

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6563760号
(P6563760)

(45) 発行日 令和1年8月21日(2019.8.21)

(24) 登録日 令和1年8月2日(2019.8.2)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 R	15/24	(2006.01)	GO 1 R	15/24	E
GO 1 R	19/32	(2006.01)	GO 1 R	19/32	
GO 1 R	19/00	(2006.01)	GO 1 R	19/00	M

請求項の数 4 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2015-189342 (P2015-189342)	(73) 特許権者	514105011 株式会社東光高岳 東京都江東区豊洲五丁目6番36号
(22) 出願日	平成27年9月28日 (2015.9.28)	(74) 代理人	100091281 弁理士 森田 雄一
(65) 公開番号	特開2017-67465 (P2017-67465A)	(72) 発明者	山口 達史 東京都江東区豊洲五丁目6番36号 株式 会社東光高岳内
(43) 公開日	平成29年4月6日 (2017.4.6)	(72) 発明者	橋本 直樹 東京都江東区豊洲五丁目6番36号 株式 会社東光高岳内
審査請求日	平成30年8月31日 (2018.8.31)	審査官	名取 乾治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光CTの温度特性改善方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被測定電流が流れる導体を周回するように配置され、かつ、端部にミラーを有するセンサ用光ファイバと、

偏/検光子及びファラデー素子を備え、前記センサ用光ファイバに入射して前記被測定電流によりファラデー回転を受けた反射光を偏波面が直交する第1の信号、第2の信号に分離する光学部と、を有するセンサヘッド、及び、

前記第1の信号、第2の信号が受光素子を介してそれぞれ入力され、前記受光素子の出力信号の交流成分と直流成分との比からそれぞれ算出した変調度に基づいて前記被測定電流の大きさを測定する信号処理装置、を備え、

反射型電流センサとして構成される光CTにおいて、

前記第1の信号、第2の信号に基づく変調度をそれぞれ正規化して電流成分に依存しない第1の変調度、第2の変調度を演算し、前記第1の変調度と第2の変調度との差分を算出して使用温度範囲における前記差分の温度特性を予め作成し、

前記温度特性を用いて、前記差分に対応する温度から前記センサヘッドの周囲温度を検出し、検出した前記周囲温度に対応する温度特性補正データを予め作成しておく、

前記信号処理装置により測定した前記被測定電流の大きさを前記温度特性補正データにより補正して前記被測定電流を温度補償することを特徴とする、光CTの温度特性改善方法。

【請求項2】

請求項 1 に記載した光 C T の温度特性改善方法において、

前記第 1 の信号、第 2 の信号に基づく変調度を、被測定電流の実効値相当値によりそれぞれ除算して正規化することを特徴とする、光 C T の温度特性改善方法。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載した光 C T の温度特性改善方法において、

前記温度特性補正データは、前記第 1 の信号、第 2 の信号に基づく変調度の平均値を、前記第 1 の信号、第 2 の信号に基づく変調度の基準温度における平均値により正規化して求めたデータであることを特徴とする、光 C T の温度特性改善方法。

【請求項 4】

被測定電流が流れる導体を周回するように配置されたセンサ用光ファイバと、

偏光子から前記センサ用光ファイバに入射して前記被測定電流によりファラデー回転を受けた透過光を、偏波面が直交する第 1 の信号、第 2 の信号に分離する検光子と、を有するセンサヘッド、及び、

前記第 1 の信号、第 2 の信号が受光素子を介してそれぞれ入力され、前記受光素子の出力信号の交流成分と直流成分との比からそれぞれ算出した変調度に基づいて前記被測定電流の大きさを測定する信号処理装置、

を備えた透過型電流センサが、請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか 1 項に記載の前記反射型電流センサと近接して配置される光 C T において、

前記反射型電流センサのセンサヘッドの周囲温度として検出された温度情報を、前記透過型電流センサのセンサヘッドの周囲温度としても用いることを特徴とする、光 C T の温度特性改善方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、反射型電流センサを温度センサとして利用した、光 C T (光ファイバを用いた反射型電流センサまたは透過型電流センサ) の温度特性改善方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光 C T、特に反射型電流センサは、光ファイバを通過する光の偏波面が磁界の作用によって回転するファラデー効果を利用して、前記磁界を生じさせた電流を測定する装置であり、例えば、ガス絶縁開閉装置 (GIS) における電流値の測定に使用されている。

この種の光 C T において、一般にファラデー素子のファラデー回転角は温度依存性を有するため、従来から、ファラデー素子の温度特性を改善する種々の方法が提案されている。

【0003】

まず、基本的な考え方として、磁気飽和時におけるファラデー回転角の温度係数ができるだけ小さいファラデー素子を用いる方法 (第 1 の従来技術) がある。

【0004】

また、特許文献 1 には、磁気飽和時におけるファラデー回転角を所定温度において 22.5 度 + 度 に設定し、ファラデー回転角を 22.5 度から 度 だけ変化させることで、測定電流値における比誤差の変動幅を ± 0.5 [%] に抑え、言い換えれば、光 C T の温度特性の傾きを変化させてその勾配を小さくするようにした電流測定装置 (第 2 の従来技術) が記載されている。

【0005】

特許文献 2 には、ファラデー回転角を測定する信号処理装置に周囲温度測定用の温度センサを備え、この温度センサによる測定温度をセンサヘッドの周囲温度として推定すると共に、この推定温度を用いて光 C T の出力を補正する温度特性補正装置 (第 3 の従来技術) が記載されている。

更に、特許文献 3 や非特許文献 1 には、信号処理装置において、ファラデー素子からの光を偏光分離素子により分離して得た二つの信号を異なるゲインにて増幅した後に、一方

10

20

30

40

50

の出力を反転して他方と加算することにより、光CTの温度特性の傾きを変化させてその勾配を小さくするようにした温度特性改善方法（第4の従来技術）が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2010-271292号公報（段落[0048]～[0058]等）

【特許文献2】特開2010-71934号公報（段落[0018]～[0020]等）

【特許文献3】特開2010-261843号公報（段落[0029]～[0047]等）

10

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】近藤 礼志，黒澤 潔，「光ファイバ電流センサの温度特性改善手法」，電気学会論文誌B，130巻4号，2010年

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

第1の従来技術は、磁気飽和時におけるファラデー回転角の温度依存性に着目したものである。しかし、光CTの温度特性は、センサ用光ファイバ（鉛ガラスファイバ、石英ファイバ等）及び光学部を含むセンサヘッドの温度依存性と信号処理装置の温度依存性によって決まり、センサヘッドの温度依存性は、センサ用光ファイバのベルデ定数の温度係数と光学部を構成するファラデー素子のファラデー回転角の温度係数とによって決まる。

20

従って、ファラデー回転角の温度係数ができるだけ小さいファラデー素子を用いたとしても、センサ用光ファイバの温度依存性（鉛ガラスファイバの場合： $0.01 [\% / \text{deg}]$ ）がなくなる限り、光CTは、その使用温度範囲（ $-40 \sim +70 []$ ）において $1.1 [\%]$ 程度の温度依存性を有することになる。

【0009】

また、第2の従来技術はファラデー回転角の温度係数を調整して光CTの温度特性の勾配を小さくし、第4の従来技術は信号処理装置における演算内容を改良して同様の効果を得ようとしているが、光CTの温度依存性は線形ではなく曲線的に変化するため、結果として得られる温度特性改善効果は、光CTに要求される精度（GIS等に適用される電流値測定用の光CTでは、比誤差の変動幅が $\pm 0.2 [\%]$ 以内）を満足することが難しい。

30

更に、個々の光CTが有する温度特性のばらつきを、光CTの組立後に調整することも困難である。

【0010】

また、第3の従来技術において、信号処理装置とセンサヘッドとを同一の場所に配置することは物理的に不可能であるため、それぞれの周囲温度に差が生じることは避けられない。例えば、信号処理装置が屋内に配置され、センサヘッドが屋外に配置されるような場合には、信号処理装置及びセンサヘッドのそれぞれの設置環境に応じて周囲温度の差が大きくなり、光CT出力の温度補償精度が低下する。

40

【0011】

加えて、保護継電器等の分野では、 $100 \sim 180 [\text{kA}]$ の大電流を測定するために透過型電流センサが用いられており、これら保護用の透過型電流センサに関しても、定格電流領域において比誤差の変動幅をできるだけ小さくすることが求められている。

【0012】

そこで、本発明の解決課題は、光CTに要求される計測精度を所定の使用温度範囲において満足するようにした光CTの温度特性改善方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

50

上記課題を解決するため、請求項 1 に係る発明は、被測定電流が流れる導体を周回するように配置され、かつ、端部にミラーを有するセンサ用光ファイバと、

偏光検光子及びファラデー素子を備え、前記センサ用光ファイバに入射して被測定電流によりファラデー回転を受けた反射光を偏波面が直交する第 1 の信号、第 2 の信号に分離する光学部と、を有するセンサヘッド、及び、

前記第 1 の信号、第 2 の信号が受光素子を介してそれぞれ入力され、前記受光素子の出力信号の交流成分と直流成分との比からそれぞれ算出した変調度に基づいて被測定電流の大きさを測定する信号処理装置、を備え、

反射型電流センサとして構成される光 C T において、

前記第 1 の信号、第 2 の信号に基づく変調度をそれぞれ正規化して電流成分に依存しない第 1 の変調度、第 2 の変調度を演算し、前記第 1 の変調度と第 2 の変調度との差分を算出して使用温度範囲における前記差分の温度特性を予め作成し、

前記温度特性を用いて、前記差分に対応する温度から前記センサヘッドの周囲温度を検出し、検出した前記周囲温度に対応する温度特性補正データを予め作成しておく、

前記信号処理装置により測定した被測定電流の大きさを前記温度特性補正データにより補正して被測定電流を温度補償するものである。

【 0 0 1 4 】

請求項 2 に係る発明は、請求項 1 に記載した光 C T の温度特性改善方法において、前記第 1 の信号、第 2 の信号に基づく変調度を、被測定電流の実効値相当値によりそれぞれ除算して正規化するものである。

【 0 0 1 5 】

請求項 3 に係る発明は、請求項 1 または請求項 2 に記載した光 C T の温度特性改善方法において、前記温度特性補正データは、前記第 1 の信号、第 2 の信号に基づく変調度の平均値を、前記第 1 の信号、第 2 の信号に基づく変調度の基準温度における平均値により正規化して求めたデータであることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

請求項 4 に係る発明は、被測定電流が流れる導体を周回するように配置されたセンサ用光ファイバと、

偏光子から前記センサ用光ファイバに入射して前記被測定電流によりファラデー回転を受けた透過光を、偏波面が直交する第 1 の信号、第 2 の信号に分離する検光子と、を有するセンサヘッド、及び、

前記第 1 の信号、第 2 の信号が受光素子を介してそれぞれ入力され、前記受光素子の出力信号の交流成分と直流成分との比からそれぞれ算出した変調度に基づいて前記被測定電流の大きさを測定する信号処理装置、

を備えた透過型電流センサが、請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか 1 項に記載した前記反射型電流センサと近接して配置される光 C T において、

前記反射型電流センサのセンサヘッドの周囲温度として検出された温度情報を、前記透過型電流センサのセンサヘッドの周囲温度としても用いるものである。

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、電流を測定する反射型電流センサの使用温度範囲において、測定電流値の比誤差の変動幅を ± 0.2 [%] 以内に抑え、また、反射型電流センサにより検出した温度情報を過電流保護等に用いる透過型電流センサにも用いることで、その比誤差の変動幅を従来よりも小さくすることができる。

これにより、高精度な電流測定動作、保護動作を実現可能な光 C T を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図 1】本発明の第 1 実施形態に係る光 C T の全体構成図である。

【図 2】図 1 における光学部の構成図である。

10

20

30

40

50

【図 3】図 1 におけるアナログ信号処理部の構成図である。

【図 4】図 1 におけるデジタル信号処理部の機能ブロック図である。

【図 5】図 4 の主要部の説明図である。

【図 6】信号 $S i g 1$, $S i g 2$ の変調度及びその差分の温度特性を示す図である。

【図 7】信号 $S i g 1$, $S i g 2$ の変調度を正規化し、その差分を求める手順を示す概念図である。

【図 8】図 4 における温度計測部の機能ブロック図である。

【図 9】図 4 における温度補正部の機能ブロック図である。

【図 10】図 9 の温度補正部における変調度及びその平均値、並びに、温度特性補正データを概念的に示した図である。

10

【図 11】温度特性改善前の反射型電流センサによる被測定電流の比誤差を示す図である。

【図 12】本発明の第 1 実施形態において、温度特性改善後の反射型電流センサによる被測定電流の比誤差を示す図である。

【図 13】本発明の第 2 実施形態の全体構成図である。

【図 14】温度特性改善前の透過型電流センサによる被測定電流の比誤差を示す図である。

【図 15】本発明の第 2 実施形態において温度特性改善後の透過型電流センサによる被測定電流の比誤差を示す図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0019】

以下、図に沿って本発明の実施形態を説明する。

まず、図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る光 CT (反射型電流センサ) の全体構成図であり、この光 CT は、信号処理装置 100 とセンサヘッド 20 とから構成されている。

【0020】

信号処理装置 100 において、10 は光源部、11 は光源ユニット、12 は光サーキュレータ、13 は伝送用光ファイバであり、光源ユニット 11 から出射された光は光サーキュレータ 12、伝送用光ファイバ 13 を介してセンサヘッド 20 の光学部 21 に送出される。

光学部 21 は、図 2 に示すように構成されており、偏 / 検光子 21 a と、レンズ 21 b と、ガーネット結晶等のファラデー回転子 21 d 及び永久磁石 21 e からなるファラデー素子 21 c とを備え、ファラデー回転子 21 d の出射側に鉛ガラスファイバ等のセンサ用光ファイバ 22 が配置されている。なお、24 は保護チューブである。

30

【0021】

図 1 に示すように、センサ用光ファイバ 22 は、その先端部にミラー 23 を備え、被測定電流 I が流れる導体を周回するように配置されている。ここで、ミラー 23 は、センサ用光ファイバ 22 の先端部に平面鏡を固着しても良いし、蒸着によってセンサ用光ファイバ 22 の先端部に鏡面を形成したもので良い。

前述した光学部 21 において、伝送用光ファイバ 13 から偏 / 検光子 21 a、レンズ 21 b を介してファラデー素子 21 c に入射した光は、22.5 度のファラデー回転を受けてセンサ用光ファイバ 22 に入射する。センサ用光ファイバ 22 への入射光は、被測定電流値 I が作る磁界によってファラデー回転を受け、ミラー 23 により反射して再びセンサ用光ファイバ 22 からファラデー素子 21 c に入射する。この入射光は、22.5 度の追加のファラデー回転を受け、更に偏 / 検光子 21 a により偏内面が互いに直交する二つの直線偏波成分に分離される。

40

【0022】

そして、一方の成分は第 2 の信号 $S i g 2$ として、伝送用光ファイバ 72 から後述する信号処理装置 100 内の第 2 の受光素子 (フォトダイオード) PD2 に入射する。また、他方の成分は伝送用光ファイバ 13 から光サーキュレータ 12 に戻り、伝送用光ファイバ 71 から信号処理装置 100 内の第 1 の受光素子 (フォトダイオード) PD1 に第 1 の信

50

号 $Sig1$ として入射する。

【0023】

次に、図3は、信号処理装置100におけるアナログ信号処理部40の構成を示している。

図3において、第1の信号 $Sig1$ は、受光素子 $PD1$ により電流信号に変換され、 I/V 変換部41aにより電圧信号に変換される。この電圧信号は直流成分 $DC1$ に交流成分 $AC1$ が重畳されたものであるため、 I/V 変換部41aの出力をローパスフィルタ42aに通して直流成分 $DC1$ を抽出すると共に、減算部43aにおいて、 I/V 変換部41aの出力から直流成分 $DC1$ を減算することにより、交流成分 $AC1$ を抽出する。

同様に、第2の信号 $Sig2$ についても、 I/V 変換部41b、ローパスフィルタ42b、及び減算部43aの作用により、直流成分 $DC2$ 及び交流成分 $AC2$ が抽出される。

【0024】

これらの直流成分 $DC1$ 、 $DC2$ 及び交流成分 $AC1$ 、 $AC2$ は、図1のADコンバータ50によりデジタル信号に変換され、FPGA (Field-Programmable Gate Array) 等のデジタル信号処理部60に入力される。

【0025】

図4は、デジタル信号処理部60においてソフトウェアによって実現される機能ブロック図である。

変調度演算手段61は、信号 $Sig1$ の交流成分 $AC1$ を直流成分 $DC1$ にて除算し、同様に信号 $Sig2$ の交流成分 $AC2$ を直流成分 $DC2$ にて除算することにより、各信号 $Sig1$ 、 $Sig2$ の変調度 ($AC1/DC1$)、($AC2/DC2$) を演算する。なお、各信号 $Sig1$ 、 $Sig2$ の変調度は互いに逆相となっている。

【0026】

これらの変調度 ($AC1/DC1$)、($AC2/DC2$) は、電流成分算出手段62に入力され、図5に示すごとく各変調度の差分を求めることにより、被測定電流値 I によるファラデー回転角に比例した電流成分 (温度補償されていない電流成分) I_k を得ることができる。上記の変調度演算手段61における交流成分の直流成分による規格化、及び、電流成分算出手段62における平均化処理により、受光パワーの変化による検出感度の変動や受光素子 $PD1$ 、 $PD2$ 等の特性のバラツキをキャンセルすることができる。

【0027】

ここで、変調度演算手段61により演算される各信号 $Sig1$ 、 $Sig2$ の変調度 ($AC1/DC1$)、($AC2/DC2$) は、実際には曲線であるが、これらを一次直線により近似して所定の周囲温度範囲 (例えば、 $-40^{\circ} \sim +80 []$) の温度特性を求めると、図6の特性線 $P1$ (のプロット)、特性線 $P2$ (のプロット) のようになる。また、両者の差分は、図6の特性線 $P3$ (のプロット) のようになる。

これらの特性線 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ は、予め求めておくことが可能であり、特性線 $P3$ を用いれば、センサヘッド20の周囲温度を推定することが可能である。

【0028】

ただし、各信号 $Sig1$ 、 $Sig2$ の変調度 ($AC1/DC1$)、($AC2/DC2$) は、被測定電流値 I に比例する信号であり、周囲温度のみによって変化するわけではない。従って、各変調度の差分に基づいて周囲温度を推定する場合には、被測定電流値 I に依存しないように各変調度を正規化し、電流値に依存しない各変調度及びその差分の温度特性を得る必要がある。

【0029】

いま、第1の信号 $Sig1$ の変調度 ($AC1/DC1$) を $m1 \cdot \sin(t)$ とし、この信号 $Sig1$ に対して逆相である第2の信号 $Sig2$ の変調度 ($AC2/DC2$) を、 $-m2 \cdot \sin(t)$ とおく。

変調度の被測定電流成分を $m \cdot \sin(t)$ とすると、その実効値相当値は ($m/2$) になる。なお、 $m = m1 - (-m2) = m1 + m2$ とおく。この実効値相当値 ($m/$

10

20

30

40

50

2)により信号 $Sig1$, $Sig2$ の変調度をそれぞれ除算して正規化すると、数式 1, 数式 2 を得る。

【数式 1】

$$M1 = m1 \cdot \sin(t) / (m / 2) = 2 \cdot m1 \cdot \sin(t) / m$$

【数式 2】

$$M2 = -m2 \cdot \sin(t) / (m / 2) = -2 \cdot m2 \cdot \sin(t) / m$$

【0030】

図 7 (a) は、上述した正規化の様子を概念的に示したものであり、信号 $Sig1$, $Sig2$ の変調度を被測定電流成分の実効値相当値 ($m / 2$) により除算して得た特性 (温度特性) $M1$, $M2$ は、図 7 (a) の下段に示すようになる。図 7 (b) は、これらの特性 $M1$, $M2$ を抽出したものである。

10

【0031】

いま、周囲温度の基準温度を例えば $20 []$ とした時の特性 $M1(20)$, $M2(20)$ の差分 M が 0 となるように M 特性を求めると、図 7 (c) のようになる。この M 特性は、周囲温度 $T []$ と変調度の差分 M との関係を示しており、個々のセンサヘッドについて求めることができるから、テーブル等の形で予め準備しておく。

【0032】

なお、図 8 は、上述した処理を実現するための、図 4 の温度計測・補正手段 65 内の温度計測部 65 a の機能ブロック図である。

図 8 において、81, 86 ~ 88 は加減算手段、82 は実効値相当値演算手段、83, 84 は除算手段、85 はメモリ、89 は M 特性をテーブル等により備えた温度変換手段である。メモリ 85 は、周囲温度が $20 []$ の時の差分 M を 0 にする操作を行うために、 $M1(20)$, $M2(20)$ の値を記憶しておくものであり、後続する加減算手段 86, 87 により $M1$, $M2$ から $M1(20)$, $M2(20)$ をそれぞれ減算してその結果の差分を加減算手段 88 により求め、図 7 (c) の M 特性を得る。

20

【0033】

図 4 に示した温度計測・補正手段 65 内の温度計測部 65 a は、第 1, 第 2 の信号 $Sig1$, $Sig2$ の変調度 ($AC1 / DC1$), ($AC2 / DC2$) を実効値相当値 ($m / 2$) により正規化して特性 $M1$, $M2$ を求め、両者の差分 M に応じた周囲温度 $T []$ (例えば、 $T = 60 []$) を図 7 (c) の M 特性に基づいて同定するものである。

30

【0034】

次に、図 4 の温度計測・補正手段 65 内の温度補正部 65 b について説明する。

図 9 は、温度補正部 65 b の機能ブロック図である。図 9 において、第 1 の信号 $Sig1$ の変調度 ($AC1 / DC1$) である $m1 \cdot \sin(t) = P1$ と、第 2 の信号 $Sig2$ の変調度 ($AC2 / DC2$) である $-m2 \cdot \sin(t) = P2$ とを加減算手段 91 に入力し、更に乗算手段 92 により $1 / 2$ を乗算して平均値 ($P = (P1 + P2) / 2$) を求める。この平均値 P は、メモリ 93 及び除算手段 94 に入力される。

ここで、図 10 (a) は、上記の $P1$, $P2$, P を概念的に示した図である。

【0035】

図 9 のメモリ 93 には、周囲温度の基準温度を例えば $20 []$ とした時の平均値 $P(20) = (P1(20) + P2(20)) / 2$ が記憶され、この平均値 $P(20)$ が除算手段 94 に入力されている。

40

除算手段 94 では、乗算手段 92 から出力された平均値 P を平均値 $P(20)$ により除算して正規化することにより、基準温度における平均値 $P(20)$ に対する平均値 P の比、すなわち $P / P(20)$ が演算される。この比 $P / P(20)$ は、温度特性補正データ E_m としてメモリ 95 に記憶される。

【0036】

図 10 (b) は、上記の温度特性補正データ E_m の概念図であり、周囲温度が $20 []$ における比 $P / P(20)$ を 1.0 として正規化してある。

図 10 (a) の $P1$, $P2$, P はセンサヘッド 20 ごとに予め求めることができ、図 1

50

0 (b) の温度特性補正データ E_m も予め算出可能である。この温度特性補正データ E_m を図 9 のメモリ 9 5 に記憶させておけば、前述した温度計測部 6 5 a が図 8 により求めた周囲温度 T に対応する温度特性補正データ E_m を得ることができる。

【 0 0 3 7 】

図 9 に戻って、周囲温度 T に応じてメモリ 9 5 から読み出した温度特性補正データ E_m は、除算手段 9 6 に送られる。この除算手段 9 6 において、図 4 における電流成分算出手段 6 2 が算出した電流成分 I_k を温度特性補正データ E_m によって除算することにより、温度補正済みの電流値 I_n が得られる。

この電流値 I_n は、図 4 の非直線性補正手段 6 3 において被測定電流に対する変調度の非直線性を補正した後、最終調整手段 6 4 により変換比の調整等を行い、導体を流れる電流 I の測定値として出力される。なお、非直線性補正手段 6 3 及び最終調整手段 6 4 は本発明に必須の構成要件ではなく、温度補正部 6 5 b によって電流値 I_n を得ることにより所期の目的を達成することができる。

【 0 0 3 8 】

ここで、図 1 1 は、温度特性改善前の反射型電流センサによる被測定電流の比誤差を示しており、図 1 2 は、本発明の第 1 実施形態において、温度特性改善後の反射型電流センサによる被測定電流の比誤差を示している。

これらの図から明らかなように、第 1 実施形態によれば、 $-40 \sim +80$ [] の範囲において、比誤差の変動範囲がほぼ -0.1 [%] 以下になっており、GIS 等の電流値測定用の光 CT として十分な温度特性が得られている。

【 0 0 3 9 】

次に、本発明の第 2 実施形態を説明する。

保護継電器等に使用されている保護用の透過型電流センサは、反射型電流センサのごとくファラデー素子を使用していないため、第 1 実施形態のようにセンサヘッドの周囲温度センサとしてファラデー素子を利用することができない。ここで、一般的に光 CT では、電流を高精度に測定するための測定用の反射型電流センサと、過電流保護等を行う保護用の透過型電流センサとが近接して設置されている。

従って、第 1 実施形態により測定用の反射型電流センサが検出した周囲温度情報を、保護用の透過型電流センサのセンサヘッドの周囲温度情報としても利用すれば、透過型電流センサによる被測定電流の温度補償を行うことができる。本発明の第 2 実施形態は、この点に着目したものである。

【 0 0 4 0 】

なお、良く知られているように、透過型電流センサは、被測定電流が流れる導体を周回するように配置されたセンサ用光ファイバと、偏光子からセンサ用光ファイバに入射して被測定電流によりファラデー回転を受けた透過光を偏波面が直交する第 1 の信号、第 2 の信号に分離する検光子と、を有するセンサヘッド、及び、第 1、第 2 の信号が受光素子を介してそれぞれ入力され、これらの受光素子の出力信号の交流成分と直流成分との比からそれぞれ算出した変調度に基づいて被測定電流の大きさを測定する信号処理装置を少なくとも備えている。

【 0 0 4 1 】

図 1 3 は、第 2 実施形態の全体構成図である。図 1 3 において、200 A は第 1 実施形態が適用される反射型電流センサの信号処理基板であり、図 1 に示した信号処理装置 100 の主要部を構成する。また、図 1 3 の 200 B は保護用の透過型電流センサの信号処理基板であり、同じく透過型電流センサの信号処理装置の主要部を構成している。

【 0 0 4 2 】

この実施形態の概略的な動作としては、例えば、反射型電流センサの信号処理基板 200 A から、前述の温度計測部 6 5 a により計測した温度データ (温度 T) と温度補正済みの電流データ (電流値 I_n) とを通信基板 300 に伝送し、通信基板 300 から、上記温度データを透過型電流センサの信号処理基板 200 B に伝送する。

信号処理基板 200 B では、透過型電流センサによる電流検出データに対し、上記温度

10

20

30

40

50

データを用いて第1実施形態と同様の動作により温度補償を行い、温度補正済みの電流データを生成する。そして、この電流データを通信基板300に伝送する。

【0043】

同期I/F基板400は、通信基板300に1PPS同期信号を伝送し、通信基板300は、1PPS同期信号に同期した反射型電流センサ及び透過型電流センサの電流データを信号処理基板200A, 200Bから読み出し、同期I/F基板400に伝送する。そして、同期I/F基板400は、反射型電流センサ及び透過型電流センサの温度補正済みの電流データを光CT出力として外部に伝送する。

【0044】

図14は、温度特性改善前の透過型電流センサによる被測定電流の比誤差を示しており、図15は、本発明の第2実施形態において、温度特性改善後の透過型電流センサによる被測定電流の比誤差を示している。

10

これらの比較から明らかなように、第2実施形態によれば、 $-40 \sim +80$ [%] の範囲において、比誤差の変動範囲がほぼ ± 0.2 [%] 以下に抑えられており、保護用の光CTとして十分な温度特性が得られている。

【符号の説明】

【0045】

- 10 : 光源部
- 11 : 光源ユニット
- 12 : 光サーキュレータ
- 13, 71, 72 : 伝送用光ファイバ
- 20 : センサヘッド
- 21 : 光学部
- 21a : 偏/検光子
- 21b : レンズ
- 21c : ファラデー素子
- 21d : ファラデー回転子
- 21e : 永久磁石
- 22 : センサ用光ファイバ
- 23 : ミラー
- 24 : 保護チューブ
- 40 : アナログ信号処理部
- 41a, 41b : I/V変換部
- 42a, 42b : ローパスフィルタ
- 43a, 43b : 減算部
- 50 : ADコンバータ
- 60 : デジタル信号処理部 (FPGA : Field-Programmable Gate Array)
- 61 : 変調度演算手段
- 62 : 電流成分算出手段
- 63 : 非直線性補正手段
- 64 : 最終調整手段
- 65 : 温度計測・補正手段
- 65a : 温度計測部
- 65b : 温度補正部
- 81, 86, 87, 88, 91 : 加減算手段
- 82 : 実効値相当値演算手段
- 83, 84, 94 : 除算手段
- 85, 93, 95 : メモリ
- 89 : 温度変換手段
- 92 : 乗算手段

20

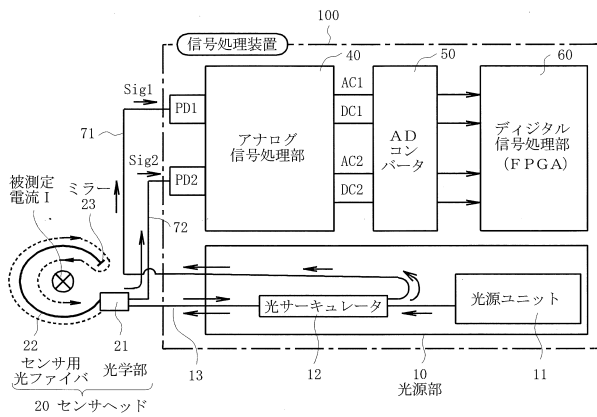
30

40

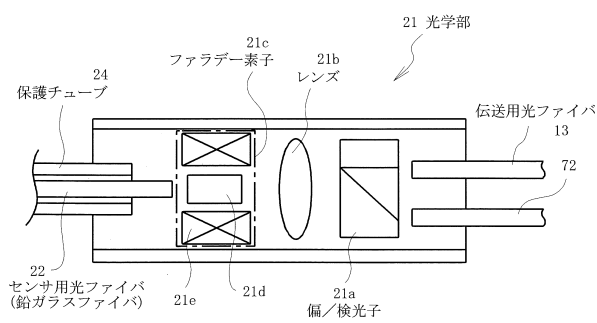
50

- 96 : 除算手段
- 100 : 信号処理装置
- 200A, 200B : 信号処理基板
- 300 : 通信基板
- 400 : 同期I/F基板
- PD1, PD2 : 受光素子

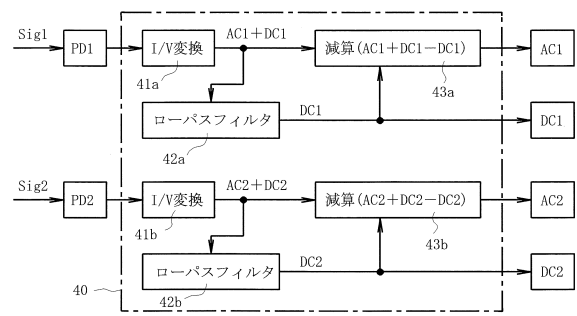
【図1】



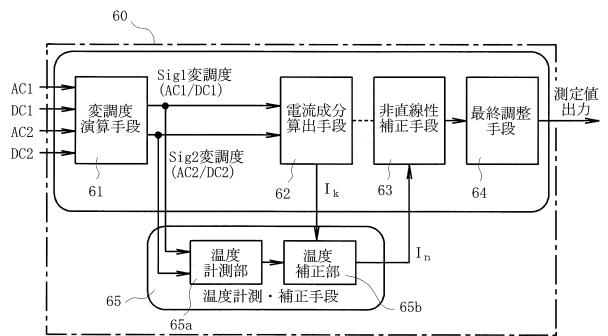
【図2】



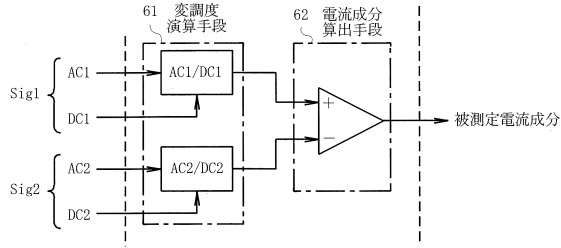
【図3】



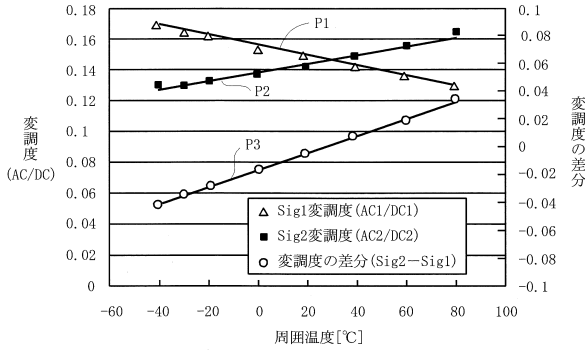
【図4】



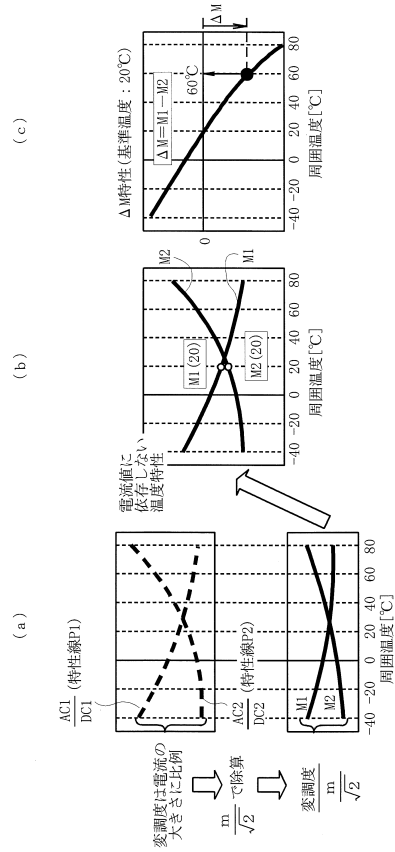
【図5】



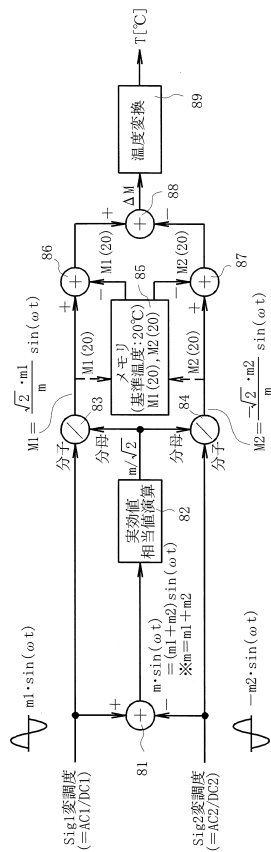
【図6】



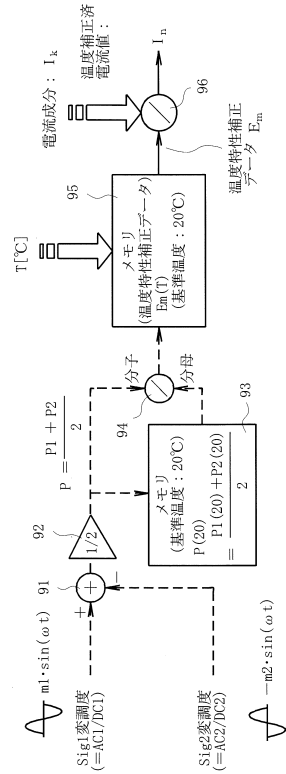
【図7】



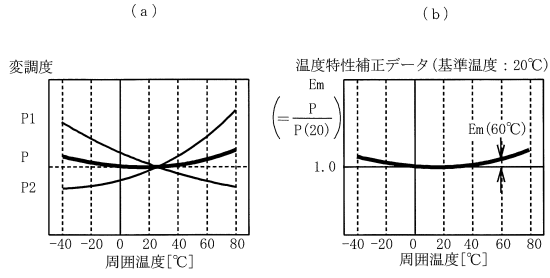
【図8】



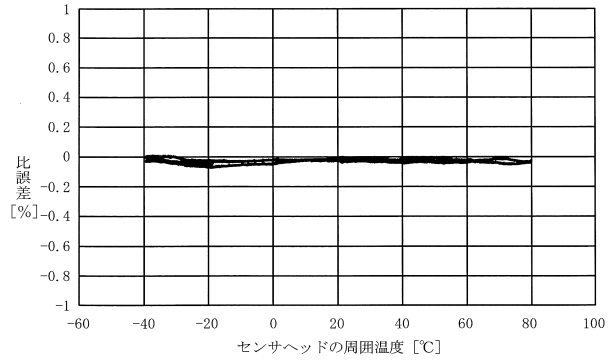
【図9】



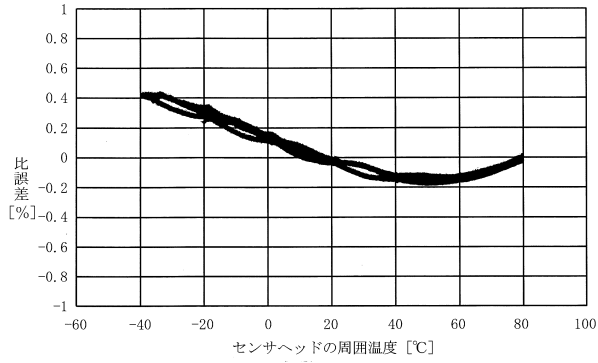
【図10】



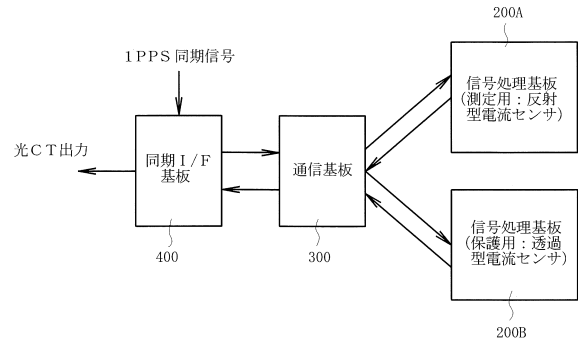
【図12】



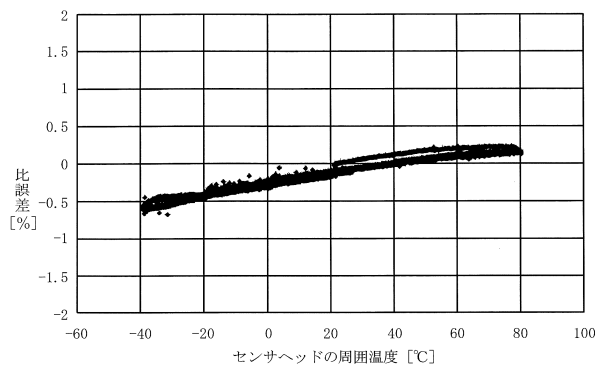
【図11】



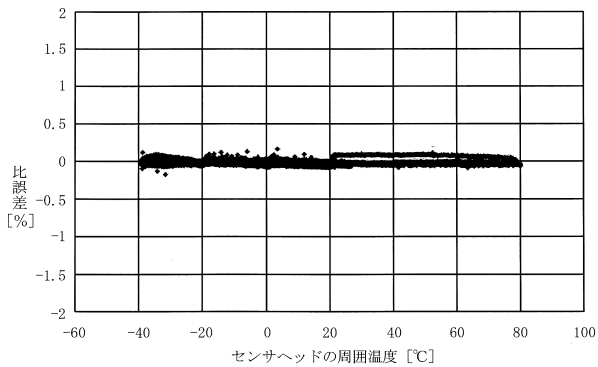
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-266787(JP,A)
特開2010-071934(JP,A)
特開2010-271292(JP,A)
特開2009-122095(JP,A)
特開2014-190879(JP,A)
特開2011-214959(JP,A)
特表平08-510056(JP,A)
特開平02-262067(JP,A)
特開2010-261843(JP,A)
米国特許出願公開第2002/0000801(US,A1)
米国特許出願公開第2015/0097551(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 15/24
G01R 19/00
G01R 19/32