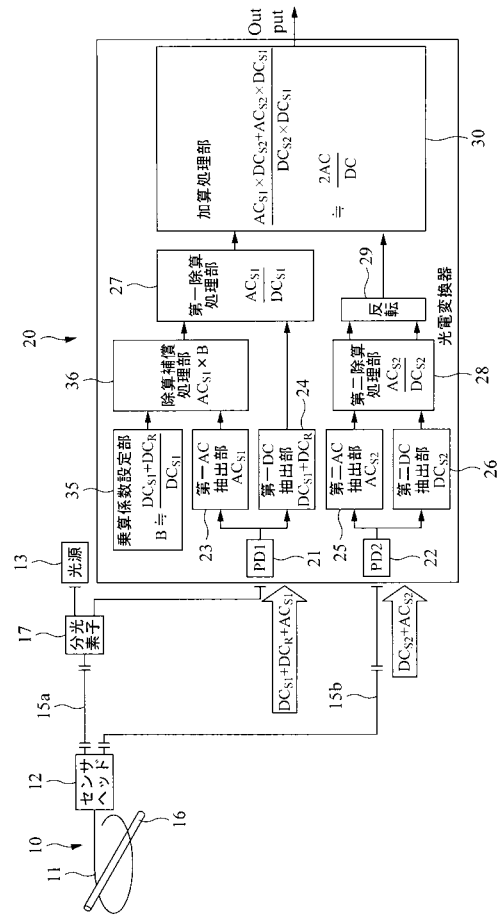
【 図 4 】



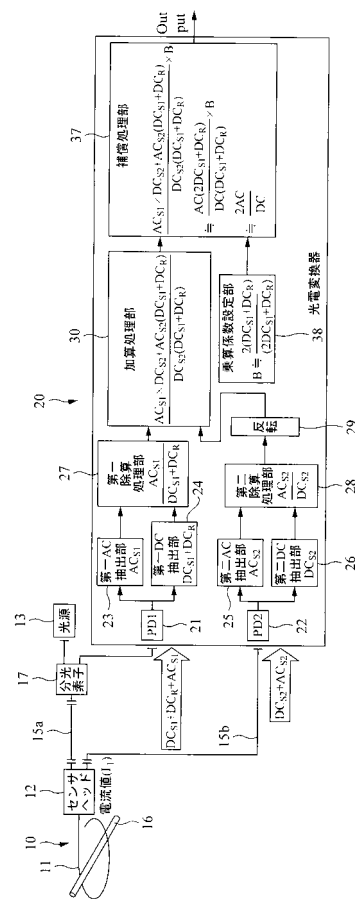
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

