

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5062450号
(P5062450)

(45) 発行日 平成24年10月31日(2012.10.31)

(24) 登録日 平成24年8月17日(2012.8.17)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 D 5/16 (2006.01) GO 1 D 5/16 M
GO 1 D 5/12 (2006.01) GO 1 D 5/12 N

請求項の数 15 (全 40 頁)

(21) 出願番号	特願2010-179935 (P2010-179935)	(73) 特許権者	000003067
(22) 出願日	平成22年8月11日 (2010.8.11)		T D K 株式会社
(65) 公開番号	特開2012-37467 (P2012-37467A)		東京都中央区日本橋一丁目13番1号
(43) 公開日	平成24年2月23日 (2012.2.23)	(74) 代理人	100107559
審査請求日	平成23年7月5日 (2011.7.5)		弁理士 星宮 勝美
		(74) 代理人	100115118
			弁理士 渡邊 和浩
		(74) 代理人	100166257
			弁理士 城澤 達哉
		(72) 発明者	猿木 俊司
			東京都中央区日本橋一丁目13番1号 T D K 株式会社内
		(72) 発明者	平林 啓
			東京都中央区日本橋一丁目13番1号 T D K 株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転磁界センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度を検出する回転磁界センサであって、

前記回転磁界であって、第1の位置における第1の部分磁界と第2の位置における第2の部分磁界とを含み、第1の部分磁界と第2の部分磁界は、磁界の方向が互いに180°異なり且つ同じ回転方向に回転するものである回転磁界を発生する磁界発生部と、

前記第1の位置において、主成分として前記第1の部分磁界を含む第1の印加磁界の方向が第1の方向に対してなす第1の角度を検出するための第1の検出部と、

前記第2の位置において、主成分として前記第2の部分磁界を含む第2の印加磁界の方向が第2の方向に対してなす第2の角度を検出するための第2の検出部とを備え、

前記第1の検出部は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子を含み、前記第1の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する第1および第2の検出回路と、前記第1および第2の検出回路の出力信号に基づいて前記第1の角度の検出値である第1の角度検出値を算出する第1の演算回路とを有し、

前記第2の検出部は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子を含み、前記第2の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する第3および第4の検出回路と、前記第3および第4の検出回路の出力信号に基づいて前記第2の角度の検出値である第2の角度検出値を算出する第2の演算回路とを有し、

前記第1ないし第4の検出回路の出力信号は、周期が互いに等しく、

10

20

前記第 2 の検出回路の出力信号の位相は、前記第 1 の検出回路の出力信号の位相に対して、前記周期の $1/4$ の奇数倍だけ異なり、

前記第 4 の検出回路の出力信号の位相は、前記第 3 の検出回路の出力信号の位相に対して、前記周期の $1/4$ の奇数倍だけ異なり、

回転磁界センサは、更に、前記第 1 の角度検出値と第 2 の角度検出値とに基づいて、前記基準位置における前記回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度と対応関係を有する検出値を算出する第 3 の演算回路を備えたことを特徴とする回転磁界センサ。

【請求項 2】

前記回転磁界センサに対して外部から、前記回転磁界以外のノイズ磁界が印加され、前記第 1 の印加磁界は、前記第 1 の部分磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であり、前記第 2 の印加磁界は、前記第 2 の部分磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であることを特徴とする請求項 1 記載の回転磁界センサ。

10

【請求項 3】

前記第 1 の方向と第 2 の方向は、互いに 180° 異なることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の回転磁界センサ。

【請求項 4】

前記第 1 ないし第 4 の検出回路は、それぞれ、前記少なくとも 1 つの磁気検出素子として、直列に接続された一对の磁気検出素子を含むことを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の回転磁界センサ。

【請求項 5】

前記第 1 ないし第 4 の検出回路は、それぞれ、直列に接続された第 1 の対の磁気検出素子と、直列に接続された第 2 の対の磁気検出素子とを含むホイートストンブリッジ回路を有することを特徴とする請求項 4 記載の回転磁界センサ。

20

【請求項 6】

前記磁気検出素子は磁気抵抗効果素子であることを特徴とする請求項 4 または 5 記載の回転磁界センサ。

【請求項 7】

前記磁気抵抗効果素子は、磁化方向が固定された磁化固定層と、印加される磁界の方向に応じて磁化の方向が変化する自由層と、前記磁化固定層と自由層の間に配置された非磁性層とを有することを特徴とする請求項 6 記載の回転磁界センサ。

30

【請求項 8】

前記第 2 の検出回路における磁気抵抗効果素子の磁化固定層の磁化方向は、前記第 1 の検出回路における磁気抵抗効果素子の磁化固定層の磁化方向に直交し、

前記第 4 の検出回路における磁気抵抗効果素子の磁化固定層の磁化方向は、前記第 3 の検出回路における磁気抵抗効果素子の磁化固定層の磁化方向に直交していることを特徴とする請求項 7 記載の回転磁界センサ。

【請求項 9】

前記第 1 の角度検出値は、前記第 1 の印加磁界の成分が前記第 1 の部分磁界のみであって、前記第 1 の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される前記第 1 の角度の理論値に対する第 1 の角度誤差を含み、

40

前記第 2 の角度検出値は、前記第 2 の印加磁界の成分が前記第 2 の部分磁界のみであって、前記第 2 の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される前記第 2 の角度の理論値に対する第 2 の角度誤差を含み、

前記第 1 の角度誤差と第 2 の角度誤差は、前記第 1 および第 2 の部分磁界の方向の変化に伴って互いに等しい誤差周期で周期的に変化し、且つ前記第 1 の角度誤差の変化は前記第 1 の角度検出値の変化に依存し、前記第 2 の角度誤差の変化は前記第 2 の角度検出値の変化に依存し、

前記誤差周期は、各検出回路の出力信号の周期の $1/4$ であり、

前記第 1 の角度検出値の位相と前記第 2 の角度検出値の位相は、前記誤差周期の $1/2$ の奇数倍だけ異なることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の回転磁界セン

50

サ。

【請求項 1 0】

前記第 1 の方向と第 2 の方向は、前記第 1 および第 2 の部分磁界の回転方向について、前記誤差周期の $1/2$ の奇数倍だけ異なることを特徴とする請求項 9 記載の回転磁界センサ。

【請求項 1 1】

前記回転磁界は、更に、第 3 の位置における第 3 の部分磁界と第 4 の位置における第 4 の部分磁界とを含み、第 3 の部分磁界と第 4 の部分磁界は、磁界の方向が互いに 180° 異なり且つ前記第 1 および第 2 の部分磁界と同じ回転方向に回転するものであり、

回転磁界センサは、更に、

前記第 3 の位置において、主成分として前記第 3 の部分磁界を含む第 3 の印加磁界の方向が第 3 の方向に対してなす第 3 の角度を検出するための第 3 の検出部と、

前記第 4 の位置において、主成分として前記第 4 の部分磁界を含む第 4 の印加磁界の方向が第 4 の方向に対してなす第 4 の角度を検出するための第 4 の検出部とを備え、

前記第 3 の検出部は、それぞれ、少なくとも 1 つの磁気検出素子を含み、前記第 3 の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する第 5 および第 6 の検出回路と、前記第 5 および第 6 の検出回路の出力信号に基づいて前記第 3 の角度の検出値である第 3 の角度検出値を算出する第 4 の演算回路とを有し、

前記第 4 の検出部は、それぞれ、少なくとも 1 つの磁気検出素子を含み、前記第 4 の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する第 7 および第 8 の検出回路と、前記第 7 および第 8 の検出回路の出力信号に基づいて前記第 4 の角度の検出値である第 4 の角度検出値を算出する第 5 の演算回路とを有し、

前記第 1 ないし第 8 の検出回路の出力信号は、周期が互いに等しく、

前記第 6 の検出回路の出力信号の位相は、前記第 5 の検出回路の出力信号の位相に対して、前記周期の $1/4$ の奇数倍だけ異なり、

前記第 8 の検出回路の出力信号の位相は、前記第 7 の検出回路の出力信号の位相に対して、前記周期の $1/4$ の奇数倍だけ異なり、

回転磁界センサは、更に、

前記第 3 の角度検出値と第 4 の角度検出値とに基づいて、前記基準位置における前記回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度と対応関係を有する検出値を算出する第 6 の演算回路と、

前記第 3 の演算回路によって算出された検出値と、前記第 6 の演算回路によって算出された検出値とに基づいて、前記基準位置における前記回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度の検出値を算出する第 7 の演算回路とを備えたことを特徴とする請求項 1 記載の回転磁界センサ。

【請求項 1 2】

前記回転磁界センサに対して外部から、前記回転磁界以外のノイズ磁界が印加され、前記第 1 の印加磁界は、前記第 1 の部分磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であり、前記第 2 の印加磁界は、前記第 2 の部分磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であり、前記第 3 の印加磁界は、前記第 3 の部分磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であり、前記第 4 の印加磁界は、前記第 4 の部分磁界と前記ノイズ磁界との合成磁界であることを特徴とする請求項 1 1 記載の回転磁界センサ。

【請求項 1 3】

前記第 1 の方向と第 2 の方向は互いに 180° 異なり、前記第 3 の方向と第 4 の方向は互いに 180° 異なることを特徴とする請求項 1 1 または 1 2 記載の回転磁界センサ。

【請求項 1 4】

前記第 1 の角度検出値は、前記第 1 の印加磁界の成分が前記第 1 の部分磁界のみであって、前記第 1 の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される前記第 1 の角度の理論値に対する第 1 の角度誤差を含み、

前記第 2 の角度検出値は、前記第 2 の印加磁界の成分が前記第 2 の部分磁界のみであっ

10

20

30

40

50

て、前記第 2 の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される前記第 2 の角度の理論値に対する第 2 の角度誤差を含み、

前記第 3 の角度検出値は、前記第 3 の印加磁界の成分が前記第 3 の部分磁界のみであって、前記第 3 の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される前記第 3 の角度の理論値に対する第 3 の角度誤差を含み、

前記第 4 の角度検出値は、前記第 4 の印加磁界の成分が前記第 4 の部分磁界のみであって、前記第 4 の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される前記第 4 の角度の理論値に対する第 4 の角度誤差を含み、

前記第 1 ないし第 4 の角度誤差は、前記第 1 ないし第 4 の部分磁界の方向の変化に伴って互いに等しい誤差周期で周期的に変化し、且つ前記第 1 ないし第 4 の角度誤差の変化は、それぞれ前記第 1 ないし第 4 の部分磁界の方向の変化に依存し、

前記誤差周期は、前記回転磁界の方向の回転の周期の 1 / 2 であり、

前記第 3 の位置と第 4 の位置は、それぞれ、前記第 1 の位置と第 2 の位置に対して、前記誤差周期の 1 / 2 の奇数倍に相当する量だけずれていることを特徴とする請求項 1 1 ないし 1 3 のいずれかに記載の回転磁界センサ。

【請求項 1 5】

前記第 1 の角度誤差は、前記第 1 の部分磁界の方向の変化に依存して前記誤差周期で変化する成分と、前記第 1 の角度検出値の変化に依存して第 2 の誤差周期で変化する成分とを含み、

前記第 2 の角度誤差は、前記第 2 の部分磁界の方向の変化に依存して前記誤差周期で変化する成分と、前記第 2 の角度検出値の変化に依存して前記第 2 の誤差周期で変化する成分とを含み、

前記第 3 の角度誤差は、前記第 3 の部分磁界の方向の変化に依存して前記誤差周期で変化する成分と、前記第 3 の角度検出値の変化に依存して前記第 2 の誤差周期で変化する成分とを含み、

前記第 4 の角度誤差は、前記第 4 の部分磁界の方向の変化に依存して前記誤差周期で変化する成分と、前記第 4 の角度検出値の変化に依存して前記第 2 の誤差周期で変化する成分とを含み、

前記第 2 の誤差周期は、各検出回路の出力信号の周期の 1 / 4 であり、

前記第 1 の角度検出値の位相と前記第 2 の角度検出値の位相は、前記第 2 の誤差周期の 1 / 2 の奇数倍だけ異なり、

前記第 3 の角度検出値の位相と前記第 4 の角度検出値の位相は、前記第 2 の誤差周期の 1 / 2 の奇数倍だけ異なることを特徴とする請求項 1 4 記載の回転磁界センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度を検出する回転磁界センサに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、自動車のステアリングの回転位置の検出等の種々の用途で、対象物の回転位置を検出するために、回転磁界センサが広く利用されている。回転磁界センサは、対象物の回転位置を検出する場合に限らず、対象物の直線的な変位を検出する場合にも利用されている。回転磁界センサが用いられるシステムでは、一般的に、対象物の回転や直線的な運動に連動して方向が回転する回転磁界を発生する手段（例えば磁石）が設けられる。回転磁界センサは、磁気検出素子を用いて、回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度を検出する。これにより、対象物の回転位置や直線的な変位が検出される。

【0003】

回転磁界センサとしては、特許文献 1 に記載されているように、2つのブリッジ回路（ホイートストンブリッジ回路）を有するものが知られている。この回転磁界センサにおい

10

20

30

40

50

て、2つのブリッジ回路は、それぞれ、4つの磁気検出素子としての磁気抵抗効果素子（以下、MR素子とも記す。）を含み、回転磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。2つのブリッジ回路の出力信号の位相は、各ブリッジ回路の出力信号の周期の1/4だけ異なっている。回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度は、2つのブリッジ回路の出力信号に基づいて算出される。

【0004】

また、従来、位相が180°異なる一对の検出信号を出力する一对の磁気検出素子を備えた回転磁界センサは、種々提案されている。例えば、特許文献2には、エンコーダとセンサユニットとを備えた回転検出装置が記載されている。この回転検出装置において、エンコーダは、回転部材の回転中心と同心に設けられた被検出部を有し、この被検出部の磁気特性は、円周方向に関して交互に変化している。この回転検出装置では、センサユニットの検出部に、同種類的一对の磁気検出素子が、エンコーダの円周方向に関する位相を一致させると共に、磁束の流れ方向に関する位相を180°異ならせた状態で配置されている。

10

【0005】

特許文献2には、一对の磁気検出素子の出力信号を差動式ラインレシーバに入力することにより、ケーブル中を送られる信号に外部から加わる電氣的ノイズの影響を除くことができる旨が記載されている。

【0006】

また、特許文献3には、回転体の回転に伴って回転するマグネットと、第1および第2の磁気検出素子群とを備えた回転角度検出装置が記載されている。この回転角度検出装置において、マグネットは、円柱状に形成され、N極とS極の2極に平行着磁されている。第1および第2の磁気検出素子群は、それぞれ、マグネットの回転軸の周囲に90°間隔で配置された4つの磁気検出素子としてのホール素子で構成されている。第1の磁気検出素子群の4つのホール素子H1～H4と、第2の磁気検出素子群の4つのホール素子H5～H8は、45°間隔で交互に配置されている。第1の磁気検出素子群の4つのホール素子H1～H4は、互いに90°の位相差を有するサイン波形の信号を出力する。同様に、第2の磁気検出素子群の4つのホール素子H5～H8も、互いに90°の位相差を有するサイン波形の信号を出力する。

20

【0007】

特許文献3に記載された回転角度検出装置では、180°間隔にある2つのホール素子の出力信号から差分データを生成し、この差分データに基づいて回転体の回転角度を検出する。具体的には、この回転角度検出装置では、それぞれ180°間隔にある2つのホール素子の4つの組、すなわちH1, H2と、H3, H4と、H5, H6と、H7, H8のそれぞれから、差分データH1 - H2、H3 - H4、H6 - H5、H8 - H7を生成する。そして、差分データH1 - H2と差分データH3 - H4から、第1の磁気検出素子群によって検出された回転角度 θ_1 を算出し、差分データH6 - H5と差分データH8 - H7から、第2の磁気検出素子群によって検出された回転体の回転角度 θ_2 を算出する。

30

【0008】

特許文献3には、180°間隔にある2つのホール素子の出力信号から差分データを生成することにより、マグネットのセンターと、8つのホール素子が配置されたホールアレイのセンターとの間のずれをキャンセルすることができる旨が記載されている。また、特許文献3には、第1の磁気検出素子群によって検出された回転角度と、第2の磁気検出素子群によって検出された回転角度とを比較して、異常発生の有無を判定することが記載されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2003 - 65795号公報

【特許文献2】特開2009 - 186410号公報

50

【特許文献3】特開2005-315696号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

ところで、回転磁界センサでは、磁気検出素子に対して、検出すべき回転磁界の他に、検出すべき回転磁界以外の磁界（以下、ノイズ磁界と言う。）が印加される場合がある。ノイズ磁界としては、例えばモーターからの漏れ磁界や地磁気がある。このように磁気検出素子に対してノイズ磁界が印加される場合には、磁気検出素子は、回転磁界とノイズ磁界との合成磁界を検出することになる。そのため、検出すべき回転磁界の方向とノイズ磁界の方向が異なるときには、回転磁界センサの検出角度に誤差が生じる。例えば、磁界の大きさを磁束密度で表したときに、検出すべき回転磁界の大きさが20mTであり、ノイズ磁界の大きさが地磁気相当の0.05mTであり、ノイズ磁界の方向が検出すべき回転磁界の方向に直交している場合には、合成磁界の方向が、検出すべき回転磁界の方向に対して0.14°だけ異なり、その結果、回転磁界センサの検出角度に0.14°の誤差が生じる。このことから、例えば、回転磁界センサの検出角度に0.1°の角度精度（分解能）が要求される場合には、地磁気でさえも非常に大きなノイズ源となることが分かる。

10

【0011】

回転磁界センサにおいて、上述のようなノイズ磁界に起因した検出角度の誤差を低減するために、磁気検出素子と、回転磁界を発生する磁石とを、一体の磁気シールドで囲うという対策が考えられる。また、ノイズ磁界の発生源が分かっている場合には、磁気検出素子とノイズ磁界の発生源との間に磁気シールドを設けるという対策も考えられる。しかしながら、これらの対策では、磁気シールドを含めた回転磁界センサの設計が大掛かりになったり、回転磁界センサのコストが高くなったり、回転磁界センサの組立工程や設置に種々の制約が生じたりするという問題点がある。

20

【0012】

特許文献2に記載された回転検出装置では、電気的ノイズは、一对の磁気検出素子のそれぞれ出力信号に対して、正負の符号が同じ誤差を生じさせる。そのため、一对の磁気検出素子のそれぞれ出力信号の差を求めることにより、電気的ノイズに起因する検出角度の誤差を低減することができる。しかし、特許文献2に記載された回転検出装置では、ノイズ磁界は、一对の磁気検出素子のそれぞれ出力信号に対して、正負の符号が反対の誤差を生じさせる。そのため、一对の磁気検出素子のそれぞれ出力信号の差を求めることによつては、ノイズ磁界に起因する検出角度の誤差を低減することはできない。

30

【0013】

特許文献3に記載された回転角度検出装置では、180°間隔にある2つのホール素子の出力信号から差分データを生成することによって、ノイズ磁界に起因する検出角度の誤差を低減することが可能である。しかしながら、この回転角度検出装置では、1つの検出角度、すなわち角度1または2を得るためには、少なくとも、マグネットの回転軸の周囲に90°間隔で配置された4つの磁気検出素子（ホール素子）が必要である。そのため、特許文献3に記載された回転角度検出装置は、その用途が、4つの磁気検出素子を90°間隔で配置できるような場合に限定されるという問題点がある。

40

【0014】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、磁気検出素子の設置箇所を少なくしながら、ノイズ磁界に起因した検出角度の誤差を低減できるようにした回転磁界センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明の回転磁界センサは、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度を検出するものである。本発明の回転磁界センサは、回転磁界を発生する磁界発生部を備えている。磁界発生部が発生する回転磁界は、第1の位置における第1の部分磁界と第2の位置における第2の部分磁界とを含んでいる。第1の部分磁界と第2の部分磁界は

50

、磁界の方向が互いに 180° 異なり且つ同じ回転方向に回転する。本発明の回転磁界センサは、更に、第1の位置において、主成分として第1の部分磁界を含む第1の印加磁界の方向が第1の方向に対してなす第1の角度を検出するための第1の検出部と、第2の位置において、主成分として第2の部分磁界を含む第2の印加磁界の方向が第2の方向に対してなす第2の角度を検出するための第2の検出部とを備えている。

【0016】

第1の検出部は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子を含み、第1の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する第1および第2の検出回路と、第1および第2の検出回路の出力信号に基づいて第1の角度の検出値である第1の角度検出値を算出する第1の演算回路とを有している。

10

【0017】

第2の検出部は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子を含み、第2の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する第3および第4の検出回路と、第3および第4の検出回路の出力信号に基づいて第2の角度の検出値である第2の角度検出値を算出する第2の演算回路とを有している。

【0018】

第1ないし第4の検出回路の出力信号は、周期が互いに等しい。第2の検出回路の出力信号の位相は、第1の検出回路の出力信号の位相に対して、上記周期の $1/4$ の奇数倍だけ異なっている。第4の検出回路の出力信号の位相は、第3の検出回路の出力信号の位相に対して、上記周期の $1/4$ の奇数倍だけ異なっている。

20

【0019】

本発明の回転磁界センサは、更に、第1の角度検出値と第2の角度検出値とに基づいて、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度と対応関係を有する検出値を算出する第3の演算回路を備えている。

【0020】

本発明の回転磁界センサでは、磁界発生部は、第1の位置における第1の部分磁界と第2の位置における第2の部分磁界とを含む回転磁界を発生する。第1の部分磁界と第2の部分磁界は、磁界の方向が互いに 180° 異なり且つ同じ回転方向に回転する。本発明では、第1の検出部によって、第1の位置において、主成分として第1の部分磁界を含む第1の印加磁界の方向が第1の方向に対してなす第1の角度が検出される。また、第2の検出部によって、第2の位置において、主成分として第2の部分磁界を含む第2の印加磁界の方向が第2の方向に対してなす第2の角度が検出される。そして、第1の角度の検出値である第1の角度検出値と第2の角度の検出値である第2の角度検出値とに基づいて、第3の演算回路によって、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度と対応関係を有する検出値が算出される。

30

【0021】

本発明の回転磁界センサに対しては外部から、回転磁界以外のノイズ磁界が印加されてもよい。この場合、第1の印加磁界は、第1の部分磁界とノイズ磁界との合成磁界であり、第2の印加磁界は、第2の部分磁界とノイズ磁界との合成磁界であってもよい。本発明の回転磁界センサに対して外部からノイズ磁界が印加された場合には、ノイズ磁界に起因した第1の角度検出値の誤差と、ノイズ磁界に起因した第2の角度検出値の誤差は、正負の符号が反対の値になる。これにより、本発明によれば、ノイズ磁界に起因した検出角度の誤差を低減することが可能になる。

40

【0022】

また、本発明の回転磁界センサにおいて、第1の方向と第2の方向は、互いに 180° 異なってもよい。

【0023】

また、本発明の回転磁界センサにおいて、第1ないし第4の検出回路は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子として、直列に接続された一対の磁気検出素子を含んでもよい。この場合、第1ないし第4の検出回路は、それぞれ、直列に接続された第1の対

50

の磁気検出素子と、直列に接続された第2の対の磁気検出素子とを含むホイートストンブリッジ回路を有していてもよい。磁気検出素子は磁気抵抗効果素子であってもよい。磁気抵抗効果素子は、磁化方向が固定された磁化固定層と、印加される磁界の方向に応じて磁化の方向が変化する自由層と、磁化固定層と自由層の間に配置された非磁性層とを有していてもよい。また、第2の検出回路における磁気抵抗効果素子の磁化固定層の磁化方向は、第1の検出回路における磁気抵抗効果素子の磁化固定層の磁化方向に直交し、第4の検出回路における磁気抵抗効果素子の磁化固定層の磁化方向は、第3の検出回路における磁気抵抗効果素子の磁化固定層の磁化方向に直交していてもよい。

【0024】

また、本発明の回転磁界センサにおいて、第1の角度検出値は、第1の印加磁界の成分が第1の部分磁界のみであって、第1の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される第1の角度の理論値に対する第1の角度誤差を含み、第2の角度検出値は、第2の印加磁界の成分が第2の部分磁界のみであって、第2の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される第2の角度の理論値に対する第2の角度誤差を含んでいてもよい。第1の角度誤差と第2の角度誤差は、第1および第2の部分磁界の方向の変化に伴って互いに等しい誤差周期で周期的に変化し、且つ第1の角度誤差の変化は第1の角度検出値の変化に依存し、第2の角度誤差の変化は第2の角度検出値の変化に依存し、第1の角度検出値の位相と第2の角度検出値の位相は、誤差周期の1/2の奇数倍だけ異なってもよい。この場合、第1の方向と第2の方向は、第1および第2の部分磁界の回転方向について、誤差周期の1/2の奇数倍だけ異なってもよい。また、誤差周期は、各検出回路の出力信号の周期の1/4であってもよい。

【0025】

また、本発明の回転磁界センサにおいて、回転磁界は、更に、第3の位置における第3の部分磁界と第4の位置における第4の部分磁界とを含んでいてもよい。第3の部分磁界と第4の部分磁界は、磁界の方向が互いに180°異なり且つ第1および第2の部分磁界と同じ回転方向に回転する。この場合、本発明の回転磁界センサは、更に、第3の位置において、主成分として第3の部分磁界を含む第3の印加磁界の方向が第3の方向に対してなす第3の角度を検出するための第3の検出部と、第4の位置において、主成分として第4の部分磁界を含む第4の印加磁界の方向が第4の方向に対してなす第4の角度を検出するための第4の検出部とを備えていてもよい。

【0026】

第3の検出部は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子を含み、第3の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する第5および第6の検出回路と、第5および第6の検出回路の出力信号に基づいて第3の角度の検出値である第3の角度検出値を算出する第4の演算回路とを有している。第4の検出部は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子を含み、第4の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する第7および第8の検出回路と、第7および第8の検出回路の出力信号に基づいて第4の角度の検出値である第4の角度検出値を算出する第5の演算回路とを有している。第1ないし第8の検出回路の出力信号は、周期が互いに等しい。第6の検出回路の出力信号の位相は、第5の検出回路の出力信号の位相に対して、上記周期の1/4の奇数倍だけ異なっている。第8の検出回路の出力信号の位相は、第7の検出回路の出力信号の位相に対して、上記周期の1/4の奇数倍だけ異なっている。

【0027】

また、本発明の回転磁界センサは、更に、第3の角度検出値と第4の角度検出値とに基づいて、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度と対応関係を有する検出値を算出する第6の演算回路と、第3の演算回路によって算出された検出値と、第6の演算回路によって算出された検出値とに基づいて、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度の検出値を算出する第7の演算回路とを備えていてもよい。

【0028】

本発明の回転磁界センサが上記第3の検出部、第4の検出部、第6の演算回路および第

10

20

30

40

50

7の演算回路を備えている場合、回転磁界センサに対しては外部から、回転磁界以外のノイズ磁界が印加されてもよい。この場合、第1の印加磁界は、第1の部分磁界とノイズ磁界との合成磁界であり、第2の印加磁界は、第2の部分磁界とノイズ磁界との合成磁界であり、第3の印加磁界は、第3の部分磁界とノイズ磁界との合成磁界であり、第4の印加磁界は、第4の部分磁界とノイズ磁界との合成磁界であってもよい。また、この場合、第1の方向と第2の方向は互いに180°異なり、第3の方向と第4の方向は互いに180°異なってもよい。

【0029】

また、本発明の回転磁界センサが上記第3の検出部、第4の検出部、第6の演算回路および第7の演算回路を備えている場合、第1の角度検出値は、第1の印加磁界の成分が第1の部分磁界のみであって、第1の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される第1の角度の理論値に対する第1の角度誤差を含んでいてもよい。第2の角度検出値は、第2の印加磁界の成分が第2の部分磁界のみであって、第2の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される第2の角度の理論値に対する第2の角度誤差を含んでいてもよい。第3の角度検出値は、第3の印加磁界の成分が第3の部分磁界のみであって、第3の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される第3の角度の理論値に対する第3の角度誤差を含んでいてもよい。第4の角度検出値は、第4の印加磁界の成分が第4の部分磁界のみであって、第4の部分磁界の方向が理想的に回転する場合に想定される第4の角度の理論値に対する第4の角度誤差を含んでいてもよい。

【0030】

第1ないし第4の角度誤差は、第1ないし第4の部分磁界の方向の変化に伴って互いに等しい誤差周期で周期的に変化し、且つ第1ないし第4の角度誤差の変化は、それぞれ第1ないし第4の部分磁界の方向の変化に依存する。この場合、第3の位置と第4の位置は、それぞれ、第1の位置と第2の位置に対して、誤差周期の1/2の奇数倍に相当する量だけずれていてもよい。

【0031】

また、本発明の回転磁界センサにおいて、第1ないし第4の角度検出値がそれぞれ上記角度誤差を含む場合、誤差周期は、回転磁界の方向の回転の周期の1/2であってもよい。また、第1の角度誤差は、第1の部分磁界の方向の変化に依存して上記誤差周期で変化する成分と、第1の角度検出値の変化に依存して第2の誤差周期で変化する成分とを含んでいてもよい。第2の角度誤差は、第2の部分磁界の方向の変化に依存して上記誤差周期で変化する成分と、第2の角度検出値の変化に依存して第2の誤差周期で変化する成分とを含んでいてもよい。第3の角度誤差は、第3の部分磁界の方向の変化に依存して上記誤差周期で変化する成分と、第3の角度検出値の変化に依存して第2の誤差周期で変化する成分とを含んでいてもよい。第4の角度誤差は、第4の部分磁界の方向の変化に依存して上記誤差周期で変化する成分と、第4の角度検出値の変化に依存して第2の誤差周期で変化する成分とを含んでいてもよい。この場合、第1の角度検出値の位相と第2の角度検出値の位相は、第2の誤差周期の1/2の奇数倍だけ異なり、第3の角度検出値の位相と第4の角度検出値の位相は、第2の誤差周期の1/2の奇数倍だけ異なってもよい。

【発明の効果】

【0032】

本発明では、前述のように、回転磁界センサに対して外部からノイズ磁界が印加された場合には、ノイズ磁界に起因した第1の角度検出値の誤差と、ノイズ磁界に起因した第2の角度検出値の誤差は、正負の符号が反対の値になる。これにより、本発明によれば、ノイズ磁界に起因した検出角度の誤差を低減することが可能になる。また、本発明では、第1および第2の位置に第1および第2の検出部を配置することにより、上記の効果が得られる。これらのことから、本発明によれば、磁気検出素子の設置箇所を少なくしながら、ノイズ磁界に起因した検出角度の誤差を低減することが可能になるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す側面図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施の形態に係る回転磁界センサの構成を示す回路図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施の形態における方向と角度の定義を示す説明図である。

【図 5】本発明の第 1 の実施の形態における第 1 および第 2 の印加磁界とノイズ磁界との関係を模式的に示す説明図である。

【図 6】図 3 に示した回転磁界センサにおける 1 つの M R 素子の一部を示す斜視図である。

10

【図 7】本発明の第 1 の実施の形態における第 1 の変形例の回転磁界センサの概略の構成を示す側面図である。

【図 8】本発明の第 1 の実施の形態における第 2 の変形例の回転磁界センサの概略の構成を示す側面図である。

【図 9】本発明の第 2 の実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

【図 10】本発明の第 2 の実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す側面図である。

【図 11】本発明の第 2 の実施の形態における変形例の回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

20

【図 12】本発明の第 3 の実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

【図 13】本発明の第 3 の実施の形態における変形例の回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

【図 14】本発明の第 4 の実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

【図 15】本発明の第 4 の実施の形態に係る回転磁界センサにおける検出回路の出力信号の波形の歪みの態様を示す波形図である。

【図 16】本発明の第 4 の実施の形態における第 1 の角度検出値と第 1 の角度誤差との関係を示す波形図である。

30

【図 17】本発明の第 4 の実施の形態における角度誤差低減の作用を示す説明図である。

【図 18】本発明の第 4 の実施の形態における角度の検出値と角度誤差との関係を示す波形図である。

【図 19】本発明の第 5 の実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

【図 20】本発明の第 5 の実施の形態における変形例の回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

【図 21】本発明の第 5 の実施の形態に係る回転磁界センサの構成を示すブロック図である。

【図 22】本発明の第 5 の実施の形態における第 1 の部分磁界、第 1 の角度検出値および第 1 の角度誤差の関係を示す波形図である。

40

【図 23】本発明の第 5 の実施の形態における角度誤差低減の作用を示す説明図である。

【図 24】本発明の第 5 の実施の形態における角度の検出値と角度誤差との関係を示す波形図である。

【図 25】本発明の第 6 の実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

【図 26】本発明の第 6 の実施の形態における変形例の回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

50

[第 1 の実施の形態]

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。始めに、図 1、図 2 および図 4 を参照して、本発明の第 1 の実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成について説明する。図 1 は、本実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。図 2 は、本実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す側面図である。図 4 は、本実施の形態における方向と角度の定義を示す説明図である。

【 0 0 3 5 】

本実施の形態に係る回転磁界センサ 1 は、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度を検出するものである。回転磁界は、第 1 の位置における第 1 の部分磁界 MF 1 と第 2 の位置における第 2 の部分磁界 MF 2 とを含んでいる。第 1 の部分磁界 MF 1 と第 2 の部分磁界 MF 2 は、磁界の方向が互いに 180° 異なり且つ同じ回転方向に回転する。

10

【 0 0 3 6 】

図 1 および図 2 に示したように、回転磁界センサ 1 は、回転磁界を発生する磁界発生部 2 と、第 1 の位置において、主成分として第 1 の部分磁界 MF 1 を含む第 1 の印加磁界の方向が第 1 の方向に対してなす第 1 の角度を検出するための第 1 の検出部 10 と、第 2 の位置において、主成分として第 2 の部分磁界 MF 2 を含む第 2 の印加磁界の方向が第 2 の方向に対してなす第 2 の角度を検出するための第 2 の検出部 20 とを備えている。なお、図 1 および図 2 では、便宜上、第 1 の部分磁界 MF 1 を示す矢印と第 1 の検出部 10 とを離れた位置に記載し、第 2 の部分磁界 MF 2 を示す矢印と第 2 の検出部 20 とを離れた位置に記載している。しかし、実際には、第 1 の検出部 10 は、第 1 の部分磁界 MF 1 の発生位置である第 1 の位置に配置され、第 2 の検出部 20 は、第 2 の部分磁界 MF 2 の発生位置である第 2 の位置に配置されている。方向と角度の定義については、後で詳しく説明する。

20

【 0 0 3 7 】

磁界発生部 2 は、回転位置を検出する対象物である回転軸 6 の軸方向の一端部に取り付けられた円板部 5 と、この円板部 5 に取り付けられた一对の磁石 3, 4 とを備えている。回転軸 6 は、その中心軸を中心として回転する。それに連動して、磁界発生部 2 も、回転軸 6 の中心軸を含む回転中心 C を中心として回転する。一对の磁石 3, 4 は、回転中心 C を含む仮想の平面に対して対称な位置に配置されている。ここで、円板部 5 に関して、図 1 および図 2 における下側の面を「下面」と定義し、図 1 および図 2 における上側の面を「上面」と定義する。円板部 5 の上面および下面は、いずれも回転中心 C に垂直である。磁石 3, 4 は、円板部 5 の上面に固定されている。円板部 5 の下面には、回転軸 6 の一端部が固定されている。磁界発生部 2 では、回転中心 C を中心として磁石 3, 4 が回転することにより、磁石 3, 4 が発生する磁界に基づいて、回転磁界が発生される。

30

【 0 0 3 8 】

磁石 3, 4 は、それぞれ N 極と S 極とを有している。磁石 3 の N 極と S 極は、円板部 5 の上面の上に、S 極、N 極の順に配置されている。磁石 4 の N 極と S 極は、円板部 5 の上面の上に、N 極、S 極の順に配置されている。一对の磁石 3, 4 が発生する回転磁界の方向は、磁界発生部 2 が回転することによって、回転中心 C を中心として回転する。図 1 および図 2 では、磁石 3 の N 極から磁石 4 の S 極に向かう磁束の主要部分と、磁石 4 の N 極から磁石 3 の S 極に向かう磁束の主要部分を、記号 M を付した曲線で表している。主に磁石 3 の N 極から磁石 4 の S 極に向かう磁束が、第 1 の位置における第 1 の部分磁界 MF 1 を発生させる。また、主に磁石 4 の N 極から磁石 3 の S 極に向かう磁束が、第 2 の位置における第 2 の部分磁界 MF 2 を発生させる。

40

【 0 0 3 9 】

第 1 および第 2 の検出部 10, 20 は、円板部 5 の上面の上方において、磁石 3 と磁石 4 との間に配置されている。本実施の形態では、特に、第 1 の検出部 10 は、回転中心 C 上における第 1 の部分磁界 MF 1 の発生位置である第 1 の位置に配置され、第 2 の検出部 20 は、回転中心 C 上における第 2 の部分磁界 MF 2 の発生位置である第 2 の位置に配置

50

されている。なお、図1および図2では、第1の検出部10と第2の検出部20を別体として描いているが、第1の検出部10と第2の検出部20は、それぞれ第1の位置と第2の位置に配置されていれば、一体化されていてもよい。本実施の形態では、第1の部分磁界MF1の方向は、磁石3のN極から磁石4のS極に向かう方向であり、第2の部分磁界MF2の方向は、磁石4のN極から磁石3のS極に向かう方向である。第1の部分磁界MF1の方向と第2の部分磁界MF2の方向は、互いに180°異なっている。磁界発生部2が回転すると、第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2は、同じ回転方向に回転する。

【0040】

ここで、図4を参照して、本実施の形態における方向と角度の定義について説明する。図4において(a)は、第1の位置における方向と角度の定義を示している。図4において(b)は、第2の位置における方向と角度の定義を示している。まず、図1および図2に示した回転中心Cに平行で、円板部5の上面から離れる方向をZ方向と定義する。次に、Z方向に垂直な仮定の平面上において、互いに直交する2つの方向をX方向とY方向と定義する。図4では、X方向を右側に向かう方向として表し、Y方向を上側に向かう方向として表している。また、X方向とは反対の方向を-X方向と定義し、Y方向とは反対の方向を-Y方向と定義する。

【0041】

第1の位置は、第1の検出部10が第1の印加磁界を検出する位置である。本実施の形態では、第1の位置は、円板部5の上面の上方における回転中心C上の位置である。第1の方向D1は、第1の検出部10が第1の印加磁界の方向DM1を表すときの基準の方向である。本実施の形態では、第1の方向D1はY方向と一致している。第1の印加磁界は、主成分として第1の部分磁界MF1を含んでいる。第1の印加磁界の方向DM1と第1の部分磁界MF1の方向は、図4(a)において時計回り方向に回転するものとする。第1の印加磁界の方向DM1が第1の方向D1に対してなす第1の角度を記号 θ_1 で表し、第1の部分磁界MF1の方向が第1の方向D1に対してなす角度を記号 θ_{1m} (図4(a)では図示せず)で表す。第1の印加磁界の成分が第1の部分磁界MF1のみであるときには、 θ_1 は θ_{1m} と一致する。角度 θ_1 、 θ_{1m} は、第1の方向D1から時計回り方向に見たときに正の値で表し、第1の方向D1から反時計回り方向に見たときに負の値で表す。

【0042】

第2の位置は、第2の検出部20が第2の印加磁界を検出する位置である。本実施の形態では、第2の位置は、円板部5の上面の上方における回転中心C上の位置であり、第1の位置よりも円板部5の上面に近い位置である。第2の方向D2は、第2の検出部20が第2の印加磁界の方向DM2を表すときの基準の方向である。本実施の形態では、第1の方向D1と第2の方向D2は、互いに180°異なっている。また、本実施の形態では、第2の方向D2は-Y方向と一致している。第2の印加磁界は、主成分として第2の部分磁界MF2を含んでいる。第2の印加磁界の方向DM2と第2の部分磁界MF2の方向は、図4(b)において時計回り方向に回転するものとする。第2の印加磁界の方向DM2が第2の方向D2に対してなす第2の角度を記号 θ_2 で表し、第2の部分磁界MF2の方向が第2の方向D2に対してなす角度を記号 θ_{2m} (図4(b)では図示せず)で表す。第2の印加磁界の成分が第2の部分磁界MF2のみであるときには、 θ_2 は θ_{2m} と一致する。角度 θ_2 、 θ_{2m} は、第2の方向D2から時計回り方向に見たときに正の値で表し、第2の方向D2から反時計回り方向に見たときに負の値で表す。本実施の形態では、第1の方向D1と第2の方向D2は互いに180°異なり、第1の部分磁界MF1の方向と第2の部分磁界MF2の方向も互いに180°異なっていることから、角度 θ_{1m} と角度 θ_{2m} は等しくなる。

【0043】

基準位置と基準方向は、それぞれ、第1の位置と第1の方向D1と一致していてもよいし、第2の位置と第2の方向D2と一致していてもよいし、これらの位置および方向と異

10

20

30

40

50

なる任意の位置と方向であってもよい。

【0044】

次に、図3を参照して、回転磁界センサ1の構成について詳しく説明する。図3は、回転磁界センサ1の構成を示す回路図である。回転磁界センサ1は、前述のように、第1の検出部10と第2の検出部20とを備えている。第1の検出部10は、第1および第2の検出回路11, 12と、第1の演算回路13とを有している。第1および第2の検出回路11, 12は、それぞれ第1の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。第1の演算回路13は、第1および第2の検出回路11, 12の出力信号に基づいて第1の角度 θ_1 の検出値である第1の角度検出値 s_1 を算出する。

【0045】

第2の検出部20の構成は、基本的には、第1の検出部10と同様である。すなわち、第2の検出部20は、第3および第4の検出回路21, 22と、第2の演算回路23とを有している。第3および第4の検出回路21, 22は、それぞれ第2の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。第2の演算回路23は、第3および第4の検出回路21, 22の出力信号に基づいて第2の角度 θ_2 の検出値である第2の角度検出値 s_2 を算出する。

【0046】

第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22の出力信号は、周期が互いに等しい。以下の説明では、第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22の出力信号の周期を周期Tと記す。第2の検出回路12の出力信号の位相は、第1の検出回路11の出力信号の位相に対して、周期Tの1/4の奇数倍だけ異なっている。第4の検出回路22の出力信号の位相は、第3の検出回路21の出力信号の位相に対して、周期Tの1/4の奇数倍だけ異なっている。

【0047】

本実施の形態では、第1の部分磁界MF1の方向と第2の部分磁界MF2の方向が互いに180°異なり、第1の方向D1と第2の方向D2も互いに180°異なっていることから、第1の角度検出値 s_1 と第2の角度検出値 s_2 の位相は等しくなる。

【0048】

回転磁界センサ1は、更に、第1の検出部10によって得られた第1の角度検出値 s_1 と第2の検出部20によって得られた第2の角度検出値 s_2 とに基づいて、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度と対応関係を有する検出値 s を算出する第3の演算回路30を備えている。本実施の形態では、第3の演算回路30は、下記の式(1)によって、 s を算出する。

【0049】

$$s = (s_1 + s_2) / 2 \quad \dots (1)$$

【0050】

第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22は、少なくとも1つの磁気検出素子を含んでいる。第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子として、直列に接続された一対の磁気検出素子を含んでもよい。この場合、第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22は、それぞれ、直列に接続された第1の対の磁気検出素子と、直列に接続された第2の対の磁気検出素子を含むホイートストンブリッジ回路を有していてもよい。以下、第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22が、それぞれ上記ホイートストンブリッジ回路を有している場合の例について説明する。

【0051】

第1の検出回路11は、ホイートストンブリッジ回路14と、差分検出器15とを有している。ホイートストンブリッジ回路14は、電源ポートV1と、グランドポートG1と、2つの出力ポートE11, E12と、直列に接続された第1の対の磁気検出素子R11, R12と、直列に接続された第2の対の磁気検出素子R13, R14とを含んでいる。磁気検出素子R11, R13の各一端は、電源ポートV1に接続されている。磁気検出素

10

20

30

40

50

子 R 1 1 の他端は、磁気検出素子 R 1 2 の一端と出力ポート E 1 1 に接続されている。磁気検出素子 R 1 3 の他端は、磁気検出素子 R 1 4 の一端と出力ポート E 1 2 に接続されている。磁気検出素子 R 1 2 , R 1 4 の各他端は、グランドポート G 1 に接続されている。電源ポート V 1 には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポート G 1 はグランドに接続される。差分検出器 1 5 は、出力ポート E 1 1 , E 1 2 の電位差に対応する信号を第 1 の演算回路 1 3 に出力する。

【 0 0 5 2 】

第 2 の検出回路 1 2 は、ホイートストンブリッジ回路 1 6 と、差分検出器 1 7 とを有している。ホイートストンブリッジ回路 1 6 は、電源ポート V 2 と、グランドポート G 2 と、2 つの出力ポート E 2 1 , E 2 2 と、直列に接続された第 1 の対の磁気検出素子 R 2 1 , R 2 2 と、直列に接続された第 2 の対の磁気検出素子 R 2 3 , R 2 4 とを含んでいる。磁気検出素子 R 2 1 , R 2 3 の各一端は、電源ポート V 2 に接続されている。磁気検出素子 R 2 1 の他端は、磁気検出素子 R 2 2 の一端と出力ポート E 2 1 に接続されている。磁気検出素子 R 2 3 の他端は、磁気検出素子 R 2 4 の一端と出力ポート E 2 2 に接続されている。磁気検出素子 R 2 2 , R 2 4 の各他端は、グランドポート G 2 に接続されている。電源ポート V 2 には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポート G 2 はグランドに接続される。差分検出器 1 7 は、出力ポート E 2 1 , E 2 2 の電位差に対応する信号を第 1 の演算回路 1 3 に出力する。

【 0 0 5 3 】

第 3 の検出回路 2 1 は、ホイートストンブリッジ回路 2 4 と、差分検出器 2 5 とを有している。ホイートストンブリッジ回路 2 4 は、電源ポート V 3 と、グランドポート G 3 と、2 つの出力ポート E 3 1 , E 3 2 と、直列に接続された第 1 の対の磁気検出素子 R 3 1 , R 3 2 と、直列に接続された第 2 の対の磁気検出素子 R 3 3 , R 3 4 とを含んでいる。磁気検出素子 R 3 1 , R 3 3 の各一端は、電源ポート V 3 に接続されている。磁気検出素子 R 3 1 の他端は、磁気検出素子 R 3 2 の一端と出力ポート E 3 1 に接続されている。磁気検出素子 R 3 3 の他端は、磁気検出素子 R 3 4 の一端と出力ポート E 3 2 に接続されている。磁気検出素子 R 3 2 , R 3 4 の各他端は、グランドポート G 3 に接続されている。電源ポート V 3 には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポート G 3 はグランドに接続される。差分検出器 2 5 は、出力ポート E 3 1 , E 3 2 の電位差に対応する信号を第 2 の演算回路 2 3 に出力する。

【 0 0 5 4 】

第 4 の検出回路 2 2 は、ホイートストンブリッジ回路 2 6 と、差分検出器 2 7 とを有している。ホイートストンブリッジ回路 2 6 は、電源ポート V 4 と、グランドポート G 4 と、2 つの出力ポート E 4 1 , E 4 2 と、直列に接続された第 1 の対の磁気検出素子 R 4 1 , R 4 2 と、直列に接続された第 2 の対の磁気検出素子 R 4 3 , R 4 4 とを含んでいる。磁気検出素子 R 4 1 , R 4 3 の各一端は、電源ポート V 4 に接続されている。磁気検出素子 R 4 1 の他端は、磁気検出素子 R 4 2 の一端と出力ポート E 4 1 に接続されている。磁気検出素子 R 4 3 の他端は、磁気検出素子 R 4 4 の一端と出力ポート E 4 2 に接続されている。磁気検出素子 R 4 2 , R 4 4 の各他端は、グランドポート G 4 に接続されている。電源ポート V 4 には、所定の大きさの電源電圧が印加される。グランドポート G 4 はグランドに接続される。差分検出器 2 7 は、出力ポート E 4 1 , E 4 2 の電位差に対応する信号を第 2 の演算回路 2 3 に出力する。

【 0 0 5 5 】

本実施の形態では、ホイートストンブリッジ回路（以下、ブリッジ回路と記す。）1 4 , 1 6 , 2 4 , 2 6 に含まれる全ての磁気検出素子として、MR 素子、特に TMR 素子を用いている。なお、TMR 素子の代りに GMR 素子を用いてもよい。TMR 素子または GMR 素子は、磁化方向が固定された磁化固定層と、印加される磁界の方向に応じて磁化の方向が変化する自由層と、磁化固定層と自由層の間に配置された非磁性層とを有している。TMR 素子では、非磁性層はトンネルバリア層である。GMR 素子では、非磁性層は非磁性導電層である。TMR 素子または GMR 素子では、自由層の磁化の方向が磁化固定層

10

20

30

40

50

の磁化の方向に対してなす角度に応じて抵抗値が変化し、この角度が 0° のときに抵抗値は最小値となり、角度が 180° のときに抵抗値は最大値となる。以下の説明では、ブリッジ回路14, 16, 24, 26に含まれる磁気検出素子をMR素子と記す。図3において、塗りつぶした矢印は、MR素子における磁化固定層の磁化の方向を表し、白抜きの矢印は、MR素子における自由層の磁化の方向を表している。

【0056】

第1の検出回路11では、MR素子R11, R14における磁化固定層の磁化の方向はX方向であり、MR素子R12, R13における磁化固定層の磁化の方向は-X方向である。この場合、第1の印加磁界のX方向の成分の強度に応じて、出力ポートE11, E12の電位差が変化する。従って、第1の検出回路11は、第1の印加磁界のX方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。図4(a)に示した第1の角度 θ_1 が 0° のときと 180° のときは、第1の印加磁界のX方向の成分の強度は0である。第1の角度 θ_1 が 0° よりも大きく 180° よりも小さいときは、第1の印加磁界のX方向の成分の強度は正の値である。第1の角度 θ_1 が 180° よりも大きく 360° よりも小さいときは、第1の印加磁界のX方向の成分の強度は負の値である。

10

【0057】

第2の検出回路12では、MR素子R21, R24における磁化固定層の磁化の方向はY方向であり、MR素子R22, R23における磁化固定層の磁化の方向は-Y方向である。この場合、第1の印加磁界のY方向の成分の強度に応じて、出力ポートE21, E22の電位差が変化する。従って、第2の検出回路12は、第1の印加磁界のY方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。図4(a)に示した第1の角度 θ_1 が 90° のときと 270° のときは、第1の印加磁界のY方向の成分の強度は0である。第1の角度 θ_1 が 0° 以上 90° 未満のとき、および 270° より大きく 360° 以下のときは、第1の印加磁界のY方向の成分の強度は正の値である。第1の角度 θ_1 が 90° よりも大きく 270° よりも小さいときは、第1の印加磁界のY方向の成分の強度は負の値である。

20

【0058】

図3に示した例では、第2の検出回路12におけるMR素子の磁化固定層の磁化方向は、第1の検出回路11におけるMR素子の磁化固定層の磁化方向に直交している。理想的には、第1の検出回路11の出力信号の波形はサイン(Sine)波形になり、第2の検出回路12の出力信号の波形はコサイン(Cosine)波形になる。この場合、第2の検出回路12の出力信号の位相は、第1の検出回路11の出力信号の位相に対して、周期Tの $1/4$ だけ異なっている。ここで、第1の検出回路11の出力信号を $\sin \theta_1 s$ と表し、第2の検出回路12の出力信号を $\cos \theta_1 s$ と表すと、第1の角度検出値 $\theta_1 s$ は、下記の式(2)によって算出することができる。なお、“atan”は、アークタンジェントを表す。

30

【0059】

$$\theta_1 s = \text{atan}(\sin \theta_1 s / \cos \theta_1 s) \quad \dots (2)$$

【0060】

なお、 360° の範囲内で、式(2)における $\theta_1 s$ の解には、 180° 異なる2つの値がある。しかし、 $\sin \theta_1 s$ と $\cos \theta_1 s$ の正負の組み合わせにより、 $\theta_1 s$ の真の値が、式(2)における $\theta_1 s$ の2つの解のいずれであるかを判別することができる。すなわち、 $\sin \theta_1 s$ が正の値のときは、 $\theta_1 s$ は 0° よりも大きく 180° よりも小さい。 $\sin \theta_1 s$ が負の値のときは、 $\theta_1 s$ は 180° よりも大きく 360° よりも小さい。 $\cos \theta_1 s$ が正の値のときは、 $\theta_1 s$ は、 0° 以上 90° 未満、および 270° より大きく 360° 以下の範囲内である。 $\cos \theta_1 s$ が負の値のときは、 $\theta_1 s$ は、 90° よりも大きく 270° よりも小さい。第1の演算回路13は、式(2)と、上記の $\sin \theta_1 s$ と $\cos \theta_1 s$ の正負の組み合わせの判定により、 360° の範囲内で $\theta_1 s$ を求める。なお、第2の検出回路12の出力信号の位相が、第1の検出回路11の出力信号の位相に対して、周期Tの $1/4$ だけ異なる場合に限らず、第2の検出回路12の出力

40

50

信号の位相が、第1の検出回路11の出力信号の位相に対して、周期Tの1/4の奇数倍だけ異なっていれば、 t_1 を求めることができる。

【0061】

第3の検出回路21では、MR素子R31, R34における磁化固定層の磁化の方向は-X方向であり、MR素子R32, R33における磁化固定層の磁化の方向はX方向である。この場合、第2の印加磁界の-X方向の成分の強度に応じて、出力ポートE31, E32の電位差が変化する。従って、第3の検出回路21は、第2の印加磁界の-X方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。図4(b)に示した第2の角度 θ_2 が0°のときと180°のときは、第2の印加磁界の-X方向の成分の強度は0である。第2の角度 θ_2 が0°よりも大きく180°よりも小さいときは、第2の印加磁界の-X方向の成分の強度は正の値である。第2の角度 θ_2 が180°よりも大きく360°よりも小さいときは、第2の印加磁界の-X方向の成分の強度は負の値である。

10

【0062】

第4の検出回路22では、MR素子R41, R44における磁化固定層の磁化の方向は-Y方向であり、MR素子R42, R43における磁化固定層の磁化の方向はY方向である。この場合、第2の印加磁界の-Y方向の成分の強度に応じて、出力ポートE41, E42の電位差が変化する。従って、第4の検出回路22は、第2の印加磁界の-Y方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。図4(b)に示した第2の角度 θ_2 が90°のときと270°のときは、第2の印加磁界の-Y方向の成分の強度は0である。第2の角度 θ_2 が0°以上90°未満のとき、および270°より大きく360°以下のときは、第2の印加磁界の-Y方向の成分の強度は正の値である。第2の角度 θ_2 が90°よりも大きく270°よりも小さいときは、第2の印加磁界の-Y方向の成分の強度は負の値である。

20

【0063】

図3に示した例では、第4の検出回路22におけるMR素子の磁化固定層の磁化方向は、第3の検出回路21におけるMR素子の磁化固定層の磁化方向に直交している。理想的には、第3の検出回路21の出力信号の波形はサイン(Sine)波形になり、第4の検出回路22の出力信号の波形はコサイン(Cosine)波形になる。この場合、第4の検出回路22の出力信号の位相は、第3の検出回路21の出力信号の位相に対して、周期Tの1/4だけ異なっている。ここで、第3の検出回路21の出力信号を $\sin 2\pi s$ と表し、第4の検出回路22の出力信号を $\cos 2\pi s$ と表すと、第2の角度検出値 t_2 は、下記の式(3)によって算出することができる。

30

【0064】

$$t_2 = \arctan(\sin 2\pi s / \cos 2\pi s) \quad \dots (3)$$

【0065】

第2の演算回路23は、前述の t_1 の求め方と同様に、式(3)と、 $\sin 2\pi s$ と $\cos 2\pi s$ の正負の組み合わせの判定により、360°の範囲内で t_2 を求める。なお、第4の検出回路22の出力信号の位相が、第3の検出回路21の出力信号の位相に対して、周期Tの1/4だけ異なる場合に限らず、第4の検出回路22の出力信号の位相が、第3の検出回路21の出力信号の位相に対して、周期Tの1/4の奇数倍だけ異なっていれば、 t_2 を求めることができる。

40

【0066】

第1ないし第3の演算回路13, 23, 30は、例えば、1つのマイクロコンピュータによって実現することができる。

【0067】

次に、図6を参照して、MR素子の構成の一例について説明する。図6は、図3に示した回転磁界センサ1における1つのMR素子の一部を示す斜視図である。この例では、1つのMR素子は、複数の下部電極と、複数のMR膜と、複数の上部電極とを有している。複数の下部電極42は図示しない基板上に配置されている。個々の下部電極42は細長い形状を有している。下部電極42の長手方向に隣接する2つの下部電極42の間には、間

50

隙が形成されている。図6に示したように、下部電極42の上面において、長手方向の両端の近傍に、それぞれMR膜50が配置されている。MR膜50は、下部電極42側から順に積層された自由層51、非磁性層52、磁化固定層53および反強磁性層54を含んでいる。自由層51は、下部電極42に電氣的に接続されている。反強磁性層54は、反強磁性材料よりなり、磁化固定層53との間で交換結合を生じさせて、磁化固定層53の磁化の方向を固定する。複数の上部電極43は、複数のMR膜50の上に配置されている。個々の上部電極43は細長い形状を有し、下部電極42の長手方向に隣接する2つの下部電極42上に配置されて隣接する2つのMR膜50の反強磁性層54同士を電氣的に接続する。このような構成により、図6に示したMR素子は、複数の下部電極42と複数の上部電極43とによって直列に接続された複数のMR膜50を有している。なお、MR膜50における層51～54の配置は、図6に示した配置とは上下が反対でもよい。

10

【0068】

次に、図3ないし図5を参照して、回転磁界センサ1の作用および効果について説明する。回転磁界センサ1では、第1の検出部10によって、第1および第2の検出回路11, 12の出力信号に基づいて第1の角度 θ_1 の検出値である第1の角度検出値 θ_1s を求める。また、第2の検出部20によって、第3および第4の検出回路21, 22の出力信号に基づいて第2の角度 θ_2 の検出値である第2の角度検出値 θ_2s を求める。そして、第1の角度検出値 θ_1s と第2の角度検出値 θ_2s とに基づいて、第3の演算回路30によって、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度と対応関係を有する検出値 s を算出する。

20

【0069】

本実施の形態によれば、回転磁界センサ1に対して外部から、回転磁界以外のノイズ磁界が印加された場合であっても、ノイズ磁界に起因した検出値 s の誤差を低減することが可能になる。以下、これについて詳しく説明する。なお、以下の説明では、上記のノイズ磁界をノイズ磁界 H_{ext} と記す。図4において記号 H_{ext} を付した矢印は、ノイズ磁界 H_{ext} の一例を示している。

【0070】

まず、図5を参照して、第1および第2の印加磁界とノイズ磁界 H_{ext} との関係について説明する。図5は、第1および第2の印加磁界とノイズ磁界 H_{ext} との関係を模式的に示す説明図である。ノイズ磁界 H_{ext} がない場合には、第1の印加磁界の成分は第1の部分磁界MF1のみであり、第2の印加磁界の成分は第2の部分磁界MF2のみである。図5において、記号AMF1aを付した矢印は、この場合における第1の印加磁界を表し、記号AMF2aを付した矢印は、この場合における第2の印加磁界を表している。図5に示したように、第1の印加磁界AMF1aの方向と第2の印加磁界AMF2aの方向は、第1の部分磁界MF1の方向と第2の部分磁界MF2の方向と同様に、互いに 180° 異なっている。

30

【0071】

ノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合には、第1の印加磁界は、第1の部分磁界MF1とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界となり、第2の印加磁界は、第2の部分磁界MF2とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界となる。図5において、記号AMF1bを付した矢印は、この場合における第1の印加磁界を表し、記号AMF2bを付した矢印は、この場合における第2の印加磁界を表している。

40

【0072】

次に、第1および第2の角度検出値 θ_1s , θ_2s とノイズ磁界 H_{ext} との関係について説明する。ノイズ磁界 H_{ext} がない場合には、第1の角度検出値 θ_1s は、第1の印加磁界AMF1a、すなわち第1の部分磁界MF1の方向が第1の方向D1に対してなす角度 θ_1m と等しくなる。ノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合には、第1の角度検出値 θ_1s は、第1の印加磁界AMF1b、すなわち第1の部分磁界MF1とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界が第1の方向D1に対してなす角度と等しくなる。この合成磁界が第1の方向D1に対してなす角度と角度 θ_1m との差は、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して生じるもので

50

あり、角度検出値 $1s$ の誤差となるものである。本実施の形態では、この誤差を第1のノイズ誤差と呼び、記号 d_{1n} で表す。図5には、 d_{1n} も示している。

【0073】

同様に、ノイズ磁界 H_{ext} がない場合には、第2の角度検出値 $2s$ は、第2の印加磁界 AMF_{2a} 、すなわち第2の部分磁界 MF_2 の方向が第2の方向 D_2 に対してなす角度 $2m$ と等しくなる。ノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合には、第2の角度検出値 $2s$ は、第2の印加磁界 AMF_{2b} 、すなわち第2の部分磁界 MF_2 とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界が第2の方向 D_2 に対してなす角度と等しくなる。この合成磁界が第2の方向 D_2 に対してなす角度と角度 $2m$ との差は、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して生じるものであり、角度検出値 $2s$ の誤差となるものである。本実施の形態では、この誤差を第2のノイズ誤差と呼び、記号 d_{2n} で表す。図5には、 d_{2n} も示している。

10

【0074】

なお、第1のノイズ誤差 d_{1n} は、第1の部分磁界 MF_1 から時計回り方向に見たときに正の値で表し、第1の部分磁界 MF_1 から反時計回り方向に見たときに負の値で表すものとする。また、第2のノイズ誤差 d_{2n} は、第1のノイズ誤差 d_{1n} と同様に、第2の部分磁界 MF_2 から時計回り方向に見たときに正の値で表し、第2の部分磁界 MF_2 から反時計回り方向に見たときに負の値で表すものとする。

【0075】

図5に示した例では、第1の印加磁界 AMF_{1b} の方向は、第1の部分磁界 MF_1 の方向に対して、図5における反時計回り方向に第1のノイズ誤差 d_{1n} の絶対値 $|d_{1n}|$ だけ異なっている。また、第2の印加磁界 AMF_{2b} の方向は、第2の部分磁界 MF_2 の方向に対して、図5における時計回り方向に第2のノイズ誤差 d_{2n} の絶対値 $|d_{2n}|$ だけ異なっている。この場合、第1の角度検出値 $1s$ と第2の角度検出値 $2s$ は、それぞれ下記の式(4)、(5)で表される。

20

【0076】

$$1s = 1m - |d_{1n}| \quad \dots (4)$$

$$2s = 2m + |d_{2n}| \quad \dots (5)$$

【0077】

次に、検出値 s とノイズ磁界 H_{ext} との関係について説明する。前述のように、第3の演算回路30は、第1の角度検出値 $1s$ と第2の角度検出値 $2s$ とに基づいて、式(1)によって、検出値 s を算出する。式(1)に、式(4)、(5)を代入すると、下記の式(6)が得られる。

30

【0078】

$$\begin{aligned} s &= (1s + 2s) / 2 \\ &= (1m - |d_{1n}| + 2m + |d_{2n}|) / 2 \\ &= (1m + 2m) / 2 + (-|d_{1n}| + |d_{2n}|) / 2 \quad \dots (6) \end{aligned}$$

【0079】

前述のように、角度 $1m$ と角度 $2m$ は等しくなる。ここで、回転磁界センサ1によって検出される、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度を角度 θ と記す。角度 θ が角度 $1m$ と等しいと仮定すると、ノイズ磁界 H_{ext} が印加されない場合には、検出値 s は、理想的には、角度 θ と等しくなる。しかし、式(6)から理解されるように、検出値 s は、第1のノイズ誤差 d_{1n} と第2のノイズ誤差 d_{2n} の両方と対応関係を有する誤差を含んでいる。この誤差は、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して生じるものである。

40

【0080】

次に、本実施の形態によれば、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した検出値 s の誤差を低減することが可能になる理由について説明する。図5に示した例では、第1のノイズ誤差 d_{1n} は負の値 $(-|d_{1n}|)$ になり、第2のノイズ誤差 d_{2n} は正の値 $(|d_{2n}|)$ になる。従って、式(6)によって検出値 s を算出する際に、第1のノイズ誤差 d_{1n} の値と第2のノイズ誤差 d_{2n} の値が相殺されて検出値 s の誤差の絶対値は

50

、第1のノイズ誤差 d_{1n} の絶対値と第2のノイズ誤差 d_{2n} の絶対値のいずれよりも小さくなる。

【0081】

なお、ノイズ磁界 H_{ext} の方向が図5に示した例とは反対方向である場合には、第1の印加磁界 $AMF1b$ の方向は、第1の部分磁界 $MF1$ の方向に対して、図5における時計回り方向に第1のノイズ誤差 d_{1n} の絶対値 $|d_{1n}|$ だけ異なり、第2の印加磁界 $AMF2b$ の方向は、第2の部分磁界 $MF2$ の方向に対して、図5における反時計回り方向に第2のノイズ誤差 d_{2n} の絶対値 $|d_{2n}|$ だけ異なる。すなわち、この場合には、第1のノイズ誤差 d_{1n} は正の値 ($|d_{1n}|$) になり、第2のノイズ誤差 d_{2n} は負の値 ($-|d_{2n}|$) になる。この場合にも、検出値 s を算出する際に、第1のノイズ誤差 d_{1n} の値と第2のノイズ誤差 d_{2n} の値が相殺されて検出値 s の誤差の絶対値は、第1のノイズ誤差 d_{1n} の絶対値と第2のノイズ誤差 d_{2n} の絶対値のいずれよりも小さくなる。

10

【0082】

もし、回転磁界センサが、第1の検出部10と第2の検出部20の一方のみを備え、第1の角度検出値 s_1 と第2の角度検出値 s_2 の一方を検出値 s とする場合には、検出値 s に含まれる誤差は、第1のノイズ誤差 d_{1n} または第2のノイズ誤差 d_{2n} となる。これに対し、本実施の形態に係る回転磁界センサは、第1の検出部10と第2の検出部20を備え、式(6)によって検出値 s を算出する。本実施の形態では、上記の例に限らず、第1のノイズ誤差 d_{1n} と第2のノイズ誤差 d_{2n} が共に0になる場合を除いて、第1のノイズ誤差 d_{1n} と第2のノイズ誤差 d_{2n} は、正負の符号が反対の値になる。そのため、上述のように、第3の演算回路30によって検出値 s を算出する際に、検出値 s に含まれる誤差の絶対値は、第1のノイズ誤差 d_{1n} の絶対値と第2のノイズ誤差 d_{2n} の絶対値のいずれよりも小さくなる。これにより、本実施の形態によれば、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した検出角度の誤差を低減することが可能になる。

20

【0083】

また、本実施の形態では、第1および第2の検出回路11, 12を有する第1の検出部10は第1の位置に配置され、第3および第4の検出回路21, 22を有する第2の検出部20は第2の位置に配置されている。そのため、本実施の形態によれば、第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22を互いに異なる場所に設置する場合に比べて、第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22の設置箇所を少なくすることができる。また、第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22は、それぞれ、少なくとも1つのMR素子を含んでいる。本実施の形態によれば、上述のように、第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22の設置箇所を少なくすることができるので、検出回路11, 12, 21, 22に含まれるMR素子の設置箇所を少なくすることができる。以上のことから、本実施の形態によれば、磁気検出素子(MR素子)の設置箇所を少なくしながら、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した検出角度の誤差を低減することが可能になる。

30

【0084】

[変形例]

以下、本実施の形態における第1および第2の変形例について説明する。始めに、図7を参照して、本実施の形態における第1の変形例の回転磁界センサ1について説明する。図7は、第1の変形例の回転磁界センサ1の概略の構成を示す側面図である。第1の変形例では、一対の磁石3, 4は、円板部5の上面から離れるに従って互いの距離が大きくなるように、回転中心Cに対して傾いている。磁石3のN極とS極は、回転中心Cに対して傾き、且つ円板部5の上面から離れる方向に、S極、N極の順に配置されている。磁石4のN極とS極は、回転中心Cに対して傾き、且つ円板部5の上面から離れる方向に、N極、S極の順に配置されている。

40

【0085】

図7では、磁石3のN極から磁石4のS極に向かう磁束の主要部分と、磁石4のN極から磁石3のS極に向かう磁束の主要部分を、記号Mを付した曲線または直線で表している

50

。これらの磁束の主要部分は、一对の磁石 3, 4 が回転中心 C に対して傾いていない場合（図 2）に比べて、図 7 における上方に変位している。図 2 に示したように、一对の磁石 3, 4 が回転中心 C に対して傾いていない場合には、磁石 4 の N 極から磁石 3 の S 極に向かう磁束の主要部分が、円板部 5 の上面よりも下方を通過する可能性がある。この場合には、第 2 の検出部 20 を最適な位置、すなわち磁石 4 の N 極から磁石 3 の S 極に向かう磁束の主要部分が通過する位置に設置することが困難になる場合がある。これに対し、第 1 の変形例によれば、磁石 4 の N 極から磁石 3 の S 極に向かう磁束の主要部分が、円板部 5 の上面よりも上方を通過するように、磁束の分布を調整することが可能になる。これにより、容易に、第 2 の検出部 20 を最適な位置に設置することが可能になる。

【 0 0 8 6 】

10

次に、図 8 を参照して、本実施の形態における第 2 の変形例の回転磁界センサ 1 について説明する。図 8 は、第 2 の変形例の回転磁界センサ 1 の概略の構成を示す側面図である。第 2 の変形例では、一对の磁石 3, 4 は、円板部 5 の上面から離れた位置に配置されている。磁界発生部 2 は、図 1 および図 2 に示した本実施の形態における磁界発生部 2 の構成要素に加えて、円板部 5 の上面に固定された支持部 7, 8 を有している。磁石 3, 4 は、それぞれ支持部 7, 8 の上に固定されている。

【 0 0 8 7 】

図 8 では、回転磁界のうち、磁石 3 の N 極から磁石 4 の S 極に向かう磁束の主要部分と、磁石 4 の N 極から磁石 3 の S 極に向かう磁束の主要部分を、記号 M を付した曲線で表している。これらの磁束の主要部分は、磁石 3, 4 が円板部 5 の上面に固定されている場合（図 2）に比べて、図 8 における上方に変位している。これにより、第 2 の変形例によれば、第 1 の変形例と同様に、容易に、第 2 の検出部 20 を最適な位置に設置することが可能になる。

20

【 0 0 8 8 】

[第 2 の実施の形態]

次に、図 9 および図 10 を参照して、本発明の第 2 の実施の形態に係る回転磁界センサについて説明する。図 9 は、本実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。図 10 は、本実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す側面図である。図 9 および図 10 に示したように、本実施の形態に係る回転磁界センサ 61 は、第 1 の実施の形態における磁界発生部 2 の代りに、磁界発生部 62 を備えている。

30

【 0 0 8 9 】

磁界発生部 62 は、回転位置を検出する対象物である回転軸 66 に取り付けられたリング状の磁石 63 を有している。図 9 および図 10 において、記号 C を付した一点鎖線は、回転軸 66 の中心軸を含む回転中心を示している。磁石 63 は、回転中心 C を中心として対称に配置されるように、図示しない固定手段によって回転軸 66 に固定されている。磁石 63 は、回転軸 66 に連動して、回転中心 C を中心として回転する。これにより、磁石 63 が発生する磁界に基づいて、回転磁界が発生される。

【 0 0 9 0 】

磁石 63 は、それぞれ、1 組以上の N 極と S 極が交互にリング状に配列された第 1 層 63A および第 2 層 63B を有している。第 1 層 63A および第 2 層 63B は、図 9 および図 10 における上下方向（回転中心 C に平行な方向）に積層されている。第 1 層 63A の N 極と第 2 層 63B の S 極は、上下に隣接するように配置されている。第 1 層 63A の S 極と第 2 層 63B の N 極も、上下に隣接するように配置されている。

40

【 0 0 9 1 】

図 9 および図 10 に示したように、第 1 および第 2 の検出部 10, 20 は、磁石 63 の外周部の外側の位置において、回転中心 C に平行な方向に並ぶように配置されている。第 1 の検出部 10 が配置された位置が第 1 の位置であり、第 2 の検出部 20 が配置された位置が第 2 の位置である。第 1 の位置は、第 1 層 63A と第 2 層 63B の界面を含む仮想の平面よりも上方にある。第 2 の位置は、上記仮想の平面よりも下方にある。回転磁界は、第 1 の位置における第 1 の部分磁界 MF1 と第 2 の位置における第 2 の部分磁界 MF2 と

50

を含んでいる。主に第1層63Aの近傍における磁束が第1の部分磁界MF1を発生させる。第1層63Aの近傍における磁束には、上下に隣接する第1層63Aと第2層63Bにおける異なる2つの極の間の磁束と、第1層63Aにおいて回転方向に隣接する異なる2つの極の間の磁束とが含まれる。また、主に第2層63Bの近傍における磁束が第2の部分磁界MF2を発生させる。第2層63Bの近傍における磁束には、上下に隣接する第1層63Aと第2層63Bにおける異なる2つの極の間の磁束と、第2層63Bにおいて回転方向に隣接する異なる2つの極の間の磁束とが含まれる。図10では、第1層63AのN極から第2層63BのS極に向かう磁束の主要部分を、記号Mを付した曲線で表している。第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2は、磁界の方向が互いに180°異なり且つ同じ回転方向に回転する。

10

【0092】

第1の検出部10は、第1の位置において、主成分として第1の部分磁界MF1を含む第1の印加磁界の方向が第1の方向D1に対してなす第1の角度を検出する。第2の検出部20は、第2の位置において、主成分として第2の部分磁界MF2を含む第2の印加磁界の方向が第2の方向D2に対してなす第2の角度を検出する。第1の方向D1と第2の方向D2は、互いに180°異なっている。第1の方向D1は、例えば、回転中心Cから第1の検出部10に向かう方向である。

【0093】

図9に示した例では、第1層63Aおよび第2層63Bは、それぞれ、5組のN極とS極とを含み、磁石63が1回転する間に、第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2は5回転する。この場合、検出回路11, 12, 21, 22の出力信号における1周期すなわち電気角の360°は、磁石63の1/5回転すなわち磁石63の回転角の72°に相当する。

20

【0094】

[変形例]

次に、図11を参照して、本実施の形態における変形例について説明する。図11は、本実施の形態における変形例の回転磁界センサ61の概略の構成を示す側面図である。図11に示したように、変形例の回転磁界センサ61は、磁界発生部62の代りに、磁界発生部72を備えている。

【0095】

磁界発生部72は、一方向に長い磁石73を有している。磁石73は、対象物の直線的な運動に連動して、その長手方向に直線的に移動する。これにより、磁石73が発生する磁界に基づいて、回転磁界が発生される。磁石73は、それぞれ、複数組のN極とS極が交互に直線状に配列された第1層73Aおよび第2層73Bを有している。第1層73Aおよび第2層73Bは、図11における上下方向(磁石73の移動方向に直交する方向)に積層されている。第1層73AのN極と第2層73BのS極は、上下に隣接するように配置されている。第1層73AのS極と第2層73BのN極も、上下に隣接するように配置されている。

30

【0096】

図11に示したように、第1および第2の検出部10, 20は、磁石73の側方において、図11における上下方向(第1層73Aと第2層73Bの積層方向)に並ぶように配置されている。第1の検出部10が配置された位置が第1の位置であり、第2の検出部20が配置された位置が第2の位置である。第1の位置は、第1層73Aと第2層73Bの界面を含む仮想の平面よりも上方にある。第2の位置は、上記仮想の平面よりも下方にある。回転磁界は、第1の位置における第1の部分磁界MF1と第2の位置における第2の部分磁界MF2とを含んでいる。主に第1層73Aの近傍における磁束が第1の部分磁界MF1を発生させる。第1層73Aの近傍における磁束には、上下に隣接する第1層73Aと第2層73Bにおける異なる2つの極の間の磁束と、第1層73Aにおいて磁石73の移動方向に隣接する異なる2つの極の間の磁束とが含まれる。また、主に第2層73Bの近傍における磁束が第2の部分磁界MF2を発生させる。第2層73Bの近傍における

40

50

磁束には、上下に隣接する第1層73Aと第2層73Bにおける異なる2つの極の間の磁束と、第2層73Bにおいて磁石73の移動方向に隣接する異なる2つの極の間の磁束とが含まれる。第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2は、磁界の方向が互いに180°異なり且つ同じ回転方向に回転する。

【0097】

第1の検出部10は、第1の位置において、主成分として第1の部分磁界MF1を含む第1の印加磁界の方向が第1の方向D1に対してなす第1の角度を検出する。第2の検出部20は、第2の位置において、主成分として第2の部分磁界MF2を含む第2の印加磁界の方向が第2の方向D2に対してなす第2の角度を検出する。第1の方向D1と第2の方向D2は、互いに180°異なっている。第1の方向D1は、例えば、第1の検出部10に向いた磁石73の側面に垂直であって、磁石73から第1の検出部10に向かう方向である。

10

【0098】

磁石73が、1ピッチ分すなわちN極とS極の1組分だけ移動すると、第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2がそれぞれ1回転する。この場合、検出回路11, 12, 21, 22の出力信号における1周期すなわち電気角の360°は、磁石73の1ピッチに相当する。

【0099】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

20

【0100】

[第3の実施の形態]

次に、図12を参照して、本発明の第3の実施の形態に係る回転磁界センサについて説明する。図12は、本実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。図12に示したように、本実施の形態に係る回転磁界センサ81は、第2の実施の形態における磁界発生部62の代わりに、磁界発生部82を備えている。

【0101】

磁界発生部82は、回転位置を検出する対象物である回転軸66に取り付けられたリング状の磁石83を有している。図12において、記号Cを付した一点鎖線は、回転軸66の中心軸を含む回転中心を示している。磁石83は、回転中心Cを中心として対称に配置されるように、図示しない固定手段によって回転軸66に固定されている。磁石83は、回転軸66に連動して、回転中心Cを中心として回転する。これにより、磁石83が発生する磁界に基づいて、回転磁界が発生される。磁石83は、2n組(nは1以上の整数)のN極とS極が交互にリング状に配列されて構成されている。図12に示した例では、磁石83は、2組のN極とS極を含んでいる。

30

【0102】

図12に示したように、第1および第2の検出部10, 20は、磁石83を挟むように、回転中心Cを含む仮想の平面に対して対称な位置に配置されている。第1の検出部10が配置された位置が第1の位置であり、第2の検出部20が配置された位置が第2の位置である。回転磁界は、第1の位置における第1の部分磁界MF1と第2の位置における第2の部分磁界MF2とを含んでいる。第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2は、磁界の方向が互いに180°異なり且つ同じ回転方向に回転する。

40

【0103】

第1の検出部10は、第1の位置において、主成分として第1の部分磁界MF1を含む第1の印加磁界の方向が第1の方向D1に対してなす第1の角度を検出する。第2の検出部20は、第2の位置において、主成分として第2の部分磁界MF2を含む第2の印加磁界の方向が第2の方向D2に対してなす第2の角度を検出する。第1の方向D1と第2の方向D2は、互いに180°異なっている。第1の方向D1は、例えば、回転中心Cから第1の検出部10に向かう方向である。

【0104】

50

図 1 2 に示した例では、磁石 8 3 が 1 回転する間に、第 1 の部分磁界 M F 1 と第 2 の部分磁界 M F 2 は 2 回転する。この場合、検出回路 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 の出力信号における 1 周期すなわち電気角の 3 6 0 ° は、磁石 8 3 の 1 / 2 回転すなわち磁石 8 3 の回転角の 1 8 0 ° に相当する。

【 0 1 0 5 】

[変形例]

次に、図 1 3 を参照して、本実施の形態における変形例について説明する。図 1 3 は、本実施の形態における変形例の回転磁界センサ 8 1 の概略の構成を示す側面図である。図 1 3 に示したように、変形例の回転磁界センサ 8 1 は、磁界発生部 8 2 の代りに、磁界発生部 9 2 を備えている。

10

【 0 1 0 6 】

磁界発生部 9 2 は、一方向に長い磁石 9 3 を有している。磁石 9 3 は、対象物の直線的な運動に連動して、その長手方向に直線的に移動する。これにより、磁石 9 3 が発生する磁界に基づいて、回転磁界が発生される。磁石 9 3 は、複数組の N 極と S 極が交互に直線状に配列されて構成されている。

【 0 1 0 7 】

図 1 3 に示したように、第 1 および第 2 の検出部 1 0 , 2 0 は、磁石 9 3 の側方において、磁石 9 3 の移動方向に平行な方向に並ぶように配置されている。第 2 の検出部 2 0 は、第 1 の検出部 1 0 に対して、磁石 9 3 の 1 / 2 ピッチだけずれた位置に配置されている。第 1 の検出部 1 0 が配置された位置が第 1 の位置であり、第 2 の検出部 2 0 が配置された位置が第 2 の位置である。回転磁界は、第 1 の位置における第 1 の部分磁界 M F 1 と第 2 の位置における第 2 の部分磁界 M F 2 とを含んでいる。第 1 の部分磁界 M F 1 と第 2 の部分磁界 M F 2 は、磁界の方向が互いに 1 8 0 ° 異なり且つ同じ回転方向に回転する。

20

【 0 1 0 8 】

第 1 の検出部 1 0 は、第 1 の位置において、主成分として第 1 の部分磁界 M F 1 を含む第 1 の印加磁界の方向が第 1 の方向 D 1 に対してなす第 1 の角度を検出する。第 2 の検出部 2 0 は、第 2 の位置において、主成分として第 2 の部分磁界 M F 2 を含む第 2 の印加磁界の方向が第 2 の方向 D 2 に対してなす第 2 の角度を検出する。第 1 の方向 D 1 と第 2 の方向 D 2 は、互いに 1 8 0 ° 異なっている。第 1 の方向 D 1 は、例えば、第 1 の検出部 1 0 に向いた磁石 9 3 の側面に垂直であって、磁石 9 3 から第 1 の検出部 1 0 に向かう方向である。

30

【 0 1 0 9 】

磁石 9 3 が、1 ピッチ分だけ移動すると、第 1 の部分磁界 M F 1 と第 2 の部分磁界 M F 2 がそれぞれ 1 回転する。この場合、検出回路 1 1 , 1 2 , 2 1 , 2 2 の出力信号における 1 周期すなわち電気角の 3 6 0 ° は、磁石 9 3 の 1 ピッチに相当する。

【 0 1 1 0 】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第 2 の実施の形態と同様である。

【 0 1 1 1 】

[第 4 の実施の形態]

40

次に、図 1 4 を参照して、本発明の第 4 の実施の形態に係る回転磁界センサについて説明する。図 1 4 は、本実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。本実施の形態に係る回転磁界センサ 1 0 1 の構成は、基本的には、第 1 の実施の形態に係る回転磁界センサ 1 と同じである。

【 0 1 1 2 】

本実施の形態では、第 1 の検出部 1 0 が第 1 の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第 1 の方向 D 1 と、第 2 の検出部 2 0 が第 2 の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第 2 の方向 D 2 の関係が、第 1 の実施の形態とは異なっている。具体的には、第 1 の方向 D 1 と第 2 の方向 D 2 は、第 1 および第 2 の部分磁界 M F 1 , M F 2 の回転方向について、4 5 ° の奇数倍だけ異なっている。これを実現するために、図 1 4 に示した

50

例では、第2の検出部20の姿勢を第1の実施の形態と異ならせている。図14に示した例では、第2の検出部20は、第1の実施の形態における図1に示した状態から、回転中心Cに垂直な仮定の平面内において、磁界発生部2の回転方向に45°回転した姿勢で配置されている。第1の検出部10の姿勢は、第1の実施の形態における図1に示した状態と同じである。この場合、第1の方向D1と第2の方向D2は、第1および第2の部分磁界MF1, MF2の回転方向について、180°+45°、すなわち225°(45°の5倍)だけ異なる。なお、第2の検出部20の姿勢を上記のように設定する代わりに、第2の検出部20に含まれるMR素子における磁化固定層の磁化の方向を、第1の実施の形態における方向に対して、磁界発生部2の回転方向に45°回転してもよい。あるいは、第1の検出部10を、図1に示した状態から、回転中心Cに垂直な仮定の平面内において、磁界発生部2の回転方向に-45°回転した姿勢で配置してもよい。あるいは、第1の検出部10に含まれるMR素子における磁化固定層の磁化の方向を、第1の実施の形態における方向に対して、磁界発生部2の回転方向に-45°回転してもよい。

10

【0113】

本実施の形態では、第1の印加磁界の方向が第1の方向D1に対してなす第1の角度 θ_1 の検出値である第1の角度検出値 s_1 の位相と、第2の印加磁界の方向が第2の方向D2に対してなす第2の角度 θ_2 の検出値である第2の角度検出値 s_2 の位相は、 $\pi/4$ (電気角45°)の奇数倍だけ異なっている。図14に示した例では、第1の部分磁界MF1の方向と第2の部分磁界MF2の方向は180°異なり、第1の方向D1と第2の方向D2は第1および第2の部分磁界MF1, MF2の回転方向について225°異なっていることから、第1の角度検出値 s_1 と第2の角度検出値 s_2 の位相は、 $\pi/4$ (電気角45°)だけ異なる。この場合、第3の演算回路30は、下記の式(7)によって、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度 θ と対応関係を有する検出値 s を算出する。

20

【0114】

$$s = (s_1 + s_2 + \pi/4) / 2 \quad \dots (7)$$

【0115】

次に、回転磁界センサ101の作用および効果について説明する。回転磁界センサ101では、第1の検出部10の第1および第2の検出回路11, 12の出力信号に基づいて算出された第1の角度検出値 s_1 と、第2の検出部20の第3および第4の検出回路21, 22の出力信号に基づいて算出された第2の角度検出値 s_2 とに基づいて、第3の演算回路30によって、式(7)を用いて、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度 θ と対応関係を有する検出値 s を算出する。

30

【0116】

第1の実施の形態で説明したように、検出回路11, 12, 21, 22の各出力信号の波形は、理想的には正弦曲線(サイン(Sine)波形とコサイン(Cosine)波形を含む)となる。しかし、実際には、MR素子に起因してMR素子の出力信号波形が歪むことによって、検出回路11, 12, 21, 22の各出力信号の波形は、正弦曲線から歪む。MR素子に起因してMR素子の出力信号波形が歪む場合としては、例えば、MR素子の磁化固定層の磁化方向が回転磁界等の影響によって変動する場合や、MR素子の自由層の磁化方向が、自由層の形状異方性や保磁力等の影響によって、第1の印加磁界の方向または第2の印加磁界の方向と一致しない場合がある。図15は、検出回路の出力信号の波形の歪みの態様を示している。図15には、検出回路11, 12, 21, 22を代表して、検出回路12の出力信号の波形を示している。図15において、横軸は角度 θ_1 を示し、縦軸は検出回路12の出力信号 $\cos \theta_1$ を示している。符号110は、理想的な正弦曲線を示している。符号111, 112で示す2つの波形は、MR素子に起因して歪んだ波形を示している。

40

【0117】

上述のようにMR素子に起因して検出回路11, 12の出力信号の波形が歪むために、第1の角度検出値 s_1 は、第1の印加磁界の成分が第1の部分磁界MF1のみであって

50

、第1の部分磁界MF1の方向が理想的に回転する場合に想定される第1の角度 θ_1 の理論値に対する第1の角度誤差を含んでいる。同様に、MR素子に起因して検出回路21, 22の出力信号の波形が歪むために、第2の角度検出値 θ_2 は、第2の印加磁界の成分が第2の部分磁界MF2のみであって、第2の部分磁界MF2の方向が理想的に回転する場合に想定される第2の角度 θ_2 の理論値に対する第2の角度誤差を含んでいる。本実施の形態では、第1の角度誤差を記号 d_1 で表し、第2の角度誤差を記号 d_2 で表す。第1の角度誤差 d_1 と第2の角度誤差 d_2 は、第1および第2の部分磁界MF1, MF2の方向の変化に伴って互いに等しい誤差周期で周期的に変化し、且つ第1の角度誤差 d_1 の変化は第1の角度検出値 θ_1 の変化に依存し、第2の角度誤差 d_2 の変化は第2の角度検出値 θ_2 の変化に依存している。検出回路の出力信号の波形が図15に示したように歪む場合には、誤差周期は、各検出回路の出力信号の周期の $1/4$ 、すなわち $\pi/2$ （電気角 90° ）となる。

10

【0118】

図16は、第1の角度検出値 θ_1 と第1の角度誤差 d_1 との関係を示している。図16において、横軸は第1の角度 θ_1 を示し、縦軸は第1の角度 θ_1 、第1の角度検出値 θ_1 および第1の角度誤差 d_1 を示している。また、図16では、便宜上、縦軸における角度 θ_1 と第1の角度検出値 θ_1 の値については、実際の角度が $90^\circ \sim 270^\circ$ の範囲では 180° を引いた値で表し、実際の角度が $270^\circ \sim 360^\circ$ の範囲では 360° を引いた値で表している。これ以降の説明で使用する図16と同様の図においても、図16と同様の表し方を用いる。第2の角度検出値 θ_2 と第2の角度誤差 d_2 との関係は、図16と同様である。なお、理解を容易にするために、図16における第1の角度検出値 θ_1 の波形は、角度誤差 d_1 成分を強調して描いている。これは、図16と同様の他の図でも同様である。

20

【0119】

本実施の形態では、第1の角度検出値 θ_1 の位相と第2の角度検出値 θ_2 の位相は、誤差周期の $1/2$ すなわち $\pi/4$ （電気角 45° ）の奇数倍だけ異なっている。これを実現するために、本実施の形態では、第1の方向D1と第2の方向D2を、第1および第2の部分磁界MF1, MF2の回転方向について、誤差周期の $1/2$ （電気角 45° ）の奇数倍だけ異ならせている。例えば、第1の方向D1と第2の方向D2が、第1および第2の部分磁界MF1, MF2の回転方向について、誤差周期の $1/2$ （電気角 45° ）の5倍に相当する空間上の角度である 225° だけ異なっている場合には、第1の角度検出値 θ_1 の位相と第2の角度検出値 θ_2 の位相は、誤差周期の $1/2$ すなわち $\pi/4$ （電気角 45° ）だけ異なる。

30

【0120】

本実施の形態によれば、第1の角度誤差 d_1 と第2の角度誤差 d_2 とを相殺することが可能になる。このことを、図17および図18を参照して説明する。図17において、(a)は、図16に示した第1の角度検出値 θ_1 と第1の角度誤差 d_1 との関係を示している。図17において、(b)は、第2の角度検出値 θ_2 と第2の角度誤差 d_2 との関係を示している。図17に示した例では、第1の角度誤差 d_1 および第2の角度誤差 d_2 の振幅は $\pm 0.09^\circ$ である。本実施の形態では、第1の角度検出値 θ_1 と第2の角度検出値 θ_2 の位相を、誤差周期の $1/2$ すなわち $\pi/4$ の奇数倍だけずらしている。そして、第1の角度検出値 θ_1 と第2の角度検出値 θ_2 を用いて、角度の検出値 s を算出する。従って、検出値 s を算出する際に、第1の角度誤差 d_1 の位相と第2の角度誤差 d_2 の位相は、互いに逆相になる。これにより、第1の角度誤差 d_1 と第2の角度誤差 d_2 が相殺される。

40

【0121】

図18は、上述のようにして算出された検出値 s と、この検出値 s に含まれる角度誤差との関係を表している。本実施の形態では、検出値 s に含まれる角度誤差を記号 d で表す。図18に示されるように、角度誤差 d は、第1の角度誤差 d_1 および第2の角度誤差 d_2 に比べて、大幅に小さくなっている。図18に示した例では、角度誤差

50

d の振幅は $\pm 0.02^\circ$ である。

【0122】

また、本実施の形態では、MR素子における磁化固定層の磁化の方向以外は全く同じ構成の2つの検出部10、20を用いて検出角度を補正している。そのため、各検出部における角度誤差が温度の関数であったとしても、温度による角度誤差の変動分も含めて各検出部における角度誤差を相殺して、検出角度を補正することができる。そのため、本実施の形態によれば、最終的に、温度による誤差の変動の少ない角度検出値を得ることが可能になる。

【0123】

また、本実施の形態では、検出値 s の算出方法は、第1の角度検出値 s_1 と第2の角度検出値 s_2 の位相差を補正する点を除いて、第1の実施の形態における検出値 s の算出方法と同じである。従って、第1の実施の形態で説明したように、回転磁界センサ101に対して外部から、回転磁界以外のノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合に、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して生じる第1の角度検出値 s_1 の第1のノイズ誤差 d_{1n} と、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して生じる第2の角度検出値 s_2 の第2のノイズ誤差 d_{2n} は、正負の符号が反対の値になる。そのため、本実施の形態によれば、第1の実施の形態における説明と同じ理由によって、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した検出値 s の誤差を低減することが可能になる。

【0124】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。なお、本実施の形態において、磁界発生部2を第2または第3の実施の形態における構成とし、第1の方向 D_1 と第2の方向 D_2 が第1および第2の部分磁界 MF_1 、 MF_2 の回転方向について 45° の奇数倍だけ異なるように、第1および第2の検出部10、20を配置してもよい。

【0125】

[第5の実施の形態]

次に、図19ないし図21を参照して、本発明の第5の実施の形態に係る回転磁界センサについて説明する。図19は、本実施の形態に係る回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。図20は、本実施の形態における変形例の回転磁界センサの概略の構成を示す斜視図である。図21は、本実施の形態に係る回転磁界センサの構成を示すブロック図である。始めに、本実施の形態に係る回転磁界センサ121の構成について説明する。図21に示したように、回転磁界センサ121は、第1および第2の複合検出部210A、210Bを備えている。

【0126】

複合検出部210A、210Bの構成は、それぞれ、第1の実施の形態に係る回転磁界センサ1から磁界発生部2を除いた構成と同様である。具体的には、第1の複合検出部210Aは、第1の検出部10および第2の検出部20および第3の演算回路30と同様の構成の第1の検出部10A、第2の検出部20Aおよび第3の演算回路30Aを備えている。同様に、第2の複合検出部210Bは、第1の検出部10、第2の検出部20および第3の演算回路30と同様の構成の第3の検出部10B、第4の検出部20Bおよび第6の演算回路30Bを備えている。第1の検出部10Aは第1の位置に配置され、第2の検出部20Aは第2の位置に配置され、第3の検出部10Bは第3の位置に配置され、第4の検出部20Bは第4の位置に配置されている。

【0127】

図19に示したように、本実施の形態に係る回転磁界センサ121は、更に、回転磁界を発生する磁界発生部122を備えている。磁界発生部122の構成は、第2の実施の形態における磁界発生部62の構成と同様である。具体的には、磁界発生部122は、回転軸66に取り付けられたリング状の磁石123を有している。また、磁石123は、第1層63Aおよび第2層63Bと同様の構成の第1層123Aおよび第2層123Bを有している。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 8 】

第1および第2の検出部10A, 20Aの、磁石123に対する相対的な位置関係は、第2の実施の形態における第1および第2の検出部10, 20の、磁石63に対する相対的な位置関係と同様である。第3および第4の検出部10B, 20Bの、磁石123に対する相対的な位置関係も、第2の実施の形態における第1および第2の検出部10, 20の、磁石63に対する相対的な位置関係と同様である。第3および第4の検出部10B, 20Bは、第1および第2の検出部10A, 20Aに対して、回転磁界の回転の周期の1/4すなわち電気角90°に相当する量だけずれた位置に配置されている。

【 0 1 2 9 】

第1の検出部10Aが配置された位置が第1の位置であり、第2の検出部20Aが配置された位置が第2の位置である。回転磁界は、第1の位置における第1の部分磁界MF1と第2の位置における第2の部分磁界MF2とを含んでいる。第1および第2の部分磁界MF1, MF2は、第2の実施の形態と同じ原理により、磁石123によって発生される。第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2は、磁界の方向が互いに180°異なり且つ同じ回転方向に回転する。

10

【 0 1 3 0 】

第1の検出部10Aは、第1の位置において、主成分として第1の部分磁界MF1を含む第1の印加磁界の方向が第1の方向D1に対してなす第1の角度を検出する。第2の検出部20Aは、第2の位置において、主成分として第2の部分磁界MF2を含む第2の印加磁界の方向が第2の方向D2に対してなす第2の角度を検出する。第1の方向D1と第2の方向D2は、互いに180°異なっている。第1の方向D1は、例えば、回転中心Cから第1の検出部10Aに向かう方向である。

20

【 0 1 3 1 】

また、第3の検出部10Bが配置された位置が第3の位置であり、第4の検出部20Bが配置された位置が第4の位置である。回転磁界は、更に、第3の位置における第3の部分磁界MF3と第4の位置における第4の部分磁界MF4とを含んでいる。第3および第4の部分磁界MF3, MF4は、第1および第2の部分磁界MF1, MF2と同じ原理により、磁石123によって発生される。第3の部分磁界MF3と第4の部分磁界MF4は、磁界の方向が互いに180°異なり且つ第1および第2の部分磁界MF1, MF2と同じ回転方向に回転する。

30

【 0 1 3 2 】

第3の検出部10Bは、第3の位置において、主成分として第3の部分磁界MF3を含む第3の印加磁界の方向が第3の方向に対してなす第3の角度を検出する。第4の検出部20Bは、第4の位置において、主成分として第4の部分磁界MF4を含む第4の印加磁界の方向が第4の方向に対してなす第4の角度を検出する。第3の方向は、第3の検出部10Bが第3の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である。第4の方向は、第4の検出部20Bが第4の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である。第3および第4の方向、ならびに第3および第4の角度の定義は、図4を用いて説明した第1および第2の方向、ならびに第1および第2の角度と同様である。本実施の形態では、第3の方向と第4の方向は、互いに180°異なっている。第3の方向は、例えば、回転中心Cから第3の検出部10Bに向かう方向である。

40

【 0 1 3 3 】

本実施の形態では、第3の方向に対して第3の部分磁界MF3の方向がなす角度は、第1の方向に対して第1の部分磁界MF1の方向がなす角度に対して、電気角90°に相当する角度だけ異なっている。同様に、第4の方向に対して第4の部分磁界MF4の方向がなす角度は、第2の方向に対して第2の部分磁界MF2の方向がなす角度に対して、電気角90°に相当する角度だけ異なっている。

【 0 1 3 4 】

第1の検出部10Aは、第1の検出回路11Aと、第2の検出回路12Aと、第1の演算回路13Aとを有している。第1の検出回路11A、第2の検出回路12Aおよび第1

50

の演算回路 1 3 A の構成は、第 1 の実施の形態における第 1 の検出回路 1 1、第 2 の検出回路 1 2 および第 1 の演算回路 1 3 と同じである。第 1 および第 2 の検出回路 1 1 A、1 2 A は、それぞれ第 1 の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。第 1 の演算回路 1 3 A は、第 1 および第 2 の検出回路 1 1 A、1 2 A の出力信号に基づいて第 1 の角度 θ_1 の検出値である第 1 の角度検出値 s_1 を算出する。

【 0 1 3 5 】

第 2 の検出部 2 0 A は、第 3 の検出回路 2 1 A と、第 4 の検出回路 2 2 A と、第 2 の演算回路 2 3 A とを有している。第 3 の検出回路 2 1 A、第 4 の検出回路 2 2 A および第 2 の演算回路 2 3 A の構成は、第 1 の実施の形態における第 3 の検出回路 2 1、第 4 の検出回路 2 2 および第 2 の演算回路 2 3 と同じである。第 3 および第 4 の検出回路 2 1 A、2 2 A は、それぞれ第 2 の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。第 2 の演算回路 2 3 A は、第 3 および第 4 の検出回路 2 1 A、2 2 A の出力信号に基づいて第 2 の角度 θ_2 の検出値である第 2 の角度検出値 s_2 を算出する。

10

【 0 1 3 6 】

第 3 の検出部 1 0 B は、第 5 の検出回路 1 1 B と、第 6 の検出回路 1 2 B と、第 4 の演算回路 1 3 B とを有している。第 5 の検出回路 1 1 B、第 6 の検出回路 1 2 B および第 4 の演算回路 1 3 B の構成は、第 1 の実施の形態における第 1 の検出回路 1 1、第 2 の検出回路 1 2 および第 1 の演算回路 1 3 と同じである。第 5 および第 6 の検出回路 1 1 B、1 2 B は、それぞれ第 3 の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。第 4 の演算回路 1 3 B は、第 5 および第 6 の検出回路 1 1 B、1 2 B の出力信号に基づいて第 3 の角度 θ_3 の検出値である第 3 の角度検出値 s_3 を算出する。

20

【 0 1 3 7 】

第 4 の検出部 2 0 B は、第 7 の検出回路 2 1 B と、第 8 の検出回路 2 2 B と、第 5 の演算回路 2 3 B とを有している。第 7 の検出回路 2 1 B、第 8 の検出回路 2 2 B および第 5 の演算回路 2 3 B の構成は、第 1 の実施の形態における第 3 の検出回路 2 1、第 4 の検出回路 2 2 および第 2 の演算回路 2 3 と同じである。第 7 および第 8 の検出回路 2 1 B、2 2 B は、それぞれ第 4 の印加磁界の一方向の成分の強度を検出して、その強度を表す信号を出力する。第 5 の演算回路 2 3 B は、第 7 および第 8 の検出回路 2 1 B、2 2 B の出力信号に基づいて第 4 の角度 θ_4 の検出値である第 4 の角度検出値 s_4 を算出する。

【 0 1 3 8 】

第 1 ないし第 8 の検出回路 1 1 A、1 2 A、2 1 A、2 2 A、1 1 B、1 2 B、2 1 B、2 2 B の出力信号は、周期が互いに等しい。以下の説明では、第 1 ないし第 8 の検出回路 1 1 A、1 2 A、2 1 A、2 2 A、1 1 B、1 2 B、2 1 B、2 2 B の出力信号の周期を周期 T と記す。第 2 の検出回路 1 2 A の出力信号の位相は、第 1 の検出回路 1 1 A の出力信号の位相に対して、周期 T の $1/4$ の奇数倍だけ異なっている。第 4 の検出回路 2 2 A の出力信号の位相は、第 3 の検出回路 2 1 A の出力信号の位相に対して、周期 T の $1/4$ の奇数倍だけ異なっている。第 6 の検出回路 1 2 B の出力信号の位相は、第 5 の検出回路 1 1 B の出力信号の位相に対して、周期 T の $1/4$ の奇数倍だけ異なっている。第 8 の検出回路 2 2 B の出力信号の位相は、第 7 の検出回路 2 1 B の出力信号の位相に対して、周期 T の $1/4$ の奇数倍だけ異なっている。

30

40

【 0 1 3 9 】

第 3 の演算回路 3 0 A は、第 1 の検出部 1 0 A によって第 1 の印加磁界を検出して得られた第 1 の角度検出値 s_1 と、第 2 の検出部 2 0 A によって第 2 の印加磁界を検出して得られた第 2 の角度検出値 s_2 とに基づいて、第 1 の基準位置における回転磁界の方向が第 1 の基準方向に対してなす角度の検出値 $A s$ を算出する。検出値 $A s$ の算出方法は、第 1 の実施の形態における検出値 s の算出方法と同じである。検出値 $A s$ は、誤差を考慮しなければ、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度との差が一定値 (0 を含む) になるという関係を有している。従って、検出値 $A s$ は、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度と対応関係を有する。

【 0 1 4 0 】

50

第6の演算回路30Bは、第3の検出部10Bによって第3の印加磁界を検出して得られた第3の角度検出値 3sと、第4の検出部20Bによって第4の印加磁界を検出して得られた第4の角度検出値 4sとに基づいて、第2の基準位置における回転磁界の方向が第2の基準方向に対してなす角度の検出値 Bsを算出する。検出値 Bsの算出方法は、第1の実施の形態における検出値 sの算出方法と同じである。検出値 Bsは、誤差を考慮しなければ、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度との差が一定値(0を含む)になるという関係を有している。従って、検出値 Bsは、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度と対応関係を有する。

【0141】

図21に示したように、回転磁界センサ121は、更に、第3の演算回路30Aによって算出された角度の検出値 Asと、第6の演算回路30Bによって算出された角度の検出値 Bsとに基づいて、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度の検出値 sを算出する第7の演算回路211を備えている。第7の演算回路211は、例えばマイクロコンピュータによって実現することができる。なお、回転磁界センサ121の基準位置と基準方向は、それぞれ、第1の基準位置と第1の基準方向と一致していてもよいし、第2の基準位置と第2の基準方向と一致していてもよいし、これらの位置および方向と異なる任意の位置と方向であってもよい。

10

【0142】

次に、本実施の形態における変形例の回転磁界センサ121の構成について説明する。図20に示したように、本実施の形態における変形例の回転磁界センサ121は、磁界発生部122の代わりに、磁界発生部132を備えている。磁界発生部132の構成は、第2の実施の形態における磁界発生部72の構成と同様である。具体的には、磁界発生部132は、磁石73と同様の構成の磁石133を有している。磁石133は、対象物の直線的な運動に連動して、その長手方向に直線的に移動する。これにより、磁石133が発生する磁界に基づいて、回転磁界が発生される。磁石133は、第1層73Aおよび第2層73Bと同様の構成の第1層133Aおよび第2層133Bを有している。

20

【0143】

第1および第2の検出部10A, 20Aの、磁石133に対する相対的な位置関係は、第2の実施の形態における第1および第2の検出部10, 20の、磁石73に対する相対的な位置関係と同様である。第3および第4の検出部10B, 20Bの、磁石133に対する相対的な位置関係も、第2の実施の形態における第1および第2の検出部10, 20の、磁石73に対する相対的な位置関係と同様である。変形例では、第3および第4の検出部10B, 20Bは、第1および第2の検出部10A, 20Aに対して、回転磁界の回転の周期の1/4すなわち電気角90°に相当する量、すなわち磁石133の1/4ピッチだけずれた位置に配置されている。

30

【0144】

次に、第7の演算回路211における検出値 sの算出方法について説明する。本実施の形態では、第1の印加磁界を検出して得られた第1の角度検出値 1sと第2の印加磁界を検出して得られた第2の角度検出値 2sとに基づいて、検出値 Asを算出する。また、第3の印加磁界を検出して得られた第3の角度検出値 3sと第4の印加磁界を検出して得られた第4の角度検出値 4sとに基づいて、検出値 Bsを算出する。図19および図20に示した例では、第3の位置と第4の位置は、それぞれ、第1の位置と第2の位置に対して、電気角90°に相当する量だけずれており、検出値 As, Bsの位相は、電気角90°だけ異なる。これらの例では、第7の演算回路211は、下記の式(8)によって、sを算出する。

40

【0145】

$$s = (As + Bs + \dots / 2) / 2 \dots (8)$$

【0146】

次に、回転磁界センサ121の効果について説明する。本実施の形態に係る回転磁界センサ121は、回転磁界に起因して発生する角度誤差を低減するのに適している。始めに

50

、図19、図20および図22を参照して、回転磁界に起因して角度誤差が発生する理由について説明する。図示しないが、図19に示した例では、第1の部分磁界MF1は、磁石123の半径方向の成分 H_r と、回転中心Cに垂直な平面内において、 H_r に直交する方向の成分 H_{θ} とを含んでいる。図示しないが、図20に示した例では、第1の部分磁界MF1は、第1の検出部10Aと第2の検出部20Aが並べられた方向に垂直な仮定の平面内において、磁石133の移動方向に直交する方向の成分 H_r と、この平面内において、 H_r に直交する方向の成分 H_{θ} とを含んでいる。

【0147】

ここで、図19または図20に示した例において、第1の印加磁界の成分が第1の部分磁界MF1のみであって、第1の検出部10Aによって第1の印加磁界の方向を検出して第1の角度検出値 θ_1 を得る場合を考える。図22は、この場合における H_r 、 H_{θ} 、 θ_1 ならびに第1の角度誤差の関係の一例を示している。本実施の形態では、第1の角度誤差を記号 d_1 で表す。図22において、横軸は、角度 θ_1 を示し、縦軸は、 H_r 、 H_{θ} 、 θ_1 、 d_1 を示している。なお、理解を容易にするために、図22における第1の角度誤差 d_1 の波形は、振幅を実際よりも大きく描いている。図19または図20に示した例では、第1の部分磁界MF1の方向や第1の部分磁界MF1の一方向の成分の強度が正弦関数的に変化しない場合がある。この場合、第1の角度検出値 θ_1 は、第1の印加磁界の成分が第1の部分磁界MF1のみであって、第1の部分磁界MF1の方向が理想的に回転する場合に想定される第1の角度 θ_1 の理論値に対する第1の角度誤差 d_1 を含むことになる。この場合における第1の角度誤差 d_1 の変化は、第1の部分磁界MF1の方向の変化に依存する。第1の角度誤差 d_1 の誤差周期は、第1の部分磁界MF1の方向の回転の周期の1/2である。

【0148】

同様に、第2の検出部20Aによって第2の印加磁界の方向を検出して第2の角度検出値 θ_2 を得る場合も、第2の角度検出値 θ_2 は、第2の印加磁界の成分が第2の部分磁界MF2のみであって、第2の部分磁界MF2の方向が理想的に回転する場合に想定される第2の角度 θ_2 の理論値に対する第2の角度誤差を含むことになる。本実施の形態では、第2の角度誤差を記号 d_2 で表す。この場合における第2の角度誤差 d_2 の変化は、第2の部分磁界MF2の方向の変化に依存する。第2の角度誤差 d_2 の誤差周期は、第2の部分磁界MF2の方向の回転の周期の1/2である。

【0149】

また、第3の検出部10Bによって第3の印加磁界の方向を検出して第3の角度検出値 θ_3 を得る場合も、第3の角度検出値 θ_3 は、第3の印加磁界の成分が第3の部分磁界MF3のみであって、第3の部分磁界MF3の方向が理想的に回転する場合に想定される第3の角度 θ_3 の理論値に対する第3の角度誤差を含むことになる。本実施の形態では、第3の角度誤差を記号 d_3 で表す。この場合における第3の角度誤差 d_3 の変化は、第3の部分磁界MF3の方向の変化に依存する。第3の角度誤差 d_3 の誤差周期は、第3の部分磁界MF3の方向の回転の周期の1/2である。

【0150】

また、第4の検出部20Bによって第4の印加磁界の方向を検出して第4の角度検出値 θ_4 を得る場合も、第4の角度検出値 θ_4 は、第4の印加磁界の成分が第4の部分磁界MF4のみであって、第4の部分磁界MF4の方向が理想的に回転する場合に想定される第4の角度 θ_4 の理論値に対する第4の角度誤差を含むことになる。本実施の形態では、第4の角度誤差を記号 d_4 で表す。この場合における第4の角度誤差 d_4 の変化は、第4の部分磁界MF4の方向の変化に依存する。第4の角度誤差 d_4 の誤差周期は、第4の部分磁界MF4の方向の回転の周期の1/2である。

【0151】

前述のように、第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2は、磁界の方向が互いに180°異なり且つ同じ回転方向に回転するものであり、第3の部分磁界MF3と第4の部分磁界MF4は、磁界の方向が互いに180°異なり且つ第1および第2の部分磁界M

10

20

30

40

50

F 1 , M F 2 と同じ回転方向に回転するものである。従って、第 1 ないし第 4 の部分磁界 M F 1 , M F 2 , M F 3 , M F 4 の方向の回転の周期は互いに等しく、第 1 ないし第 4 の角度誤差 d_1, d_2, d_3, d_4 は、第 1 ないし第 4 の部分磁界 M F 1 , M F 2 , M F 3 , M F 4 の方向の変化に伴って互いに等しい誤差周期で周期的に変化する。

【 0 1 5 2 】

次に、図 2 3 および図 2 4 を参照して、回転磁界センサ 1 2 1 によって、回転磁界に起因して発生する角度誤差を低減できることを説明する。図 2 3 において、(a) は、検出値 A_s と、検出値 A_s に含まれる角度誤差 d_A との関係を示している。図 2 3 において、(b) は、検出値 B_s と、検出値 B_s に含まれる角度誤差 d_B との関係を示している。図 2 3 では、第 1 の基準位置における回転磁界の方向が第 1 の基準方向に対してなす角度を記号 A で表し、第 2 の基準位置における回転磁界の方向が第 2 の基準方向に対してなす角度を記号 B で表している。前述のように、検出値 A_s, B_s の算出方法は、いずれも第 1 の実施の形態における検出値 s の算出方法と同じである。例えば、第 1 の実施の形態で説明したように、第 1 の方向 D_1 と第 2 の方向 D_2 が互いに 180° 異なり、第 3 の方向 D_3 と第 4 の方向 D_4 も互いに 180° 異なっている場合、検出値 A_s, B_s は、いずれも、第 1 の実施の形態における式 (1) によって算出される。式 (1) から理解されるように、検出値 A_s は、第 1 の角度検出値 1_s と第 2 の角度検出値 2_s の両方と対応関係を有していることから、検出値 A_s に含まれる角度誤差 d_A も、第 1 の角度検出値 1_s に含まれる第 1 の角度誤差 d_1 と第 2 の角度検出値 2_s に含まれる第 2 の角度誤差 d_2 の両方と対応関係を有している。角度誤差 d_1, d_2, d_A の位相は一致している。同様に、検出値 B_s は、第 3 の角度検出値 3_s と第 4 の角度検出値 4_s の両方と対応関係を有していることから、検出値 B_s に含まれる角度誤差 d_B も、第 3 の角度検出値 3_s に含まれる第 3 の角度誤差 d_3 と第 4 の角度検出値 4_s に含まれる第 4 の角度誤差 d_4 の両方と対応関係を有している。角度誤差 d_3, d_4, d_B の位相は一致している。

10

20

【 0 1 5 3 】

図 2 3 に示した例では、角度誤差 d_A, d_B の振幅は $\pm 0.17^\circ$ である。本実施の形態では、第 3 の位置と第 4 の位置は、それぞれ、第 1 の位置と第 2 の位置に対して、誤差周期の $1/2$ (電気角 90°) に相当する量だけずれており、検出値 A_s, B_s の位相は、誤差周期の $1/2$ (電気角 90°) だけ異なる。従って、検出値 s を算出する際に、角度誤差 d_A の位相と角度誤差 d_B の位相は、互いに逆相になる。これにより、角度誤差 d_A と角度誤差 d_B とが相殺される。

30

【 0 1 5 4 】

図 2 4 は、上述のようにして算出された検出値 s と、この検出値 s に含まれる角度誤差との関係を表している。図 2 4 では、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度を記号 θ で表し、検出値 s に含まれる角度誤差を記号 d で表している。図 2 4 に示されるように、角度誤差 d は、角度誤差 d_A, d_B に比べて、大幅に小さくなっている。図 2 4 に示した例では、角度誤差 d の振幅は $\pm 0.03^\circ$ である。

【 0 1 5 5 】

なお、本実施の形態では、第 3 の位置と第 4 の位置は、それぞれ、第 1 の位置と第 2 の位置に対して、誤差周期の $1/2$ に相当する量だけずれている。しかし、第 3 の位置と第 4 の位置は、それぞれ、第 1 の位置と第 2 の位置に対して、誤差周期の $1/2$ の奇数倍に相当する量だけずれていればよい。この場合に、角度誤差 d_A と角度誤差 d_B が相殺されて、検出値 s に含まれる角度誤差 d を大幅に低減することができる。

40

【 0 1 5 6 】

また、本実施の形態では、検出値 A_s, B_s の位相差は、電気角 90° に限らず任意の大きさでよい。検出値 A_s, B_s の位相差を ϕ とすると、第 7 の演算回路 2 1 1 は、下記の式 (9) によって、 s を算出する。

【 0 1 5 7 】

$$s = (A_s + B_s + \dots) / 2 \quad \dots (9)$$

50

【 0 1 5 8 】

また、本実施の形態によれば、回転磁界センサ 1 2 1 に対して外部から、回転磁界以外のノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合であっても、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した検出値 A_s 、 B_s の誤差を低減することが可能になる。以下、これについて詳しく説明する。ノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合には、第 1 の印加磁界は、第 1 の部分磁界 $MF 1$ とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界になり、第 2 の印加磁界は、第 2 の部分磁界 $MF 2$ とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界になる。前述のように、第 3 の演算回路 3 0 A における検出値 A_s の算出方法は、第 1 の実施の形態における検出値 s の算出方法と同じである。従って、第 1 の実施の形態で説明したように、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して生じる第 1 の角度検出値 $1 s$ の第 1 のノイズ誤差と、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して生じる第 2 の角度検出値 $2 s$ の第 2 のノイズ誤差は、正負の符号が反対の値になる。そのため、本実施の形態によれば、第 1 の実施の形態における説明と同じ理由によって、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した検出値 A_s の誤差を低減することが可能になる。

10

【 0 1 5 9 】

同様に、ノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合には、第 3 の印加磁界は、第 3 の部分磁界 $MF 3$ とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界になり、第 4 の印加磁界は、第 4 の部分磁界 $MF 4$ とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界になる。この場合、第 1 および第 2 のノイズ誤差と同様に、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して、第 3 の角度検出値 $3 s$ には第 3 のノイズ誤差が生じ、第 4 の角度検出値 $4 s$ には第 4 のノイズ誤差が生じる。前述のように、第 6 の演算回路 3 0 B における検出値 B_s の算出方法は、第 1 の実施の形態における検出値 s の算出方法と同じである。従って、第 3 のノイズ誤差と第 4 のノイズ誤差は、正負の符号が反対の値になる。そのため、本実施の形態によれば、第 1 の実施の形態における説明と同じ理由によって、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した検出値 B_s の誤差を低減することが可能になる。

20

【 0 1 6 0 】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第 1 の実施の形態と同様である。

【 0 1 6 1 】

[第 6 の実施の形態]

次に、本発明の第 6 の実施の形態に係る回転磁界センサについて説明する。本実施の形態に係る回転磁界センサ 1 4 1 は、回転磁界に起因して発生する角度誤差の成分と、MR 素子に起因して発生する角度誤差の成分の両方を低減することを可能にするものである。

30

【 0 1 6 2 】

始めに、図 2 5 を参照して、本実施の形態に係る回転磁界センサ 1 4 1 の構成について説明する。図 2 5 は、本実施の形態に係る回転磁界センサ 1 4 1 の概略の構成を示す斜視図である。回転磁界センサ 1 4 1 の構成は、基本的には、図 1 9 に示した第 5 の実施の形態に係る回転磁界センサ 1 2 1 と同じである。本実施の形態では、第 1 の検出部 1 0 A が第 1 の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第 1 の方向 $D 1$ と、第 2 の検出部 2 0 A が第 2 の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第 2 の方向 $D 2$ は、第 1 および第 2 の部分磁界 $MF 1$ 、 $MF 2$ の回転方向について、 45° の奇数倍だけ異なっている。同様に、第 3 の検出部 1 0 B が第 3 の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第 3 の方向 $D 3$ と、第 4 の検出部 2 0 B が第 4 の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第 4 の方向 $D 4$ は、第 3 および第 4 の部分磁界 $MF 3$ 、 $MF 4$ の回転方向について、 45° の奇数倍だけ異なっている。これを実現するために、図 2 5 に示した例では、第 2 および第 4 の検出部 2 0 A、2 0 B の姿勢を、図 1 9 に示した状態と異ならせている。図 2 5 に示した例では、第 2 および第 4 の検出部 2 0 A、2 0 B は、それぞれ、図 1 9 に示した状態から、回転中心 C に垂直な仮想の平面内において、検出部 2 0 A、2 0 B のそれぞれの中心を通り回転中心 C に平行な軸を中心として 45° 回転した姿勢で配置されている。第 1 および第 3 の検出部 1 0 A、1 0 B の姿勢は、図 1 9 に示した状態と同じである。

40

50

【0163】

次に、図26を参照して、本実施の形態における変形例の回転磁界センサ141の構成について説明する。図26は、本実施の形態における変形例の回転磁界センサ141の概略の構成を示す斜視図である。変形例の回転磁界センサ141の構成は、基本的には、図20に示した第5の実施の形態における変形例の回転磁界センサ121と同じである。変形例では、第2および第4の検出部20A, 20Bの姿勢が、図20に示した状態とは異なっている。具体的には、検出部20A, 20Bは、それぞれ、図20に示した状態から、検出部20A, 20Bが並べられた仮定の平面内において、検出部20A, 20Bのそれぞれの中心を通り上記仮定の平面に垂直な軸を中心として45°回転した姿勢で配置されている。第1および第3の検出部10A, 10Bの姿勢は、図20に示した状態と同じである。なお、検出部20A, 20Bの姿勢を上記のように設定する代わりに、検出部20A, 20Bに含まれるMR素子における磁化固定層の磁化の方向を、第5の実施の形態における方向に対して45°回転してもよい。あるいは、検出部10A, 10Bを図20に示した状態から、検出部10A, 10Bが並べられた仮定の平面内において、検出部10A, 10Bのそれぞれの中心を通り上記仮定の平面に垂直な軸を中心として-45°回転した姿勢で配置してもよい。あるいは、検出部10A, 10Bに含まれるMR素子における磁化固定層の磁化の方向を、第5の実施の形態における方向に対して-45°回転してもよい。

10

【0164】

図25および図26に示した例では、第1の検出部10Aが第1の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第1の方向D1と、第2の検出部20Aが第2の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第2の方向D2は、第1および第2の部分磁界MF1, MF2の回転方向について、45°の奇数倍だけ異なっている。そのため、第4の実施の形態で説明したように、第1の印加磁界の方向が第1の方向D1に対してなす第1の角度 θ_1 の検出値である第1の角度検出値 s_1 の位相と、第2の印加磁界の方向が第2の方向D2に対してなす第2の角度 θ_2 の検出値である第2の角度検出値 s_2 の位相は、 θ_2/θ_1 (電気角45°)の奇数倍だけ異なっている。

20

【0165】

同様に、第3の検出部10Bが第3の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第3の方向D3と、第4の検出部20Bが第4の印加磁界の方向を表すときの基準の方向である第4の方向D4は、第3および第4の部分磁界MF3, MF4の回転方向について、45°の奇数倍だけ異なっている。そのため、第4の実施の形態で説明したように、第3の印加磁界の方向が第3の方向D3に対してなす第3の角度 θ_3 の検出値である第3の角度検出値 s_3 の位相と、第4の印加磁界の方向が第4の方向D4に対してなす第4の角度 θ_4 の検出値である第4の角度検出値 s_4 の位相は、 θ_4/θ_3 (電気角45°)の奇数倍だけ異なっている。

30

【0166】

また、図25および図26に示した例では、第5の実施の形態と同様に、第3の位置と第4の位置は、それぞれ、第1の位置と第2の位置に対して、電気角90°に相当する量だけずれており、検出値 s_A の位相と検出値 s_B の位相は、電気角90°だけ異なっている。

40

【0167】

次に、本実施の形態における、基準位置における回転磁界の方向が基準方向に対してなす角度の検出値 s の算出方法について説明する。本実施の形態における第1の複合検出部210Aでは、第1の検出部10Aによって得られた第1の角度検出値 s_1 と、第2の検出部20Aによって得られた第2の角度検出値 s_2 とに基づいて、検出値 s_A を算出する。本実施の形態における第2の複合検出部210Bでは、第3の検出部10Bによって得られた第3の角度検出値 s_3 と、第4の検出部20Bによって得られた第4の角度検出値 s_4 とに基づいて、検出値 s_B を算出する。検出値 s_A , s_B の算出方法は、第4の実施の形態における検出値 s の算出方法と同じである。

50

【 0 1 6 8 】

本実施の形態における第7の演算回路211は、複合検出部210A, 210Bによって得られた検出値 A_s , B_s に基づいて、検出値 s を算出する。第7の演算回路211における検出値 s の算出方法は、第5の実施の形態と同じである。

【 0 1 6 9 】

次に、回転磁界センサ141の効果について説明する。始めに、角度誤差が、回転磁界に起因して発生する角度誤差の成分と、MR素子に起因して発生する角度誤差の成分とを含む場合があることについて説明する。図25および図26に示した例では、第5の実施の形態で説明したように、第1ないし第4の角度検出値 1_s , 2_s , 3_s , 4_s は、それぞれ、回転磁界に起因して発生する角度誤差の成分を含む場合がある。また、第4の実施の形態で説明したように、第1ないし第4の角度検出値 1_s , 2_s , 3_s , 4_s は、それぞれ、MR素子に起因して発生する角度誤差の成分を含む場合がある。

10

【 0 1 7 0 】

従って、第1の角度検出値 1_s における第1の角度誤差 d_1 、第2の角度検出値 2_s における第2の角度誤差 d_2 、第3の角度検出値 3_s における第3の角度誤差 d_3 、および第4の角度検出値 4_s における第4の角度誤差 d_4 は、それぞれ、回転磁界に起因して発生する第1の誤差成分と、MR素子に起因して発生する第2の誤差成分とを含む場合がある。第1の誤差成分は、回転磁界の方向の変化に依存して、回転磁界の方向の回転の周期の $1/2$ すなわち電気角 180° の第1の誤差周期で変化する。第2の誤差成分は、第1ないし第8の検出回路11A, 12A, 21A, 22A, 11B, 12B, 21B, 22B (図21参照) の出力信号の周期の $1/4$ すなわち電気角 90° の第2の誤差周期で変化する。

20

【 0 1 7 1 】

本実施の形態では、第1の角度検出値 1_s の位相と第2の角度検出値 2_s の位相を、第2の誤差周期の $1/2$ (電気角 45°) の奇数倍だけ異ならせている。また、第3の角度検出値 3_s の位相と第4の角度検出値 4_s の位相を、第2の誤差周期の $1/2$ (電気角 45°) の奇数倍だけ異ならせている。本実施の形態では、第4の実施の形態における検出値 s の算出方法と同じ方法によって、検出値 A_s , B_s を算出する。そのため、本実施の形態によれば、検出値 A_s を算出する際に、第1の角度誤差 d_1 中の第2の誤差成分と第2の角度誤差 d_2 中の第2の誤差成分とが相殺され、検出値 B_s を算出する際に、第3の角度誤差 d_3 中の第2の誤差成分と第4の角度誤差 d_4 中の第2の誤差成分とが相殺される。

30

【 0 1 7 2 】

また、第4の実施の形態における検出値 s の算出方法と同じ方法によって、検出値 A_s , B_s を算出することから、回転磁界センサ141に対して外部から、回転磁界以外のノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合であっても、検出値 A_s , B_s を算出する際に、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した検出値 A_s , B_s の誤差を低減することが可能になる。

【 0 1 7 3 】

更に、本実施の形態では、第3の位置と第4の位置は、それぞれ、第1の位置と第2の位置に対して、第1の誤差周期の $1/2$ (電気角 90°) に相当する量だけずれている。本実施の形態では、第5の実施の形態と同じ方法によって、検出値 s を算出する。そのため、本実施の形態によれば、検出値 s を算出する際に、検出値 A_s に含まれる第1および第2の角度誤差 d_1 , d_2 中の第1の誤差成分と、検出値 B_s に含まれる第3および第4の角度誤差 d_3 , d_4 中の第1の誤差成分とが相殺される。なお、第5の実施の形態と同様に、本実施の形態においても、第3の位置と第4の位置は、それぞれ、第1の位置と第2の位置に対して、第1の誤差周期の $1/2$ の奇数倍に相当する量だけずれていればよい。

40

【 0 1 7 4 】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第4または第5の実施の形態

50

と同様である。

【0175】

なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、各実施の形態における複数の検出部の配置は一例であり、複数の検出部の配置は、特許請求の範囲に記載された要件を満たす範囲内で種々の変更が可能である。

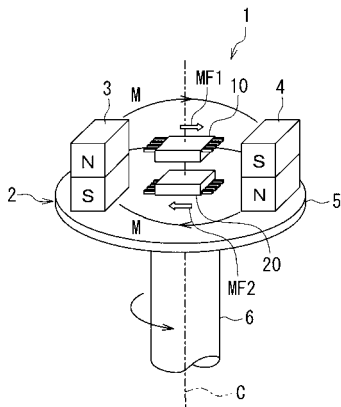
【符号の説明】

【0176】

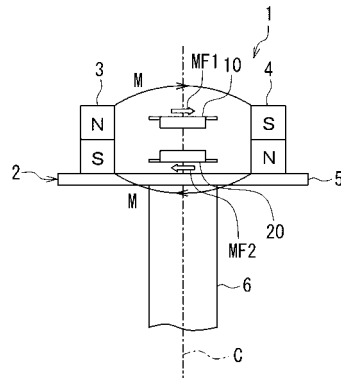
1 ... 回転磁界センサ、2 ... 磁界発生部、3, 4 ... 磁石、5 ... 板部、6 ... 軸部、10 ... 第1の検出部、11 ... 第1の検出回路、12 ... 第2の検出回路、13 ... 第1の演算回路、14, 16, 24, 26 ... ホイートストンブリッジ回路、20 ... 第2の検出部、21 ... 第3の検出回路、22 ... 第4の検出回路、23 ... 第2の演算回路、30 ... 第3の演算回路。

10

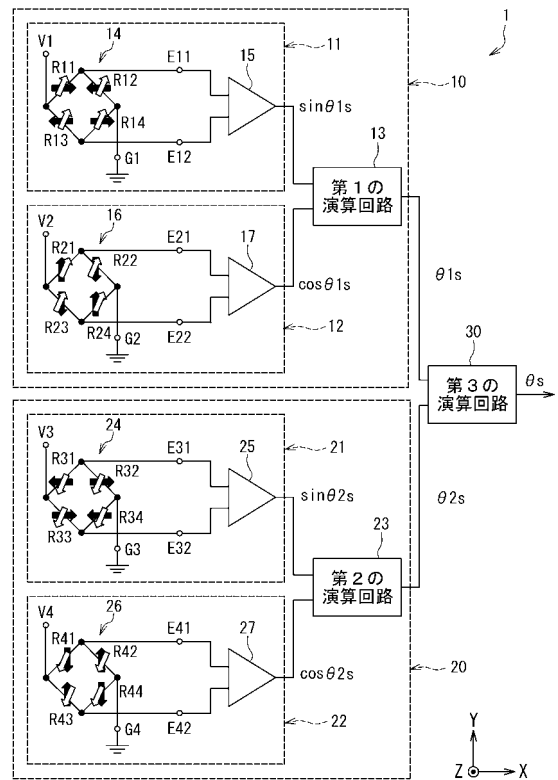
【図1】



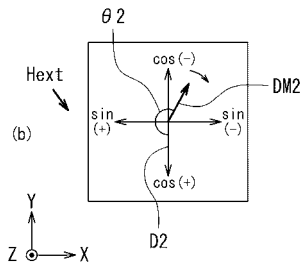
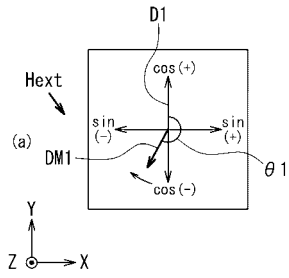
【図2】



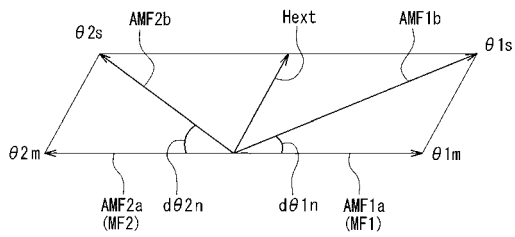
【図3】



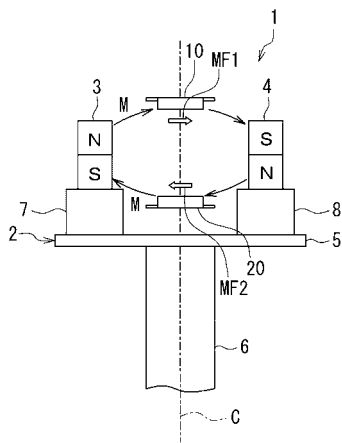
【 図 4 】



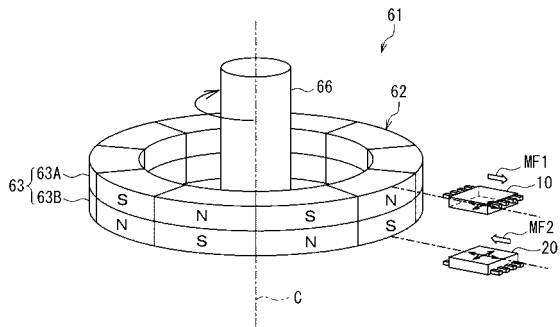
【 図 5 】



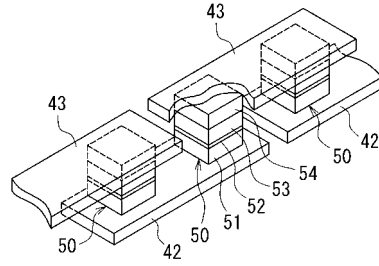
【 図 8 】



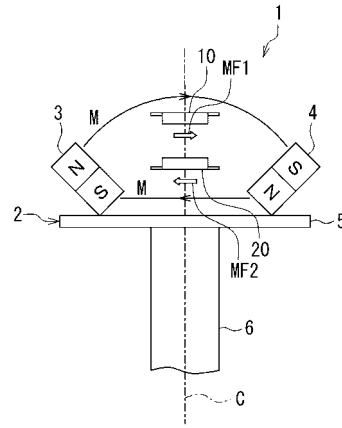
【 図 9 】



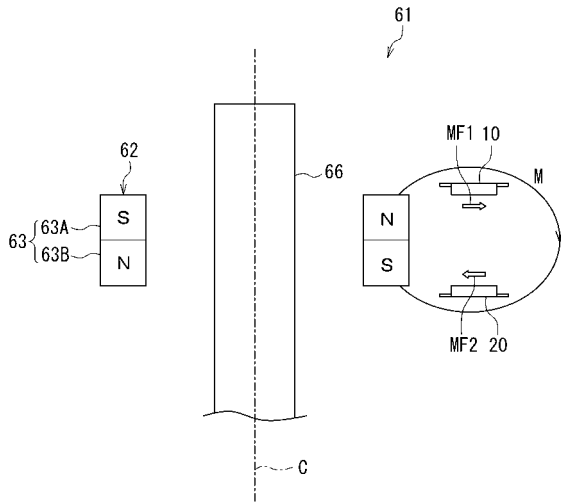
【 図 6 】



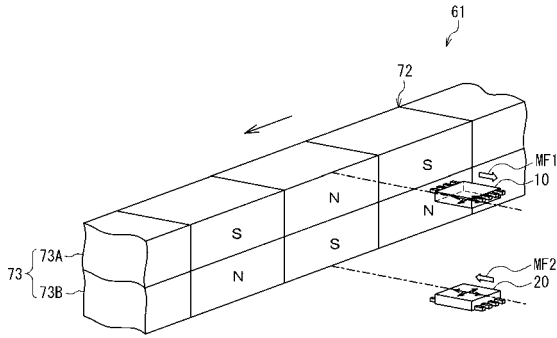
【 図 7 】



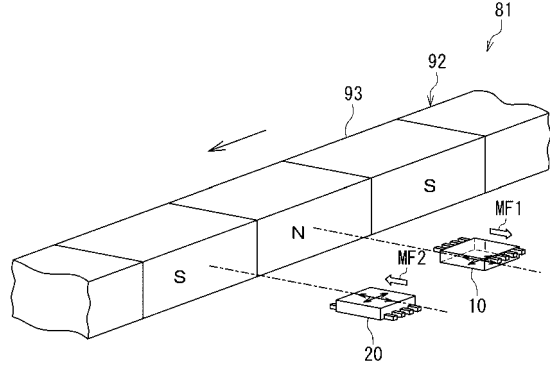
【 図 10 】



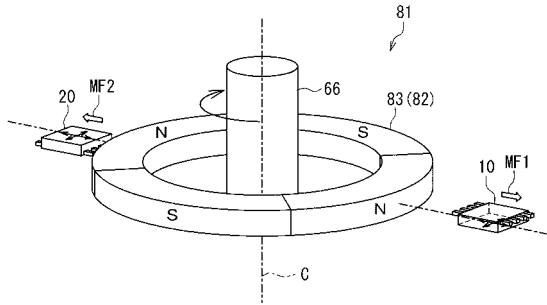
【図11】



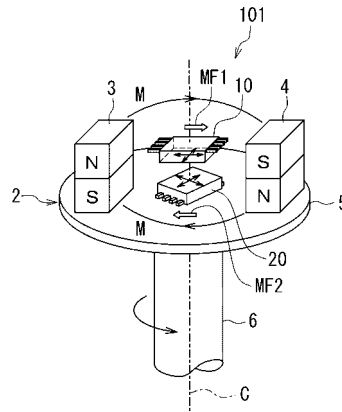
【図13】



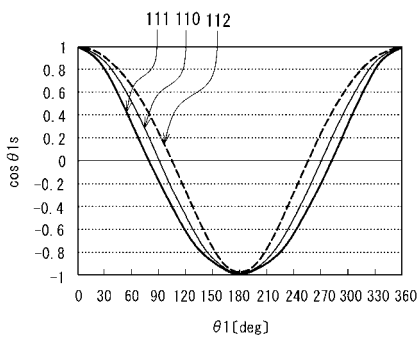
【図12】



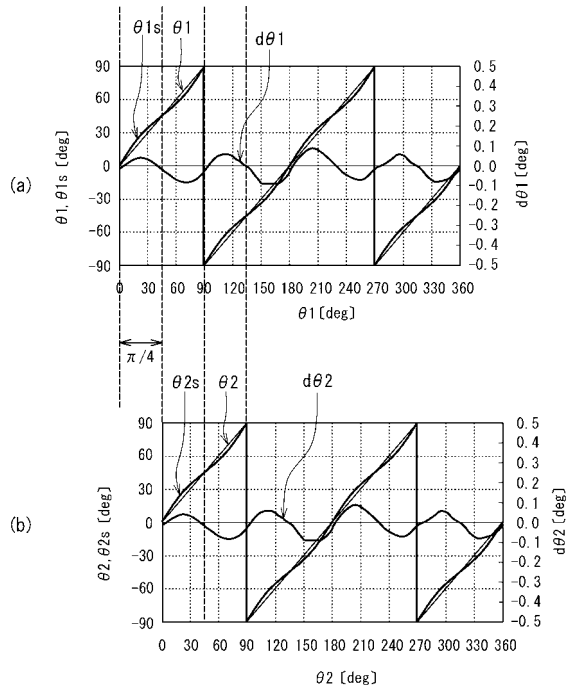
【図14】



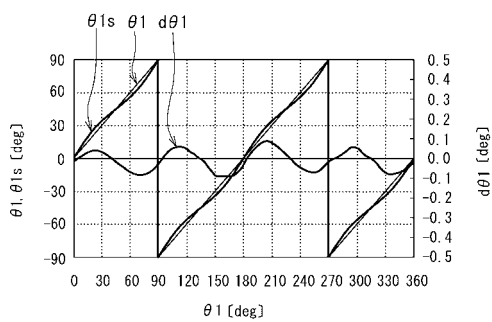
【図15】



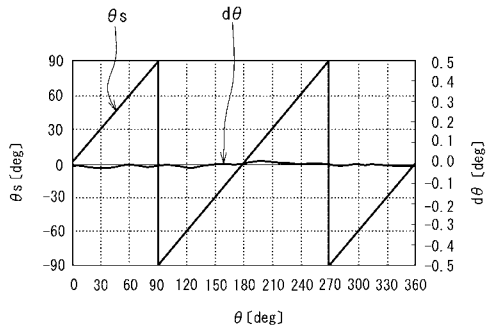
【図17】



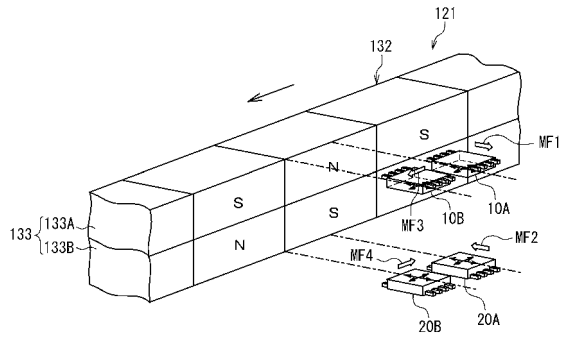
【図16】



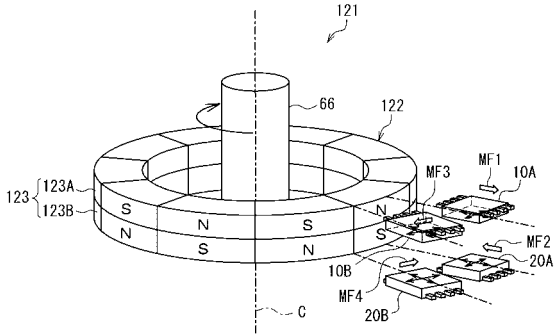
【図18】



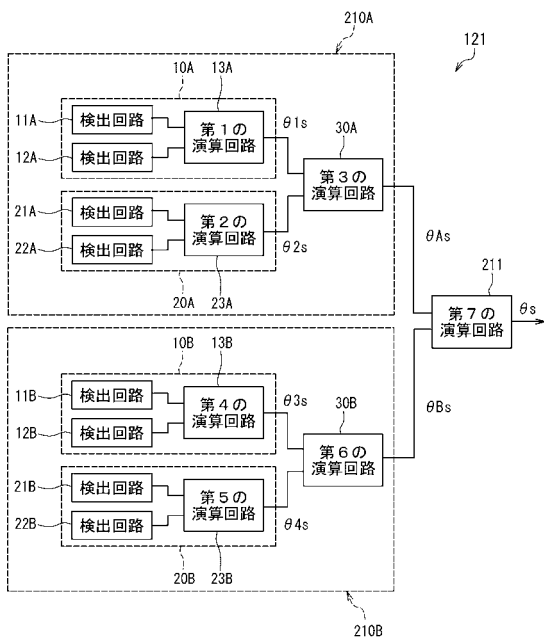
【図20】



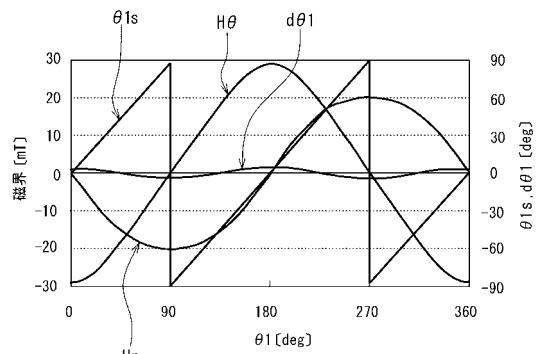
【図19】



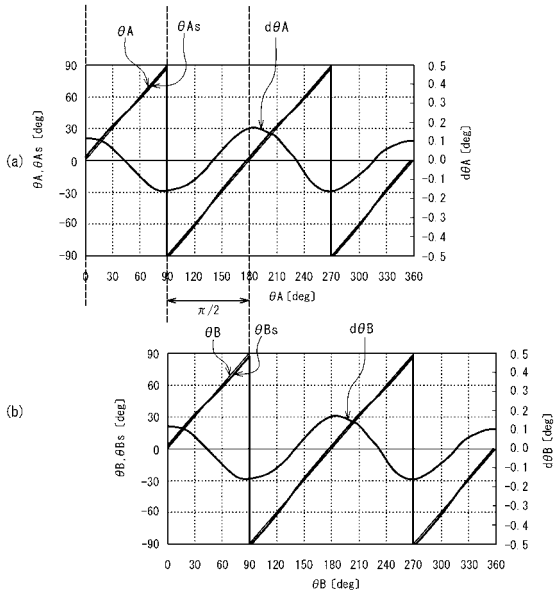
【図21】



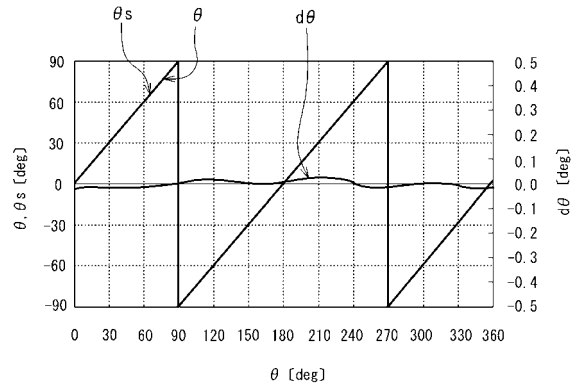
【図22】



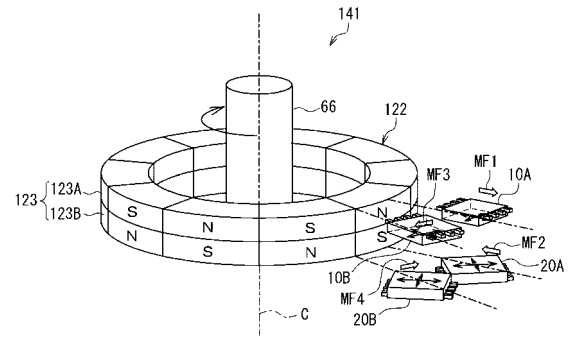
【 2 3 】



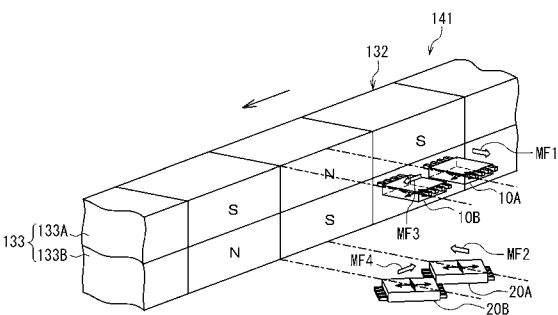
【 2 4 】



【 2 5 】



【 2 6 】



フロントページの続き

審査官 岡田 卓弥

- (56)参考文献 特開2002-22406(JP,A)
特開2002-323345(JP,A)
特開2006-250580(JP,A)
特開2007-155618(JP,A)
特開2007-271443(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01D 5/00 - 5/252
G01D 5/39 - 5/62
G01B 7/00 - 7/34