

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5062449号
(P5062449)

(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 42 頁)

(21) 出願番号	特願2010-179934 (P2010-179934)	(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2012-37466 (P2012-37466A)		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6月28日 (2011.6.28)		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の印加磁界を検出する第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の印加磁界を検出する第2の検出部とを備え、

前記第1の検出部は、前記第1の印加磁界の第1の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の検出回路と、前記第1の印加磁界の第2の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の検出回路とを有し、

前記第2の検出部は、前記第2の印加磁界の第3の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の検出回路と、前記第2の印加磁界の第4の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の検出回路とを有し、

前記第1の方向と第3の方向は、互いに平行であり、

前記第2の方向と第4の方向は、互いに平行であり、

前記第1ないし第4の検出回路は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子を含み、

10

20

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、

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 3 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 $1/2$ の整数倍だけ異なり、

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 および第 3 の検出回路の出力信号に基づいて、前記第 1 の印加磁界の第 1 の方向の成分の強度と前記第 2 の印加磁界の第 3 の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第 1 の信号を生成する第 1 の演算回路と、

前記第 2 および第 4 の検出回路の出力信号に基づいて、前記第 1 の印加磁界の第 2 の方向の成分の強度と前記第 2 の印加磁界の第 4 の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第 2 の信号を生成する第 2 の演算回路と、

前記第 1 および第 2 の信号に基づいて、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角度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。

【請求項 3】

前記第 1 の方向と第 3 の方向は互いに 180° 異なり、前記第 2 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 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対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。

【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。

【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、

10

20

30

40

50

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の印加磁界を検出する第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の印加磁界を検出する第4の検出部とを備え、

前記第3の検出部は、前記第3の印加磁界の第5の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の検出回路と、前記第3の印加磁界の第6の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6の検出回路とを有し、

前記第4の検出部は、前記第4の印加磁界の第7の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の検出回路と、前記第4の印加磁界の第8の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8の検出回路とを有し、

10

前記第5の方向と第7の方向は、互いに平行であり、

前記第6の方向と第8の方向は、互いに平行であり、

前記第5ないし第8の検出回路は、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7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 $1/2$ の整数倍だけ異なり、

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、

20

回転磁界センサは、更に、

前記第5および第7の検出回路の出力信号に基づいて、前記第3の印加磁界の第5の方向の成分の強度と前記第4の印加磁界の第7の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第3の信号を生成する第4の演算回路と、

前記第6および第8の検出回路の出力信号に基づいて、前記第3の印加磁界の第6の方向の成分の強度と前記第4の印加磁界の第8の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第4の信号を生成する第5の演算回路と、

前記第3および第4の信号に基づいて、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第2の角度検出値を算出する第6の演算回路と、

30

前記第3の演算回路によって算出された第1の角度検出値と、前記第6の演算回路によって算出された第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10】

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9記載の回転磁界センサ。

40

【請求項11】

前記第1の方向と第3の方向は互いに 180° 異なり、前記第2の方向と第4の方向は互いに 180° 異なり、前記第5の方向と第7の方向は互いに 180° 異なり、前記第6の方向と第8の方向は互いに 180° 異なることを特徴とする請求項9または10記載の回転磁界センサ。

【請求項12】

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り、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り、前記第1および第2の部

50

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 の角度検出値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 3 の印加磁界の成分が前記第 3 の部分磁界のみであり、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り、前記第 3 および第 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 2 の角度検出値の理論値に対する第 2 の角度誤差を含み、

前記第 1 および第 2 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 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、

10

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 9 ないし 11 のいずれかに記載の回転磁界センサ。

【請求項 13】

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 12 記載の回転磁界センサ。

【請求項 14】

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り、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り、前記第 1 および第 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 1 の角度検出値の理論値に対する第 1 の角度誤差を含み、

20

前記第 2 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り、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り、前記第 3 および第 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 2 の角度検出値の理論値に対する第 2 の角度誤差を含み、

前記第 1 および第 2 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 の角度誤差の変化は、前記第 1 および第 2 の部分磁界の方向の変化に依存し、前記第 2 の角度誤差の変化は、前記第 3 および第 4 の部分磁界の方向の変化に依存し、

30

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 9 ないし 11 のいずれかに記載の回転磁界センサ。

【請求項 15】

前記第 1 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 3 および第 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 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、

40

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 の奇数倍だけ異なることを特徴とする請求項 14 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。

50

【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。

【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。

【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。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

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。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 3 - 6 5 7 9 5 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 9 - 1 8 6 4 1 0 号 公 報

【 特許文献 3 】 特開 2 0 0 5 - 3 1 5 6 9 6 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

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 20 mT であり、ノイズ磁界の大きさが地磁気相当の 0.05 mT 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。

【 0 0 1 1 】

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。

【 0 0 1 2 】

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。

【 0 0 1 3 】

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

10

20

30

40

50

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。

【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、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の印加磁界を検出する第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の印加磁界を検出する第2の検出部とを備えている。

10

【0016】

第1の検出部は、第1の印加磁界の第1の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の検出回路と、第1の印加磁界の第2の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の検出回路とを有している。第2の検出部は、第2の印加磁界の第3の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の検出回路と、第2の印加磁界の第4の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の検出回路とを有している。第1の方向と第3の方向は、互いに平行であり、第2の方向と第4の方向は、互いに平行である。第1ないし第4の検出回路は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子を含んでいる。

20

【0017】

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3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1/2の整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。

30

【0018】

本発明の回転磁界センサは、更に、

第1および第3の検出回路の出力信号に基づいて、第1の印加磁界の第1の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第3の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第1の信号を生成する第1の演算回路と、

第2および第4の検出回路の出力信号に基づいて、第1の印加磁界の第2の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第4の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第2の信号を生成する第2の演算回路と、

40

第1および第2の信号に基づいて、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角度検出値を算出する第3の演算回路を備えている。

【0019】

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の演算回路によって、第1および第3の検出回路の出力信号に基づいて、第1の印加磁界の第1の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第3の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第1の信号が生成される。また、本発明では、第2の演算回路によって、第2および第4の検出回路の出力信号に基づいて、第1の印加磁界の第2の方向の成分

50

の強度と第2の印加磁界の第4の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第2の信号が生成される。そして、第1および第2の信号に基づいて、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角度検出値が算出される。

【0020】

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および第3の検出回路の出力信号のノイズ成分は、正負の符号が反対の値になる。また、この場合には、ノイズ磁界に起因した第2および第4の検出回路の出力信号のノイズ成分は、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。

10

【0021】

また、本発明の回転磁界センサにおいて、第1の方向と第3の方向は互いに 180° 異なり、第2の方向と第4の方向は互いに 180° 異なってもよい。

【0022】

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もよい。

20

【0023】

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の印加磁界を検出する第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の印加磁界を検出する第4の検出部とを備えていてもよい。

30

【0024】

第3の検出部は、第3の印加磁界の第5の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の検出回路と、第3の印加磁界の第6の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6の検出回路とを有している。第4の検出部は、第4の印加磁界の第7の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の検出回路と、第4の印加磁界の第8の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8の検出回路とを有している。第5の方向と第7の方向は、互いに平行であり、第6の方向と第8の方向は、互いに平行である。第5ないし第8の検出回路は、それぞれ、少なくとも1つの磁気検出素子を含んでいる。

40

【0025】

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7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 $1/2$ の整数倍だけ異なっている。第8の検出回路の出力信号の位

50

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。

【0026】

また、本発明の回転磁界センサは、更に、

第5および第7の検出回路の出力信号に基づいて、第3の印加磁界の第5の方向の成分の強度と第4の印加磁界の第7の方向の成分の強度の両方に対応関係を有する第3の信号を生成する第4の演算回路と、

第6および第8の検出回路の出力信号に基づいて、第3の印加磁界の第6の方向の成分の強度と第4の印加磁界の第8の方向の成分の強度の両方に対応関係を有する第4の信号を生成する第5の演算回路と、

第3および第4の信号に基づいて、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第2の角度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第1の角度検出値と、第6の演算回路によって算出された第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。

【0027】

本発明の回転磁界センサが上記第3および第4の検出部、ならびに第4ないし第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3の方向は互いに180°異なり、第2の方向と第4の方向は互いに180°異なり、第5の方向と第7の方向は互いに180°異なり、第6の方向と第8の方向は互いに180°異なってもよい。

【0028】

また、本発明の回転磁界センサが上記第3および第4の検出部、ならびに第4ないし第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り、第2の印加磁界の成分が第2の部分磁界のみであり、第1および第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1の角度検出値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3の印加磁界の成分が第3の部分磁界のみであり、第4の印加磁界の成分が第4の部分磁界のみであり、第3および第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2の角度検出値の理論値に対する第2の角度誤差を含んでいてもよい。この場合、第1および第2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。

【0029】

本発明の回転磁界センサにおいて、第1の角度誤差の変化が第1の角度検出値の変化に依存し、第2の角度誤差の変化が第2の角度検出値の変化に依存する場合、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。また、この場合、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。

【0030】

また、第1の角度検出値が第1の角度誤差を含み、第2の角度検出値が第2の角度誤差を含んでいる場合、第1および第2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の角度誤差の変化は、第1および第2の部分磁界の方向の変化に依存し、第2の角度誤差の変化は、第3および第4の部分磁界の方向の変化に依存していてもよい。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。また、この場合、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。

【0031】

また、第1の角度誤差の変化が、第1および第2の部分磁界の方向の変化に依存し、第2の角度誤差の変化が、第3および第4の部分磁界の方向の変化に依存している場合、第1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み、第2の角度誤差は、第3および第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み、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の奇数倍だけ異なってもよい。

10

【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および第3の検出回路の出力信号のノイズ成分は、正負の符号が反対の値になり、ノイズ磁界に起因した第2および第4の検出回路の出力信号のノイズ成分は、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。

20

【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。

30

【図5】本発明の第1の実施の形態における第1ないし第4の検出回路の出力信号を示す波形図である。

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

【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。

40

【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。

【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。

50

【図 1 5】本発明の第 4 の実施の形態における変形例の回転磁界センサ概略の構成を示す斜視図である。

【図 1 6】本発明の第 4 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 1 7】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 1 8】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。

【図 1 9】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 2 0】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 2 1】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 2 2】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概略の構成を示す斜視図である。

【図 2 3】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。

【図 2 4】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 2 5】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 2 6】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 2 7】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】

[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。

【0035】

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。

【0036】

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 の印加磁界を検出する第 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 の印加磁界を検出する第 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。

【0037】

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

10

20

30

40

50

けられた円板部 5 と、この円板部 5 に取り付けられた一対の磁石 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。一対の磁石 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。

【 0 0 3 8 】

10

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。一対の磁石 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 M F 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 M F 2 を発生させる。

【 0 0 3 9 】

20

第 1 および第 2 の検出部 1 0, 2 0 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 1 0 は、回転中心 C 上における第 1 の部分磁界 M F 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 2 0 は、回転中心 C 上における第 2 の部分磁界 M F 2 の発生位置である第 2 の位置に配置されている。なお、図 1 および図 2 では、第 1 の検出部 1 0 と第 2 の検出部 2 0 を別体として描いているが、第 1 の検出部 1 0 と第 2 の検出部 2 0 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 M F 1 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 M F 2 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 M F 1 の方向と第 2 の部分磁界 M F 2 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 M F 1 と第 2 の部分磁界 M F 2 は、同じ回転方向に回転する。

30

【 0 0 4 0 】

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 方向に垂直な仮想の平面上において、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。

40

【 0 0 4 1 】

第 1 の位置は、第 1 の検出部 1 0 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。ここで、図 4 (a) において記号 “ D 1 ” を付した矢印は、第 1 の検出部 1 0 が第 1 の印加磁界の方向 D M 1 を表すときの基準の方向である。本実施の形態では、方向 D 1 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 M F 1 を含んでいる。第 1 の印加磁界の方向 D M 1 と第 1 の部分磁界 M F 1 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。

【 0 0 4 2 】

50

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。ここで、図4(b)において記号“D2”を付した矢印は、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。方向D1と方向D2は、互いに180°異なっている。本実施の形態では、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。

【0043】

基準位置と基準方向は、それぞれ、第1の位置と方向D1と一致していてもよいし、第2の位置と方向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なる任意の位置と方向であってもよい。

10

【0044】

本実施の形態では、方向D1と方向D2が互いに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。従って、第1の部分磁界MF1の方向が方向D1に対してなす角度と、第2の部分磁界MF2の方向が方向D2に対してなす角度は等しくなる。また、第1の印加磁界の成分が第1の部分磁界MF1のみであり、第2の印加磁界の成分が第2の部分磁界MF2のみである場合には、第1の印加磁界の方向DM1が方向D1に対してなす角度と、第2の印加磁界の方向DM2が方向D2に対してなす角度は等しくなる。以下、この角度を記号 θ で表す。図4には、角度 θ も示している。角度 θ は、方向D1, D2から時計回り方向に見たときに正の値で表し、方向D1, D2から反時計回り方向に見たときに負の値で表す。

20

【0045】

回転磁界センサ1は、第1および第2の印加磁界について、それぞれ2つの基準となる方向の成分を検出することによって、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を検出する。以下、第1の印加磁界の一成分の基準となる方向を第1の方向と呼び、第1の印加磁界の他の一成分の基準となる方向を第2の方向と呼ぶ。また、第2の印加磁界の一成分の基準となる方向を第3の方向と呼び、第2の印加磁界の他の一成分の基準となる方向を第4の方向と呼ぶ。第1の方向と第3の方向は、互いに平行であり、第2の方向と第4の方向は、互いに平行である。本実施の形態では特に、第1の方向と第3の方向は互いに180°異なり、第2の方向と第4の方向は互いに180°異なっている。

30

【0046】

方向D1と方向D2は、それぞれ、第1の方向と第3の方向と一致していてもよいし、第2の方向と第4の方向と一致していてもよいし、これらの方向と異なる任意の方向であってもよい。

【0047】

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の印加磁界を検出する。第1の検出部10は、第1の印加磁界の第1の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の検出回路11と、第1の印加磁界の第2の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の検出回路12とを有している。

40

【0048】

第2の検出部20は、第2の印加磁界を検出する。第2の検出部20は、第2の印加磁界の第3の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の検出回路21と、第2の印加磁界の第4の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の検出回路22とを有している。

【0049】

50

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3の検出回路21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1/2の整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。

【0050】

回転磁界センサ1は、更に、第1ないし第3の演算回路31, 32, 33を備えている。第1の演算回路31は、第1および第3の検出回路11, 21の出力信号に基づいて、第1の印加磁界の第1の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第3の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第1の信号を生成する。第2の演算回路32は、第2および第4の検出回路12, 22の出力信号に基づいて、第1の印加磁界の第2の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第4の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第2の信号を生成する。第3の演算回路33は、第1の信号および第2の信号に基づいて、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角度検出値 s を算出する。第1ないし第3の演算回路31, 32, 33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。第1および第2の信号の生成方法と s の算出方法については、後で詳しく説明する。

【0051】

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。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。

【0052】

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。磁気検出素子R11の他端は、磁気検出素子R12の一端と出力ポートE11に接続されている。磁気検出素子R13の他端は、磁気検出素子R14の一端と出力ポートE12に接続されている。磁気検出素子R12, R14の各他端は、グランドポートG1に接続されている。電源ポートV1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G1はグラウンドに接続される。差分検出器15は、出力ポートE11, E12の電位差に対応する信号を第1の演算回路31に出力する。

【0053】

第2の検出回路12は、ホイートストンブリッジ回路16と、差分検出器17とを有している。ホイートストンブリッジ回路16は、電源ポートV2と、グランドポートG2と、2つの出力ポートE21, E22と、直列に接続された第1の対の磁気検出素子R21, R22と、直列に接続された第2の対の磁気検出素子R23, R24とを含んでいる。磁気検出素子R21, R23の各一端は、電源ポートV2に接続されている。磁気検出素子R21の他端は、磁気検出素子R22の一端と出力ポートE21に接続されている。磁気検出素子R23の他端は、磁気検出素子R24の一端と出力ポートE22に接続されている。磁気検出素子R22, R24の各他端は、グランドポートG2に接続されている。電源ポートV2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G2はグラ

ンドに接続される。差分検出器 17 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 2 の演算回路 3 2 に出力する。

【 0 0 5 4 】

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 はグラウンドに接続される。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 1 の演算回路 3 1 に出力する。

10

【 0 0 5 5 】

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 はグラウンドに接続される。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 3 2 に出力する。

20

【 0 0 5 6 】

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。）14 , 16 , 24 , 26 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 素子の代わりに 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。

30

【 0 0 5 7 】

第 1 の検出回路 1 1 では、MR 素子 R 1 1 , R 1 4 における磁化固定層の磁化の方向は、第 1 の方向に平行な方向であり、MR 素子 R 1 2 , R 1 3 における磁化固定層の磁化の方向は、MR 素子 R 1 1 , R 1 4 における磁化固定層の磁化の方向とは反対の方向である。この場合、第 1 の印加磁界の第 1 の方向の成分の強度に応じて、出力ポート E 1 1 , E 1 2 の電位差が変化する。従って、第 1 の方向は、第 1 の検出回路 1 1 が第 1 の印加磁界を検出するときの基準の方向であり、第 1 の検出回路 1 1 は、第 1 の印加磁界の第 1 の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 3 に示した例では、MR 素子 R 1 1 , R 1 4 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 R 1 2 , R 1 3 における磁化固定層の磁化の方向は - X 方向である。この例では、第 1 の方向は、X 方向と同じ方向になる。

40

50

【 0 0 5 8 】

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、第2の方向に平行な方向であり、MR素子R22, R23における磁化固定層の磁化の方向は、MR素子R21, R24における磁化固定層の磁化の方向とは反対の方向である。この場合、第1の印加磁界の第2の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の方向は、第2の検出回路12が第1の印加磁界を検出するときの基準の方向であり、第2の検出回路12は、第1の印加磁界の第2の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3に示した例では、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。この例では、第2の方向は、Y方向と同じ方向になる。

10

【 0 0 5 9 】

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、第3の方向に平行な方向であり、MR素子R32, R33における磁化固定層の磁化の方向は、MR素子R31, R34における磁化固定層の磁化の方向とは反対の方向である。この場合、第2の印加磁界の第3の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の方向は、第3の検出回路21が第2の印加磁界を検出するときの基準の方向であり、第3の検出回路21は、第2の印加磁界の第3の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3に示した例では、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。この例では、第3の方向は、X方向と同じ方向になる。

20

【 0 0 6 0 】

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、第4の方向に平行な方向であり、MR素子R42, R43における磁化固定層の磁化の方向は、MR素子R41, R44における磁化固定層の磁化の方向とは反対の方向である。この場合、第2の印加磁界の第4の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の方向は、第4の検出回路22が第2の印加磁界を検出するときの基準の方向であり、第4の検出回路22は、第2の印加磁界の第4の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3に示した例では、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。この例では、第4の方向は、Y方向と同じ方向になる。

30

【 0 0 6 1 】

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の上面上において、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。

40

50

【 0 0 6 2 】

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。前述のように、第 1 の演算回路 3 1 は、第 1 および第 3 の検出回路 1 1 , 2 1 の出力信号に基づいて第 1 の信号を生成し、第 2 の演算回路 3 2 は、第 2 および第 4 の検出回路 1 2 , 2 2 の出力信号に基づいて第 2 の信号を生成する。第 3 の演算回路 3 3 は、第 1 の信号および第 2 の信号に基づいて、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角度検出値 s を算出する。

【 0 0 6 3 】

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角度検出値 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。

10

【 0 0 6 4 】

まず、第 1 の検出部 1 0 の第 1 および第 2 の検出回路 1 1 , 1 2 の出力信号とノイズ磁界 H_{ext} との関係について説明する。図 3 に示した例では、第 2 の検出回路 1 2 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 1 1 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 1 1 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 1 2 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 1 2 の出力信号の位相は、第 1 の検出回路 1 1 の出力信号の位相に対して、周期 T の $1/4$ すなわち $\pi/2$ (90°) だけ異なっている。

20

【 0 0 6 5 】

図 4 (a) に示した角度 θ が 0° よりも大きく 180° よりも小さいときは、第 1 の検出回路 1 1 の出力信号は正の値であり、角度 θ が 180° よりも大きく 360° よりも小さいときは、第 1 の検出回路 1 1 の出力信号は負の値である。また、図 4 (a) に示した角度 θ 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 の検出回路 1 2 の出力信号は正の値であり、角度 θ が 90° よりも大きく 270° よりも小さいときは、第 2 の検出回路 1 2 の出力信号は負の値である。以下、第 1 の検出回路 1 1 の出力信号を $\sin \theta_1$ と表し、第 2 の検出回路 1 2 の出力信号を $\cos \theta_1$ と表す。出力信号 $\sin \theta_1$ は、第 1 の印加磁界の第 1 の方向 (X 方向) の成分の強度を表す信号である。出力信号 $\cos \theta_1$ は、第 1 の印加磁界の第 2 の方向 (Y 方向) の成分の強度を表す信号である。

30

【 0 0 6 6 】

図 4 (a) において、記号 H_{ext} を付した矢印は、第 1 の検出部 1 0 に印加されるノイズ磁界 H_{ext} の方向を示している。図示しないが、ノイズ磁界 H_{ext} は、 X 方向に平行な方向の第 1 の成分と、 Y 方向に平行な方向の第 2 の成分とを含んでいる。図 4 (a) に示した例では、ノイズ磁界 H_{ext} の第 1 の成分の方向は、第 1 の方向と同じ方向 (X 方向) であり、ノイズ磁界 H_{ext} の第 2 の成分の方向は、第 2 の方向とは反対の方向 (- Y 方向) である。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 $M F 1$ とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界になる。この場合、出力信号 $\sin \theta_1$ は、ノイズ磁界 H_{ext} の第 1 の成分に起因した正の値のノイズ成分を含み、出力信号 $\cos \theta_1$ は、ノイズ磁界 H_{ext} の第 2 の成分に起因した負の値のノイズ成分を含む。出力信号 $\sin \theta_1$ に含まれるノイズ成分の大きさ (絶対値) を記号 E_s で表し、出力信号 $\cos \theta_1$ に含まれるノイズ成分の大きさを記号 E_c で表すと、出力信号 $\sin \theta_1$, $\cos \theta_1$ は、図 4 (a) に示した角度 θ を用いて、下記の式 (1) , (2) で表される。

40

【 0 0 6 7 】

$$\sin \theta_1 = \sin \theta + E_s \quad \dots (1)$$

$$\cos \theta_1 = \cos \theta - E_c \quad \dots (2)$$

【 0 0 6 8 】

次に、第 2 の検出部 2 0 の第 3 および第 4 の検出回路 2 1 , 2 2 の出力信号とノイズ磁界 H_{ext} との関係について説明する。図 3 に示した例では、第 4 の検出回路 2 2 における

50

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すなわち $\pi/2$ (90°)だけ異なっている。

【0069】

図4(b)に示した角度 θ が0°よりも大きく180°よりも小さいときは、第3の検出回路21の出力信号は正の値であり、角度 θ が180°よりも大きく360°よりも小さいときは、第3の検出回路21の出力信号は負の値である。また、図4(b)に示した角度 θ 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4の検出回路22の出力信号は正の値であり、角度 θ が90°よりも大きく270°よりも小さいときは、第4の検出回路22の出力信号は負の値である。以下、第3の検出回路21の出力信号を $\sin \theta$ と表し、第4の検出回路22の出力信号を $\cos \theta$ と表す。出力信号 $\sin \theta$ は、第2の印加磁界の第3の方向(-X方向)の成分の強度を表す信号である。出力信号 $\cos \theta$ は、第2の印加磁界の第4の方向(-Y方向)の成分の強度を表す信号である。

10

【0070】

図4(b)に示したように、第2の検出部20には、第1の検出部10に印加されるノイズ磁界 H_{ext} と同じ方向と大きさのノイズ磁界 H_{ext} が印加される。前述のように、ノイズ磁界 H_{ext} は、X方向に平行な方向の第1の成分と、Y方向に平行な方向の第2の成分とを含んでいる。図4(b)に示した例では、ノイズ磁界 H_{ext} の第1の成分の方向は、第3の方向とは反対の方向(X方向)であり、ノイズ磁界 H_{ext} の第2の成分の方向は、第4の方向と同じ方向(-Y方向)である。ノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合には、第2の印加磁界は、第2の部分磁界MF2とノイズ磁界 H_{ext} との合成磁界になる。この場合、出力信号 $\sin \theta$ は、ノイズ磁界 H_{ext} の第1の成分に起因した負の値のノイズ成分を含み、出力信号 $\cos \theta$ は、ノイズ磁界 H_{ext} の第2の成分に起因した正の値のノイズ成分を含む。原理的には、出力信号 $\sin \theta$ に含まれるノイズ成分は、大きさは出力信号 $\sin \theta$ に含まれるノイズ成分の大きさ E_s と等しく、正負の符号は反対である。同様に、原理的には、出力信号 $\cos \theta$ に含まれるノイズ成分は、大きさは出力信号 $\cos \theta$ に含まれるノイズ成分の大きさ E_c と等しく、正負の符号は反対である。従って、出力信号 $\sin \theta$, $\cos \theta$ は、図4(b)に示した角度 θ を用いて、下記の式(3) , (4)で表される。

20

30

【0071】

$$\sin \theta = \sin \theta - E_s \dots (3)$$

$$\cos \theta = \cos \theta + E_c \dots (4)$$

【0072】

図5は、第1ないし第4の検出回路11, 12, 21, 22の出力信号の波形を示す説明図である。図5において(a)~(d)は、それぞれ、出力信号 $\sin \theta_1$, $\cos \theta_1$, $\sin \theta_2$, $\cos \theta_2$ の波形を表している。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の方向は互いに180°異なっている。本実施の形態では、更に、第1の方向と第3の方向も互いに180°異なっていることから、出力信号 $\sin \theta_1$ の位相と出力信号 $\sin \theta_2$ の位相は等しくなる。また、本実施の形態では、更に、第2の方向と第4の方向も互いに180°異なっていることから、出力信号 $\cos \theta_1$ の位相と出力信号 $\cos \theta_2$ の位相は等しくなる。

40

【0073】

図5には、各出力信号に含まれるノイズ成分も示している。図5に示した例では、ノイズ磁界 H_{ext} は、周期Tよりも十分に短い時間の間に印加されるパルス状のノイズ磁界である。この場合、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して、出力信号 $\sin \theta_1$ には正の値のノイズ成分が含まれ、出力信号 $\sin \theta_2$ には負の値のノイズ成分が含まれる。また、ノイズ磁界 H_{ext} に起因して、出力信号 $\cos \theta_1$ には負の値のノイズ成分が含まれ、出力信号 $\cos \theta_2$ には正の値のノイズ成分が含まれる。

50

os 2には正の値のノイズ成分が含まれる。式(1), (3)および図5から理解されるように、出力信号sin 1に含まれるノイズ成分は正の値(Es)になり、出力信号sin 2に含まれるノイズ成分は負の値(-Es)になる。また、式(2), (4)および図5から理解されるように、出力信号cos 1に含まれるノイズ成分は負の値(-Ec)になり、出力信号cos 2に含まれる起因したノイズ成分は正の値(Ec)になる。

【0074】

次に、第1の演算回路31における第1の信号の生成方法と、第1の信号とノイズ磁界H_{ext}との関係について説明する。第1の演算回路31は、第1の検出回路11の出力信号sin 1および第3の検出回路21の出力信号sin 2に基づいて、第1の印加磁界の第1の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第3の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第1の信号sin sを生成する。例えば、出力信号sin 1と出力信号sin 2の平均を求め、これを第1の信号sin sとすることができる。この場合、第1の信号sin sは、式(1), (3)を用いて、下記の式(5)で表される。

【0075】

$$\begin{aligned} \sin s &= (\sin 1 + \sin 2) / 2 \\ &= (\sin + Es + \sin - Es) / 2 \\ &= \sin \quad \dots (5) \end{aligned}$$

【0076】

式(5)から、第1の信号sin sはsin と等しくなることが分かる。また、式(1), (3), (5)から理解されるように、出力信号sin 1, sin 2の各々に含まれるノイズ成分は、正負の符号が反対の値になることから、第1の演算回路31では、第1の信号sin sを生成する際に、出力信号sin 1, sin 2の各々に含まれるノイズ成分が相殺される。なお、式(1), (3)から明らかのように、第1の印加磁界の第1の方向の成分の強度を表す出力信号sin 1と、第2の印加磁界の第3の方向の成分の強度を表す出力信号sin 2は、いずれも、sin を含んでいる。従って、第1の信号sin sは、第1の印加磁界の第1の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第3の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する。

【0077】

なお、式(5)では、出力信号sin 1と出力信号sin 2の平均を求めたが、出力信号sin 1と出力信号sin 2を加算して、これを第1の信号sin sとしてもよい。この場合にも、出力信号sin 1, sin 2の各々に含まれるノイズ成分が相殺される。

【0078】

次に、第2の演算回路32における第2の信号の生成方法と、第2の信号とノイズ磁界H_{ext}との関係について説明する。第2の演算回路32は、第2の検出回路12の出力信号cos 1および第4の検出回路22の出力信号cos 2に基づいて、第1の印加磁界の第2の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第4の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第2の信号cos sを生成する。例えば、出力信号cos 1と出力信号cos 2の平均を求め、これを第2の信号cos sとすることができる。この場合、第2の信号cos sは、式(2), (4)を用いて、下記の式(6)で表される。

【0079】

$$\begin{aligned} \cos s &= (\cos 1 + \cos 2) / 2 \\ &= (\cos - Ec + \cos + Ec) / 2 \\ &= \cos \quad \dots (6) \end{aligned}$$

【0080】

式(6)から、第2の信号cos sはcos と等しくなることが分かる。また、式(2), (4), (6)から理解されるように、出力信号cos 1, cos 2の各々に含まれるノイズ成分は、正負の符号が反対の値になることから、第2の演算回路32では、第2の信号cos sを生成する際に、出力信号cos 1, cos 2の各々に含

10

20

30

40

50

まれるノイズ成分が相殺される。なお、式(2)、(4)から明らかなように、第1の印加磁界の第2の方向の成分の強度を表す出力信号 $\cos \theta_1$ と、第2の印加磁界の第4の方向の成分の強度を表す出力信号 $\cos \theta_2$ は、いずれも、 $\cos \theta$ を含んでいる。従って、第2の信号 $\cos \theta$ は、第1の印加磁界の第2の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第4の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する。

【0081】

なお、第1の信号 $\sin \theta$ と同様に、出力信号 $\cos \theta_1$ と出力信号 $\cos \theta_2$ を加算して、これを第2の信号 $\cos \theta$ としてもよい。この場合にも、出力信号 $\cos \theta_1$ 、 $\cos \theta_2$ の各々に含まれるノイズ成分が相殺される。

【0082】

次に、第3の演算回路33における角度検出値 θ の算出方法と、角度検出値 θ とノイズ磁界 H_{ext} との関係について説明する。第3の演算回路33は、第1の信号 $\sin \theta$ および第2の信号 $\cos \theta$ 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角度検出値 θ を算出する。具体的には、例えば、第3の演算回路33は、下記の式(7)によって、 θ を算出する。なお、“atan”は、アークタンジェントを表す。

【0083】

$$\begin{aligned} \theta &= \text{atan}(\sin \theta / \cos \theta) \\ &= \text{atan}(\sin \theta / \cos \theta) \\ &= \dots (7) \end{aligned}$$

【0084】

なお、 360° の範囲内で、式(7)における θ の解には、 180° 異なる2つの値がある。しかし、 $\sin \theta$ と $\cos \theta$ の正負の組み合わせにより、 θ の真の値が、式(7)における θ 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、 $\sin \theta$ が正の値のときは、 θ は 0° よりも大きく 180° よりも小さい。 $\sin \theta$ が負の値のときは、 θ は 180° よりも大きく 360° よりも小さい。 $\cos \theta$ が正の値のときは、 θ 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。 $\cos \theta$ が負の値のときは、 θ は 90° よりも大きく 270° よりも小さい。第3の演算回路33は、式(7)と、上記の $\sin \theta$ と $\cos \theta$ の正負の組み合わせの判定により、 360° の範囲内で θ を求める。

【0085】

式(7)から、角度検出値 θ は角度 θ と等しくなることが分かる。前述のように、第1の信号 $\sin \theta$ を生成する際に、出力信号 $\sin \theta_1$ 、 $\sin \theta_2$ の各々に含まれるノイズ成分が相殺され、第2の信号 $\cos \theta$ を生成する際に、出力信号 $\cos \theta_1$ 、 $\cos \theta_2$ の各々に含まれるノイズ成分が相殺される。その結果、第3の演算回路33では、ノイズ成分を含まない第1の信号 $\sin \theta$ とノイズ成分を含まない第2の信号 $\cos \theta$ とを用いて、 θ を算出することができる。

【0086】

また、ノイズ磁界 H_{ext} の方向が図4に示した例とは反対方向である場合には、ノイズ磁界 H_{ext} の第1の成分の方向は、 $-X$ 方向と同じ方向になり、ノイズ磁界 H_{ext} の第2の成分の方向は、 Y 方向と同じ方向になる。すなわち、この場合には、出力信号 $\sin \theta_1$ に含まれるノイズ成分は負の値になり、出力信号 $\sin \theta_2$ に含まれるノイズ成分は正の値になり、出力信号 $\cos \theta_1$ に含まれるノイズ成分は正の値になり、出力信号 $\cos \theta_2$ に含まれるノイズ成分は負の値になる。この場合にも、第1の信号 $\sin \theta$ を生成する際に、出力信号 $\sin \theta_1$ 、 $\sin \theta_2$ の各々に含まれるノイズ成分が相殺されると共に、第2の信号 $\cos \theta$ を生成する際に、出力信号 $\cos \theta_1$ 、 $\cos \theta_2$ の各々に含まれるノイズ成分が相殺される。

【0087】

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の一方のみを備えている場合には、角度検出値 θ は、ノイズ成分を含む2つの出力信号に基づいて算出される

10

20

30

40

50

。本実施の形態では、上記の例に限らず、ノイズ成分の大きさが0になる場合を除いて、出力信号 $\sin 1$, $\sin 2$ の各々に含まれるノイズ成分は、正負の符号が反対の値になり、出力信号 $\cos 1$, $\cos 2$ の各々に含まれるノイズ成分は、正負の符号が反対の値になる。そのため、上述のように、第1の信号 $\sin s$ を生成する際に、出力信号 $\sin 1$, $\sin 2$ の各々に含まれるノイズ成分が相殺されると共に、第2の信号 $\cos s$ を生成する際に、出力信号 $\cos 1$, $\cos 2$ の各々に含まれるノイズ成分が相殺される。そして、ノイズ成分を含まない第1の信号 $\sin s$ とノイズ成分を含まない第2の信号 $\cos s$ とを用いて、角度検出値 s を算出する。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。

10

【0088】

なお、ここまでは、出力信号 $\cos 1$ の位相は、出力信号 $\sin 1$ の位相に対して、周期 T の $1/4$ だけ異なり、出力信号 $\sin 2$ の位相は出力信号 $\sin 1$ の位相と等しく、出力信号 $\cos 2$ の位相は、出力信号 $\sin 2$ の位相に対して、周期 T の $1/4$ だけ異なる例について説明してきた。しかし、出力信号 $\cos 1$ の位相は、出力信号 $\sin 1$ の位相に対して、周期 T の $1/4$ の奇数倍だけ異なり、出力信号 $\sin 2$ の位相は、出力信号 $\sin 1$ の位相に対して、周期 T の $1/2$ の整数倍だけ異なり、出力信号 $\cos 2$ の位相は、出力信号 $\sin 2$ 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よい。この場合に、第1の信号 $\sin s$ を生成する際に、出力信号 $\sin 1$, $\sin 2$ の各々に含まれるノイズ成分を相殺することができるのと共に、第2の信号 $\cos s$ を生成する際に、出力信号 $\cos 1$, $\cos 2$ の各々に含まれるノイズ成分を相殺することができる。

20

【0089】

なお、上述の説明では、出力信号 $\sin 1$, $\sin 2$ の各々に含まれるノイズ成分の大きさは等しいと仮定したが、これらのノイズ成分の大きさは互いに異なってもよい。この場合にも、出力信号 $\sin 1$, $\sin 2$ の各々に含まれるノイズ成分は、正負の符号が反対の値になる。そのため、式(5)によって第1の信号 $\sin s$ を算出する際に、出力信号 $\sin 1$, $\sin 2$ の各々に含まれるノイズ成分が相殺されて第1の信号 $\sin s$ に含まれるノイズ成分の大きさは、出力信号 $\sin 1$, $\sin 2$ の各々に含まれるノイズ成分の大きさの平均値よりも小さくなる。このように、第1の信号 $\sin s$ に含まれるノイズ成分の大きさが小さくなるため、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。同様に、出力信号 $\cos 1$, $\cos 2$ の各々に含まれるノイズ成分の大きさは互いに異なってもよい。この場合にも、第2の信号 $\cos s$ に含まれるノイズ成分の大きさが小さくなるため、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

【0090】

また、本実施の形態では、ノイズ磁界 H_{ext} がパルス状のノイズ磁界である場合について説明したが、ノイズ磁界 H_{ext} は、磁界の大きさと方向が時間によって変化しないノイズ磁界であってもよいし、磁界の大きさと方向が周期的に変化するノイズ磁界であってもよい。この場合にも、ノイズ磁界 H_{ext} に起因したノイズ成分を相殺することができる。

40

【0091】

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

50

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 $H_{e_x t}$ 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。

【0092】

[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、一对の磁石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

10

【0093】

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。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。

20

【0094】

なお、図7に示した例では、第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2との間で強度の間に差が生じる場合がある。この場合には、第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2の強度を考慮した補正計算を行うことが好ましい。具体的には、例えば、出力信号 $\sin 1$, $\sin 2$ がノイズ成分を含まない状態で、それらの補正後の出力信号の大きさが等しくなるように、出力信号 $\sin 1$, $\sin 2$ の一方に所定の係数を掛けて補正後の出力信号の組を生成し、この補正後の出力信号の組を用いて第1の信号 $\sin s$ を生成する。同様に、出力信号 $\cos 1$, $\cos 2$ がノイズ成分を含まない状態で、それらの補正後の出力信号の大きさが等しくなるように、出力信号 $\cos 1$, $\cos 2$ の一方に所定の係数を掛けて補正後の出力信号の組を生成し、この補正後の出力信号の組を用いて第2の信号 $\cos s$ を生成する。

30

【0095】

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。

40

【0096】

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。また、第2の変形例では、第1の部分磁界MF1と第2の部分磁界MF2との間で強度の間に差が生じないようにすることが可能であり、これにより、前述の補正計算

50

が不要になる。

【 0 0 9 7 】

[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 6 1 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 6 2 を備えている。

【 0 0 9 8 】

磁界発生部 6 2 は、回転位置を検出する対象物である回転軸 6 6 に取り付けられたリング状の磁石 6 3 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 6 6 の中心軸を含む回転中心を示している。磁石 6 3 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 6 6 に固定されている。磁石 6 3 は、回転軸 6 6 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 6 3 が発生する磁界に基づいて、回転磁界が発生される。

10

【 0 0 9 9 】

磁石 6 3 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 6 3 A および第 2 層 6 3 B を有している。第 1 層 6 3 A および第 2 層 6 3 B 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 6 3 A の N 極と第 2 層 6 3 B の S 極は、上下に隣接するように配置されている。第 1 層 6 3 A の S 極と第 2 層 6 3 B の N 極も、上下に隣接するように配置されている。

20

【 0 1 0 0 】

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 1 0 , 2 0 は、磁石 6 3 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 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。第 1 の位置は、第 1 層 6 3 A と第 2 層 6 3 B 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 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。主に第 1 層 6 3 A の近傍における磁束が第 1 の部分磁界 M F 1 を発生させる。第 1 層 6 3 A の近傍における磁束には、上下に隣接する第 1 層 6 3 A と第 2 層 6 3 B における異なる 2 つの極の間の磁束と、第 1 層 6 3 A 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 6 3 B の近傍における磁束が第 2 の部分磁界 M F 2 を発生させる。第 2 層 6 3 B の近傍における磁束には、上下に隣接する第 1 層 6 3 A と第 2 層 6 3 B における異なる 2 つの極の間の磁束と、第 2 層 6 3 B 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 6 3 A の N 極から第 2 層 6 3 B 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 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。

30

【 0 1 0 1 】

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 の印加磁界を検出する。第 1 の印加磁界の一成分の基準となる第 1 の方向と、第 2 の印加磁界の一成分の基準となる第 3 の方向は互いに 1 8 0 ° 異なっている。第 1 の印加磁界の他の一成分の基準となる第 2 の方向と、第 2 の印加磁界の他の一成分の基準となる第 4 の方向は互いに 1 8 0 ° 異なっている。

40

【 0 1 0 2 】

図 9 に示した例では、第 1 層 6 3 A および第 2 層 6 3 B は、それぞれ、5 組の N 極と S 極とを含み、磁石 6 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 5 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 6 3 の 1 / 5 回転すなわち磁石 6 3 の回転角の 7 2 ° に

50

相当する。

【 0 1 0 3 】

[変形例]

次に、図 1 1 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 1 は、本実施の形態における変形例の回転磁界センサ 6 1 の概略の構成を示す側面図である。図 1 1 に示したように、変形例の回転磁界センサ 6 1 は、磁界発生部 6 2 の代りに、磁界発生部 7 2 を備えている。

【 0 1 0 4 】

磁界発生部 7 2 は、一方向に長い磁石 7 3 を有している。磁石 7 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 7 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 7 3 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 7 3 A および第 2 層 7 3 B を有している。第 1 層 7 3 A および第 2 層 7 3 B は、図 1 1 における上下方向（磁石 7 3 の移動方向に直交する方向）に積層されている。第 1 層 7 3 A の N 極と第 2 層 7 3 B の S 極は、上下に隣接するように配置されている。第 1 層 7 3 A の S 極と第 2 層 7 3 B の N 極も、上下に隣接するように配置されている。

【 0 1 0 5 】

図 1 1 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 7 3 の側方において、図 1 1 における上下方向（第 1 層 7 3 A と第 2 層 7 3 B の積層方向）に並ぶように配置されている。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。第 1 の位置は、第 1 層 7 3 A と第 2 層 7 3 B 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 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。主に第 1 層 7 3 A の近傍における磁束が第 1 の部分磁界 M F 1 を発生させる。第 1 層 7 3 A の近傍における磁束には、上下に隣接する第 1 層 7 3 A と第 2 層 7 3 B における異なる 2 つの極の間の磁束と、第 1 層 7 3 A において磁石 7 3 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 7 3 B の近傍における磁束が第 2 の部分磁界 M F 2 を発生させる。第 2 層 7 3 B の近傍における磁束には、上下に隣接する第 1 層 7 3 A と第 2 層 7 3 B における異なる 2 つの極の間の磁束と、第 2 層 7 3 B において磁石 7 3 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 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。

【 0 1 0 6 】

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 の印加磁界を検出する。第 1 の印加磁界の一成分の基準となる第 1 の方向と、第 2 の印加磁界の一成分の基準となる第 3 の方向は互いに 1 8 0 ° 異なっている。第 1 の印加磁界の他の一成分の基準となる第 2 の方向と、第 2 の印加磁界の他の一成分の基準となる第 4 の方向は互いに 1 8 0 ° 異なっている。

【 0 1 0 7 】

磁石 7 3 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 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 7 3 の 1 ピッチに相当する。

【 0 1 0 8 】

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 0 9 】

[第 3 の実施の形態]

次に、図 1 2 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

10

20

30

40

50

明する。図 1 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斜視図である。図 1 2 に示したように、本実施の形態に係る回転磁界センサ 8 1 は、第 2 の実施の形態における磁界発生部 6 2 の代わりに、磁界発生部 8 2 を備えている。

【 0 1 1 0 】

磁界発生部 8 2 は、回転位置を検出する対象物である回転軸 6 6 に取り付けられたリング状の磁石 8 3 を有している。図 1 2 において、記号 C を付した一点鎖線は、回転軸 6 6 の中心軸を含む回転中心を示している。磁石 8 3 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 6 6 に固定されている。磁石 8 3 は、回転軸 6 6 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 8 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 8 3 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 1 2 に示した例では、磁石 8 3 は、2 組の N 極と S 極を含んでいる。

10

【 0 1 1 1 】

図 1 2 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 8 3 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 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 180° 異なり且つ同じ回転方向に回転する。

【 0 1 1 2 】

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 の印加磁界を検出する。第 1 の印加磁界の一成分の基準となる第 1 の方向と、第 2 の印加磁界の一成分の基準となる第 3 の方向は互いに 180° 異なっている。第 1 の印加磁界の他の一成分の基準となる第 2 の方向と、第 2 の印加磁界の他の一成分の基準となる第 4 の方向は互いに 180° 異なっている。

20

【 0 1 1 3 】

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 360° は、磁石 8 3 の $1/2$ 回転すなわち磁石 8 3 の回転角の 180° に相当する。

30

【 0 1 1 4 】

[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 の代わりに、磁界発生部 9 2 を備えている。

【 0 1 1 5 】

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。

40

【 0 1 1 6 】

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 180° 異なり且つ同じ回転方向に回転する。

50

【 0 1 1 7 】

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の印加磁界を検出する。第1の印加磁界の一成分の基準となる第1の方向と、第2の印加磁界の一成分の基準となる第3の方向は互いに180°異なっている。第1の印加磁界の他の一成分の基準となる第2の方向と、第2の印加磁界の他の一成分の基準となる第4の方向は互いに180°異なっている。

【 0 1 1 8 】

磁石93が、1ピッチ分だけ移動すると、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93の1ピッチに相当する。

10

【 0 1 1 9 】

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 2 0 】

[第4の実施の形態]

次に、図14ないし図16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14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15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16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101の構成について説明する。図16に示したように、回転磁界センサ101は、第1および第2の複合検出部210A, 210Bを備えている。

20

【 0 1 2 1 】

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、第2の検出部20、第1の演算回路31、第2の演算回路32および第3の演算回路33と同様の構成の第1の検出部10A、第2の検出部20A、第1の演算回路31A、第2の演算回路32Aおよび第3の演算回路33A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、第1の演算回路31、第2の演算回路32および第3の演算回路33と同様の構成の第3の検出部10B、第4の検出部20B、第4の演算回路31B、第5の演算回路32Bおよび第6の演算回路33B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。

30

【 0 1 2 2 】

図14に示したように、本実施の形態に係る回転磁界センサ101は、更に、回転磁界を発生する磁界発生部102を備えている。磁界発生部102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102は、回転軸66に取り付けられたリング状の磁石103を備えている。磁石103は、第1層63Aおよび第2層63Bと同様の構成の第1層103Aおよび第2層103Bを有している。本実施の形態では、第1層103Aおよび第2層103Bは、それぞれ、2組のN極とS極とを含んでいる。

40

【 0 1 2 3 】

第1および第2の検出部10A, 20Aの、磁石103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103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

50

/ 8すなわち電気角 45° に相当する量だけずれた位置に配置されている。

【0124】

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103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。

【0125】

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の印加磁界を検出する。第1の印加磁界の一成分の基準となる第1の方向と、第2の印加磁界の一成分の基準となる第3の方向は互いに 180° 異なっている。第1の印加磁界の他の一成分の基準となる第2の方向と、第2の印加磁界の他の一成分の基準となる第4の方向は互いに 180° 異なっている。第1の方向は、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。

10

【0126】

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103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。

20

【0127】

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の印加磁界を検出する。以下、第3の印加磁界の一成分の基準となる方向を第5の方向と呼び、第3の印加磁界の他の一成分の基準となる方向を第6の方向と呼ぶ。また、第4の印加磁界の一成分の基準となる方向を第7の方向と呼び、第4の印加磁界の他の一成分の基準となる方向を第8の方向と呼ぶ。第5の方向と第7の方向は、互いに平行であり、第6の方向と第8の方向は、互いに平行である。本実施の形態では特に、第5の方向と第7の方向は互いに 180° 異なり、第6の方向と第8の方向は互いに 180° 異なっている。第5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。

30

【0128】

本実施の形態では、第5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 45° に相当する角度だけ異なっている。同様に、第7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4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 45° に相当する角度だけ異なっている。

40

【0129】

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とを有している。第1の検出回路11Aおよび第2の検出回路12Aの構成は、第1の実施の形態における第1の検出回路11および第2の検出回路12と同じである。第1の検出回路11Aは、第1の印加磁界の第1の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の検出回路12Aは、第1の印加磁界の第2の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の方向は、第1の検出回路11Aが第1の印加磁界を検出するときの基準の方向である。第2の方向は、第2の検出回路12Aが第1の印加磁界を検出するときの基準の方向である。

50

【 0 1 3 0 】

第2の検出部20Aは、第3の検出回路21Aと、第4の検出回路22Aとを有している。第3の検出回路21Aおよび第4の検出回路22Aの構成は、第1の実施の形態における第3の検出回路21および第4の検出回路22と同じである。第3の検出回路21Aは、第2の印加磁界の第3の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の検出回路22Aは、第2の印加磁界の第4の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の方向は、第3の検出回路21Aが第2の印加磁界を検出するときの基準の方向である。第4の方向は、第4の検出回路22Aが第2の印加磁界を検出するときの基準の方向である。

【 0 1 3 1 】

第3の検出部10Bは、第5の検出回路11Bと、第6の検出回路12Bとを有している。第5の検出回路11Bおよび第6の検出回路12Bの構成は、第1の実施の形態における第1の検出回路11および第2の検出回路12と同じである。第5の検出回路11Bは、第3の印加磁界の第5の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6の検出回路12Bは、第3の印加磁界の第6の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の方向は、第5の検出回路11Bが第3の印加磁界を検出するときの基準の方向である。第6の方向は、第6の検出回路12Bが第3の印加磁界を検出するときの基準の方向である。

【 0 1 3 2 】

第4の検出部20Bは、第7の検出回路21Bと、第8の検出回路22Bとを有している。第7の検出回路21Bおよび第8の検出回路22Bの構成は、第1の実施の形態における第3の検出回路21および第4の検出回路22と同じである。第7の検出回路21Bは、第4の印加磁界の第7の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8の検出回路22Bは、第4の印加磁界の第8の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の方向は、第7の検出回路21Bが第4の印加磁界を検出するときの基準の方向である。第8の方向は、第8の検出回路22Bが第4の印加磁界を検出するときの基準の方向である。

【 0 1 3 3 】

図14に示した例では、第1層103Aおよび第2層103Bは、それぞれ、2組のN極とS極とを含み、磁石103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2回転する。この場合、検出回路11A, 12A, 21A, 22A, 11B, 12B, 21B, 22Bの出力信号における1周期すなわち電気角の360°は、磁石103の1/2回転すなわち磁石103の回転角の180°に相当する。また、第1ないし第8の検出回路11A, 12A, 21A, 22A, 11B, 12B, 21B, 22B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11A, 12A, 21A, 22A, 11B, 12B, 21B, 22Bの出力信号の周期を周期Tと記す。第2の検出回路12Aの出力信号の位相は、第1の検出回路11A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3の検出回路21Aの出力信号の位相は、第1の検出回路11Aの出力信号の位相に対して、周期Tの1/2の整数倍だけ異なっている。第4の検出回路22Aの出力信号の位相は、第3の検出回路21A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12Bの出力信号の位相は、第5の検出回路11B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7の検出回路21Bの出力信号の位相は、第5の検出回路11Bの出力信号の位相に対して、周期Tの1/2の整数倍だけ異なっている。第8の検出回路22Bの出力信号の位相は、第7の検出回路21B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。

【 0 1 3 4 】

第1の演算回路31Aは、第1および第3の検出回路11A, 21Aの出力信号に基づいて、第1の印加磁界の第1の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第3の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第1の信号を生成する。第2の演算回路32Aは、第2お

10

20

30

40

50

よび第4の検出回路12A, 22Aの出力信号に基づいて、第1の印加磁界の第2の方向の成分の強度と第2の印加磁界の第4の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第2の信号を生成する。第3の演算回路33Aは、第1の信号および第2の信号に基づいて、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を算出する。以下、第3の演算回路33Aによって算出された検出値を第1の角度検出値と呼び、記号 A_s で表す。第1の角度検出値 A_s の算出方法は、第1の実施の形態における角度検出値 s の算出方法と同じである。第1の角度検出値 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、第1の角度検出値 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。

10

【0135】

第4の演算回路31Bは、第5および第7の検出回路11B, 21Bの出力信号に基づいて、第3の印加磁界の第5の方向の成分の強度と第4の印加磁界の第7の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第3の信号を生成する。第5の演算回路32Bは、第6および第8の検出回路12B, 22Bの出力信号に基づいて、第3の印加磁界の第6の方向の成分の強度と第4の印加磁界の第8の方向の成分の強度の両方と対応関係を有する第4の信号を生成する。第6の演算回路33Bは、第3の信号および第4の信号に基づいて、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を算出する。以下、第6の演算回路33Bによって算出された検出値を第2の角度検出値と呼び、記号 B_s で表す。第2の角度検出値 B_s の算出方法は、第1の実施の形態における角度検出値 s の算出方法と同じである。第2の角度検出値 B_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、第2の角度検出値 B_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。

20

【0136】

図16に示したように、回転磁界センサ101は、更に、第3の演算回路30Aによって算出された第1の角度検出値 A_s と、第6の演算回路30Bによって算出された第2の角度検出値 B_s とに基づいて、回転磁界センサ101の基準位置における回転磁界の方向が回転磁界センサ101の基準方向に対してなす角度と対応関係を有する角度検出値 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101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。

30

【0137】

次に、本実施の形態における変形例の回転磁界センサ101の構成について説明する。図15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101は、磁界発生部102の代りに、磁界発生部112を備えている。磁界発生部112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112は、磁石73と同様の構成の磁石113を有している。磁石113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113が発生する磁界に基づいて、回転磁界が発生される。磁石113は、第1層73Aおよび第2層73Bと同様の構成の第1層113Aおよび第2層113Bを有している。

40

【0138】

第1および第2の検出部10A, 20Aの、磁石113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113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

50

転の周期の $1/8$ すなわち電気角 45° に相当する量、すなわち磁石 113 の $1/8$ ピッチだけずれた位置に配置されている。

【0139】

次に、第7の演算回路211における角度検出値 s の算出方法について説明する。本実施の形態では、複合検出部210Aの第3の演算回路33Aによって算出された第1の角度検出値 A_s と、複合検出部210Bの第6の演算回路33Bによって算出された第2の角度検出値 B_s とに基づいて、第7の演算回路211によって、角度検出値 s を算出する。図14および図15に示した例では、複合検出部210Bの第3および第4の検出部10B, 20Bは、複合検出部210Aの第1および第2の検出部10A, 20Aに対して、電気角 45° に相当する量だけずれた位置に配置されている。そのため、第1および第2の印加磁界を検出して得られる第1の角度検出値 A_s の位相と、第3および第4の印加磁界を検出して得られる第2の角度検出値 B_s の位相は、電気角 45° 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。

【0140】

$$s = (A_s + B_s + \dots / 4) / 2 \quad \dots (8)$$

【0141】

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および第3の検出回路11A, 21Aの出力信号に基づいて生成された第1の信号と、第2および第4の検出回路12A, 22Aの出力信号に基づいて生成された第2の信号とに基づいて、第3の演算回路33Aによって、第1の角度検出値 A_s が算出される。また、回転磁界センサ101では、第5および第7の検出回路11B, 21Bの出力信号に基づいて生成された第3の信号と、第6および第8の検出回路12B, 22Bの出力信号に基づいて生成された第4の信号とに基づいて、第6の演算回路33Bによって、第2の角度検出値 B_s が算出される。そして、第1の角度検出値 A_s と第2の角度検出値 B_s とに基づいて、第7の演算回路211によって、式(8)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と対応関係を有する角度検出値 s を算出する。

【0142】

第1の実施の形態で説明したように、検出回路11A, 12A, 21A, 22A, 11B, 12B, 21B, 22B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11A, 12A, 21A, 22A, 11B, 12B, 21B, 22B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17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17には、検出回路11A, 12A, 21A, 22A, 11B, 12B, 21B, 22Bを代表して、検出回路12Aの出力信号の波形を示している。図17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、検出回路12Aの出力信号を記号 $\cos A$ で表している。図17において、横軸は角度 A を示し、縦軸は出力信号 $\cos A$ を示している。符号220は、理想的な正弦曲線を示している。符号221, 222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。

【0143】

上述のようにMR素子に起因して検出回路11A, 12A, 21A, 22Aの出力信号の波形が歪むために、第1の角度検出値 A_s は、第1の印加磁界の成分が第1の部分磁界MF1のみであり、第2の印加磁界の成分が第2の部分磁界MF2のみであり、第1および第2の部分磁界MF1, MF2の方向が理想的に回転する場合に想定される第1の角

10

20

30

40

50

度検出値 A_s の理論値に対する第 1 の角度誤差 d_A を含んでいる。同様に、MR 素子に起因して検出回路 1 1 B, 1 2 B, 2 1 B, 2 2 B の出力信号の波形が歪むために、第 2 の角度検出値 B_s は、第 3 の印加磁界の成分が第 3 の部分磁界 MF 3 のみであり、第 4 の印加磁界の成分が第 4 の部分磁界 MF 4 のみであり、第 3 および第 4 の部分磁界 MF 3, MF 4 の方向が理想的に回転する場合に想定される第 2 の角度検出値 B_s の理論値に対する第 2 の角度誤差 d_B を含んでいる。第 1 の角度誤差 d_A と第 2 の角度誤差 d_B は、第 1 ないし第 4 の部分磁界 MF 1, MF 2, MF 3, MF 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し、且つ第 1 の角度誤差 d_A の変化は第 1 の角度検出値 A_s の変化に依存し、第 2 の角度誤差 d_B の変化は第 2 の角度検出値 B_s の変化に依存している。検出回路の出力信号の波形が図 1 7 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

【0144】

図 1 8 は、第 1 の角度検出値 A_s と第 1 の角度誤差 d_A との関係を示している。図 1 8 において、横軸は角度 A を示し、縦軸は角度 A 、第 1 の角度検出値 A_s および第 1 の角度誤差 d_A を示している。また、図 1 8 では、便宜上、縦軸における角度 A と第 1 の角度検出値 A_s 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 1 8 と同様の図においても、図 1 8 と同様の表し方を用いる。第 2 の角度検出値 B_s と第 2 の角度誤差 d_B との関係は、図 1 8 と同様である。なお、理解を容易にするために、図 1 8 における第 1 の角度検出値 A_s の波形は、角度誤差 d_A 成分を強調して描いている。これは、図 1 8 と同様の他の図でも同様である。

20

【0145】

本実施の形態では、第 1 の角度検出値 A_s の位相と第 2 の角度検出値 B_s の位相は、誤差周期の $1/2$ すなわち $\pi/4$ (電気角 45°) だけ異なっている。これを実現するために、本実施の形態では、第 3 の位置と第 4 の位置を、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 45°) に相当する量だけずらしている。本実施の形態によれば、第 1 の角度誤差 d_A と第 2 の角度誤差 d_B とを相殺することが可能になる。このことを、図 1 9 および図 2 0 を参照して説明する。図 1 9 において、(a) は、図 1 8 に示した第 1 の角度検出値 A_s と第 1 の角度誤差 d_A との関係を示している。図 1 9 において、(b) は、第 2 の角度検出値 B_s と第 2 の角度誤差 d_B との関係を示している。図 1 9 (b) では、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。図 1 9 に示した例では、第 1 の角度誤差 d_A および第 2 の角度誤差 d_B 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 A_s と第 2 の角度検出値 B_s 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 A_s と第 2 の角度検出値 B_s を用いて、角度検出値 s を算出する。従って、角度検出値 s を算出する際に、第 1 の角度誤差 d_A の位相と第 2 の角度誤差 d_B 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_A と第 2 の角度誤差 d_B が相殺される。

30

40

【0146】

図 2 0 は、上述のようにして算出された角度検出値 s と、この角度検出値 s に含まれる角度誤差 d との関係を表している。図 2 0 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 s で表している。図 2 0 に示されるように、角度誤差 d は、第 1 の角度誤差 d_A および第 2 の角度誤差 d_B に比べて、大幅に小さくなっている。図 2 0 に示した例では、角度誤差 d の振幅は $\pm 0.02^\circ$ である。

【0147】

なお、第 1 の角度検出値 A_s と第 2 の角度検出値 B_s の位相差は、誤差周期の $1/2$ に限らず、誤差周期の $1/2$ の奇数倍であればよい。この場合に、第 1 の角度誤差 d_A と第 2 の角度誤差 d_B が相殺されて、角度検出値 s に含まれる角度誤差 d を大幅

50

に低減することができる。例えば、複合検出部 2 1 0 B の第 3 および第 4 の検出部 1 0 B , 2 0 B を、複合検出部 2 1 0 A の第 1 および第 2 の検出部 1 0 A , 2 0 A に対して、磁界発生部 1 0 2 の回転方向について、誤差周期の 1 / 2 の奇数倍に相当する量だけずれた位置に配置することによって、第 1 の角度検出値 A_s と第 2 の角度検出値 B_s の位相差を、誤差周期の 1 / 2 の奇数倍とすることができる。

【 0 1 4 8 】

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 1 0 , 2 0 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。

10

【 0 1 4 9 】

また、本実施の形態では、第 1 の角度検出値 A_s の算出方法は、第 1 の実施の形態における角度検出値 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 1 0 1 に対して外部から、回転磁界以外のノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合に、第 1 の検出回路 1 1 A の出力信号と第 3 の検出回路 2 1 A の出力信号の各々に含まれるノイズ成分は、正負の符号が反対の値になり、第 2 の検出回路 1 2 A の出力信号と第 4 の検出回路 2 2 A の出力信号の各々に含まれるノイズ成分は、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} に起因した第 1 の角度検出値 A_s の誤差を低減することが可能になる。

20

【 0 1 5 0 】

同様に、本実施の形態では、第 2 の角度検出値 B_s の算出方法は、第 1 の実施の形態における角度検出値 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 1 0 1 に対して外部から、回転磁界以外のノイズ磁界 H_{ext} が印加された場合に、第 5 の検出回路 1 1 B の出力信号と第 7 の検出回路 2 1 B の出力信号の各々に含まれるノイズ成分は、正負の符号が反対の値になり、第 6 の検出回路 1 2 B の出力信号と第 8 の検出回路 2 2 B の出力信号の各々に含まれるノイズ成分は、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} に起因した第 2 の角度検出値 B_s の誤差を低減することが可能になる。このように、本実施の形態によれば、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した角度検出値 A_s , B_s の誤差を低減することが可能になることから、最終的に得られる角度検出値 s についても、ノイズ磁界 H_{ext} に起因した誤差を低減することが可能になる。

30

【 0 1 5 1 】

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 5 2 】

[第 5 の実施の形態]

40

次に、図 2 1 および図 2 2 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 2 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 2 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。始めに、本実施の形態に係る回転磁界センサ 1 2 1 の構成について説明する。回転磁界センサ 1 2 1 の構成は、基本的には、図 1 4 に示した第 4 の実施の形態に係る回転磁界センサ 1 0 1 と同じである。回転磁界センサ 1 2 1 は、第 4 の実施の形態における磁界発生部 1 0 2 の代わりに、回転磁界を発生する磁界発生部 1 2 2 を備えている。磁界発生部 1 2 2 の構成は、第 2 の実施の形態における磁界発生部 6 2 の構成と同様である。具体的には、磁界発生部 1 2 2 は、回転軸 6 6 に取り付けられたリング状の磁石 1 2 3 を有している。また、磁石 1 2 3 は、第 1 層 6 3 A および第 2 層 6 3 B と同様の構成

50

の第1層123Aおよび第2層123Bを有している。

【0153】

本実施の形態では、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と、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は等しい。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。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。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。

10

【0154】

本実施の形態では、第5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7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4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。

【0155】

次に、図22に示す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。変形例の回転磁界センサ121の構成は、基本的には、図15に示した第4の実施の形態における変形例の回転磁界センサ101と同じである。回転磁界センサ121は、第4の実施の形態における磁界発生部112の代りに、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

【0156】

変形例では、第3の検出部10Bは、第1の検出部10A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。第4の検出部20Bは、第2の検出部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

【0157】

次に、本実施の形態における角度検出値 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および第2の角度検出値 A_s , B_s の算出方法は、第4の実施の形態と同じである。図21および図22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、第1の角度検出値 A_s と第2の角度検出値 B_s 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(9)によって、 s を算出する。

40

【0158】

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

【0159】

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、図21ないし図23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21に示した例では、第1および第2の部分磁界MF1, MF2は、それぞれ、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} を含んでいる。図示しないが、図22に示した例では、第1および第2の部分磁界MF1, MF2は、それぞれ、第1の検出部10Aと第

50

2の検出部20Aが並べられた方向に垂直な平面内において、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 とを含んでいる。

【0160】

ここで、図21または図22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、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の検出部20Aによって第2の印加磁界の方向を検出し、これら検出部10A、20Aの出力信号に基づいて第1の角度検出値 A_s を得る場合を考える。図23は、この場合における H_r 、 H 、 A_s ならびに第1の角度誤差 d_A の関係の一例を示している。なお、図23には、第1の部分磁界MF1の H_r 、 H を示している。図23において、横軸は、角度 A を示し、縦軸は、 H_r 、 H 、 A_s 、 d_A を示している。なお、理解を容易にするために、図23における第1の角度誤差 d_A の波形は、振幅を実際よりも大きく描いている。図21または図22に示した例では、第1および第2の部分磁界MF1、MF2の方向や第1および第2の部分磁界MF1、MF2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 A_s は、第1の角度誤差 d_A を含むことになる。この場合における第1の角度誤差 d_A の変化は、第1および第2の部分磁界MF1、MF2の方向の変化に依存する。第1の角度誤差 d_A の誤差周期は、回転磁界の方向の回転の周期の $1/2$ である。同様に、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の検出部10Bによって第3の印加磁界の方向を検出し、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の検出部20Bによって第4の印加磁界の方向を検出し、これら検出部10B、20Bの出力信号に基づいて第2の角度検出値 B_s を得る場合も、第2の角度検出値 B_s は、回転磁界の方向の変化に依存して変化する第2の角度誤差 d_B を含むことになる。第2の角度誤差 d_B の誤差周期は、回転磁界の方向の回転の周期の $1/2$ である。

【0161】

次に、図24および図25を参照して、回転磁界センサ121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24において、(a)は、第1の角度検出値 A_s と、第1の角度検出値 A_s に含まれる第1の角度誤差 d_A との関係を示している。図24において、(b)は、第2の角度検出値 B_s と、第2の角度検出値 B_s に含まれる第2の角度誤差 d_B との関係を示している。図24に示した例では、第1の角度誤差 d_A および第2の角度誤差 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、角度検出値 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、角度検出値 s を算出する際に、第1の角度誤差 d_A の位相と第2の角度誤差 d_B 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_A と第2の角度誤差 d_B とが相殺される。

【0162】

図25は、上述のようにして算出された角度検出値 s と、この角度検出値 s に含まれる角度誤差 d との関係を表している。図25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 で表している。図25に示されるように、角度誤差 d は、第1の角度誤差 d_A および第2の角度誤差 d_B に比べて、大幅に小さくなっている。図25に示した例では、角度誤差 d の振幅は $\pm 0.03^\circ$ である。

【0163】

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、角度検出値 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。

【 0 1 6 4 】

また、本実施の形態では、第 1 の角度検出値 A_s と第 2 の角度検出値 B_s の位相差は、電気角 90° に限らず任意の大きさでよい。第 1 の角度検出値 A_s と第 2 の角度検出値 B_s の位相差をとすると、第 7 の演算回路 2 1 1 は、下記の式 (1 0) によって、 s を算出する。

【 0 1 6 5 】

$$s = (A_s + B_s +) / 2 \quad \dots (1 0)$$

【 0 1 6 6 】

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 の実施の形態と同様である。

10

【 0 1 6 7 】

[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、MR 素子に起因して発生する角度誤差の成分と、回転磁界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。

【 0 1 6 8 】

始めに、図 2 6 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 6 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 2 1 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 および第 2 の印加磁界を検出して得られる第 1 の角度検出値 A_s の位相と、第 3 および第 4 の印加磁界を検出して得られる第 2 の角度検出値 B_s の位相は、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、図 2 6 に示した例では、第 3 および第 4 の検出部 1 0 B , 2 0 B の姿勢を、図 2 1 に示した状態と異ならせている。図 2 6 に示した例では、第 3 および第 4 の検出部 1 0 B , 2 0 B は、それぞれ、図 2 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、検出部 1 0 B , 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 2 の検出部 1 0 A , 2 0 A の姿勢は、図 2 1 に示した状態と同じである。

20

【 0 1 6 9 】

次に、図 2 7 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 1 4 1 の構成について説明する。図 2 7 は、本実施の形態における変形例の回転磁界センサ 1 4 1 の概略の構成を示す斜視図である。変形例の回転磁界センサ 1 4 1 の構成は、基本的には、図 2 2 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 1 2 1 と同じである。変形例では、第 3 および第 4 の検出部 1 0 B , 2 0 B の姿勢が、図 2 2 に示した状態とは異なっている。具体的には、第 3 の検出部 1 0 B は、図 2 2 に示した状態から、検出部 1 0 A , 1 0 B が並べられた仮定の平面内において、検出部 1 0 B 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。また、第 4 の検出部 2 0 B は、図 2 2 に示した状態から、検出部 2 0 A , 2 0 B が並べられた仮定の平面内において、検出部 2 0 B 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。なお、検出部 1 0 B , 2 0 B の姿勢を上記のように設定する代わりに、検出部 1 0 B , 2 0 B 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 1 0 A を図 2 2 に示した状態から、検出部 1 0 A , 1 0 B が並べられた仮定の平面内において、検出部 1 0 A 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、検出部 2 0 A を図 2 2 に示した状態から、検出部 2 0 A , 2 0 B が並べられた仮定の平面内において、検出部 2 0 A 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 1 0 A , 2 0 A 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。

30

40

【 0 1 7 0 】

50

次に、本実施の形態における角度検出値 s の算出方法について説明する。図 26 および図 27 に示した例では、第 5 の実施の形態と同様に、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、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。また、図 26 および図 27 に示した例では、第 3 および第 4 の検出部 10B, 20B は、それぞれ、上述のように 45° 回転した姿勢で配置されている。そのため、第 2 の角度検出値 B_s の位相は、第 1 の角度検出値 A_s の位相に対して、電気角 $90^\circ + 電気角 45^\circ$ 、すなわち電気角 135° (電気角 45° の 3 倍) だけ異なっている。これらの例では、第 7 の演算回路 211 は、下記の式 (11) によって、角度検出値 s を算出する。

【0171】

$$s = (A_s + B_s + \dots) / 2 \dots (11)$$

【0172】

次に、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 26 および図 27 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 および第 2 の角度検出値 A_s , B_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 および第 2 の角度検出値 A_s , B_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。

【0173】

従って、第 1 の角度検出値 A_s における第 1 の角度誤差 d_A と第 2 の角度検出値 B_s における第 2 の角度誤差 d_B 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 16 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。

【0174】

次に、回転磁界センサ 141 の効果について説明する。本実施の形態では、第 3 の検出部 10B が配置された第 3 の位置と第 4 の検出部 20B が配置された第 4 の位置は、それぞれ、第 1 の検出部 10A が配置された第 1 の位置と第 2 の検出部 20A が配置された第 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。これにより、角度検出値 s を算出する際に、第 1 の角度誤差 d_A 中の第 1 の誤差成分の位相と第 2 の角度誤差 d_B 中の第 1 の誤差成分の位相は、互いに逆相になる。これにより、第 1 の角度誤差 d_A 中の第 1 の誤差成分と第 2 の角度誤差 d_B 中の第 1 の誤差成分とが相殺される。

【0175】

更に、本実施の形態では、第 1 の角度検出値 A_s の位相と第 2 の角度検出値 B_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。これにより、角度検出値 s を算出する際に、第 1 の角度誤差 d_A 中の第 2 の誤差成分の位相と第 2 の角度誤差 d_B 中の第 2 の誤差成分の位相は、互いに逆相になる。これにより、第 1 の角度誤差 d_A 中の第 2 の誤差成分と第 2 の角度誤差 d_B 中の第 2 の誤差成分とが相殺される。

【0176】

以上の作用により、本実施の形態によれば、MR 素子に起因して発生する角度誤差の成分と、回転磁界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が可能になる。

【0177】

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。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 5 の実施の形態と同様である。

10

20

30

40

50

【0178】

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。

【0179】

また、第1の実施の形態において、第1の方向と第3の方向は同じ方向であってもよい。この場合、第3の検出回路21の出力信号sin 2の位相は、第1の検出回路11の出力信号sin 1の位相に対して、周期Tの1/2すなわち(180°)だけ異なり、出力信号sin 1, sin 2の各々に含まれるノイズ磁界H_extの第1の成分に起因したノイズ成分は、いずれも正の値(Es)になる。この場合、例えば、出力信号sin 1から出力信号sin 2を減算して、これを第1の信号sin sとすることによって、出力信号sin 1, sin 2の各々に含まれるノイズ成分を相殺することができる。同様に、第2の方向と第4の方向は同じ方向であってもよい。この場合にも、例えば、第2の検出回路12の出力信号cos 1から第4の検出回路22の出力信号cos 2を減算することにより、出力信号cos 1, cos 2の各々に含まれるノイズ成分を相殺することができる。

10

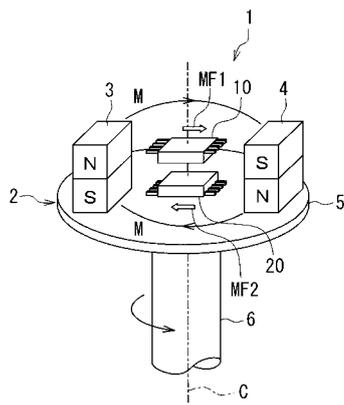
【符号の説明】

【0180】

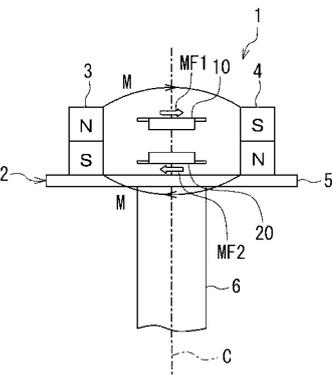
1...回転磁界センサ、2...磁界発生部、3,4...磁石、5...円板部、6...回転軸、10...第1の検出部、11...第1の検出回路、12...第2の検出回路、14,16,24,26...ホイートストブリッジ回路、20...第2の検出部、21...第3の検出回路、22...第4の検出回路、31...第1の演算回路、32...第2の演算回路、33...第3の演算回路。

20

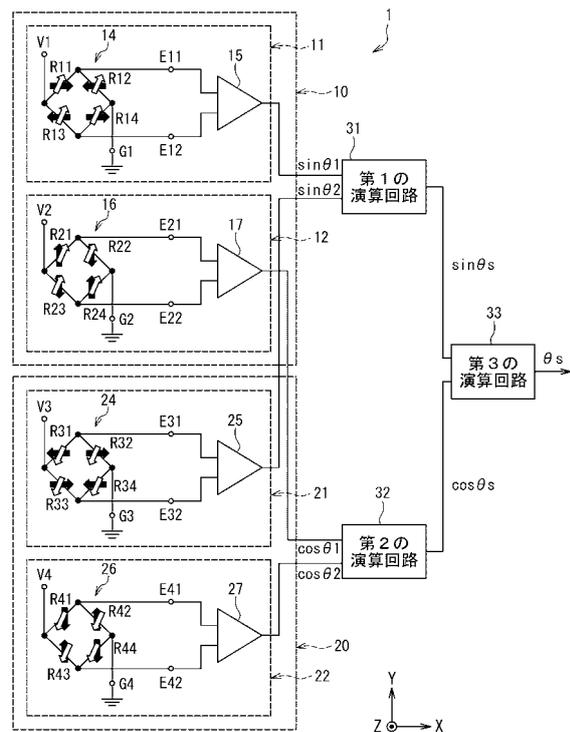
【図1】



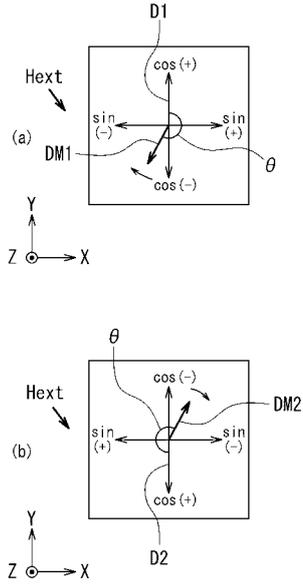
【図2】



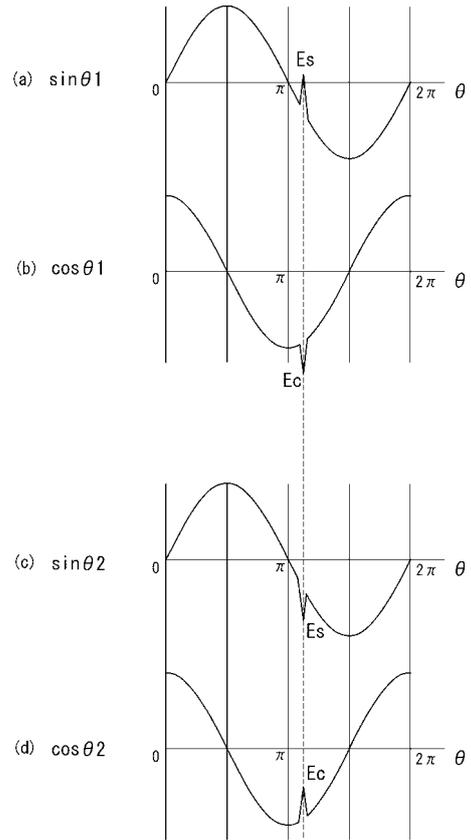
【図3】



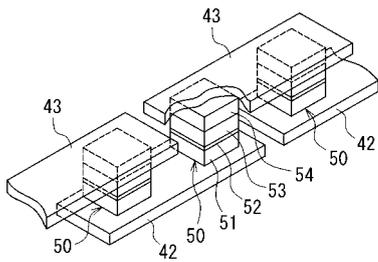
【 図 4 】



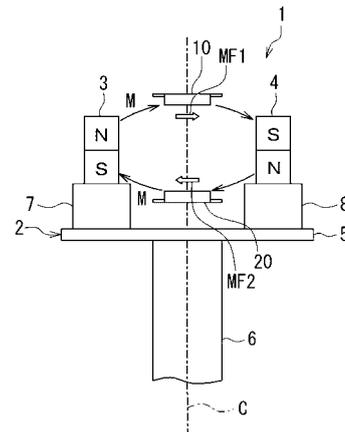
【 図 5 】



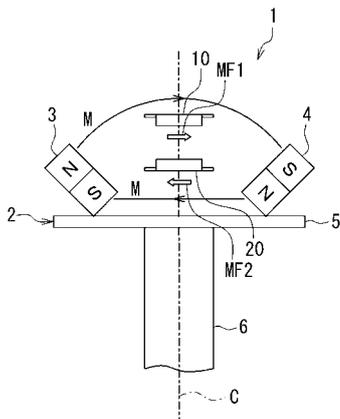
【 図 6 】



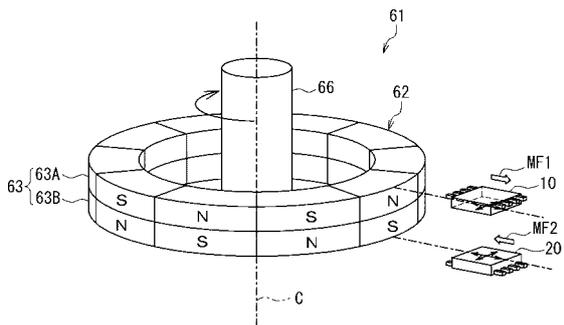
【 図 8 】



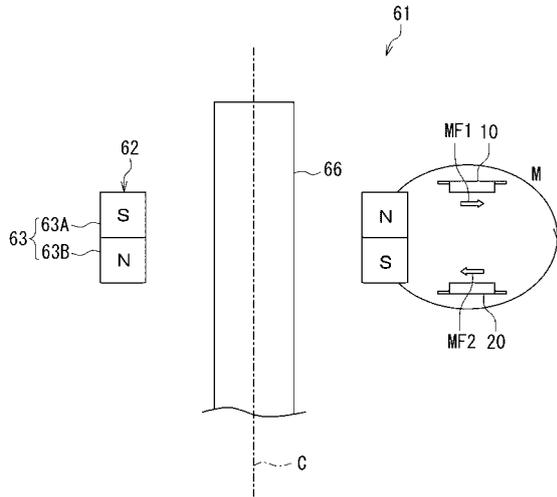
【 図 7 】



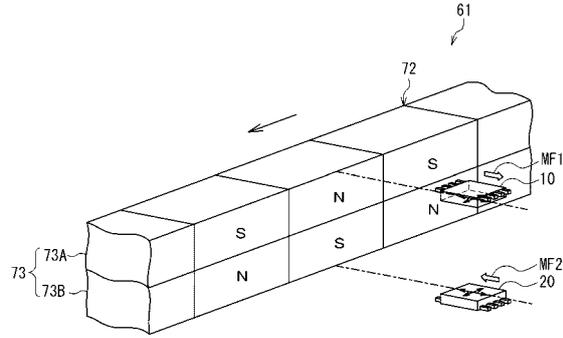
【 図 9 】



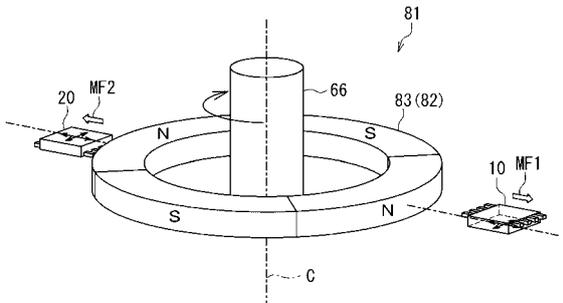
【図10】



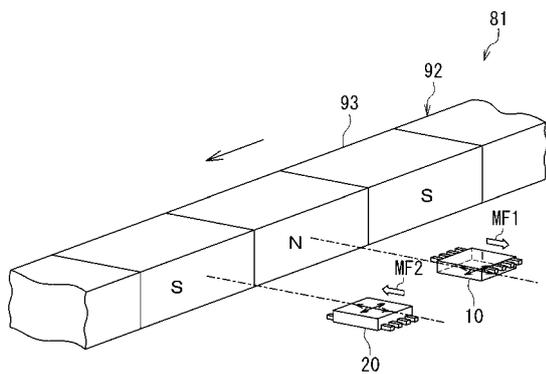
【図11】



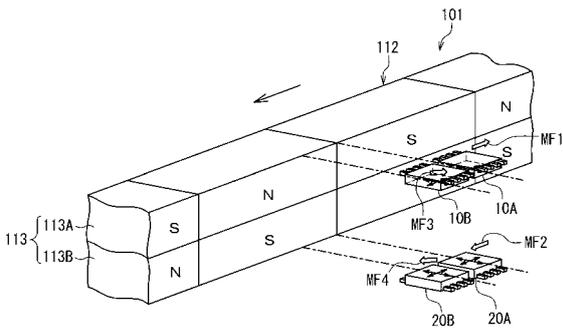
【図12】



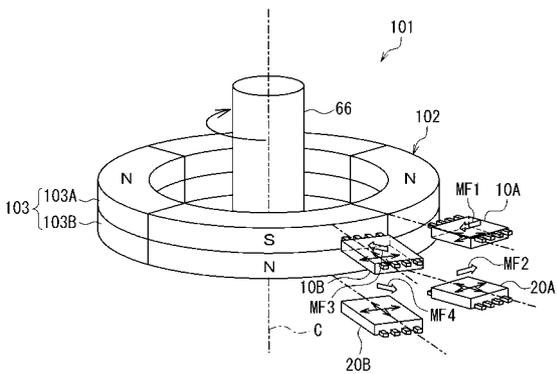
【図13】



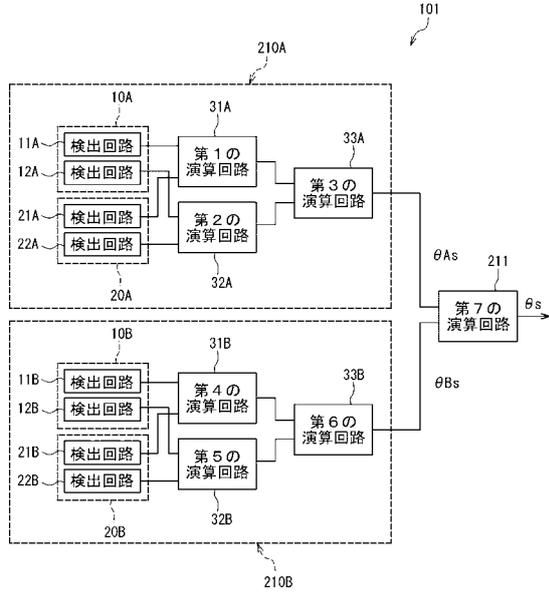
【図15】



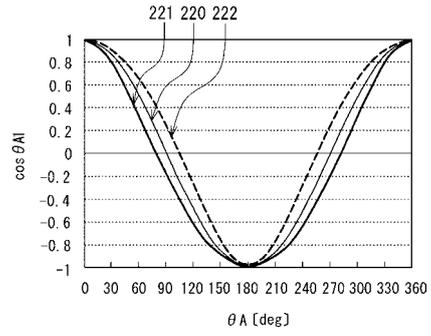
【図14】



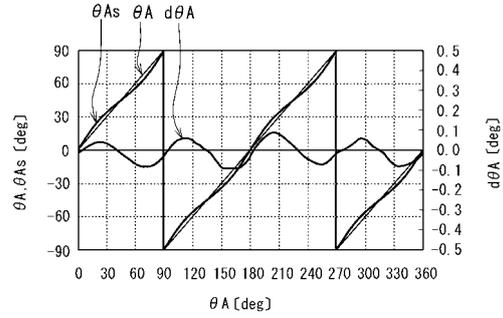
【図16】



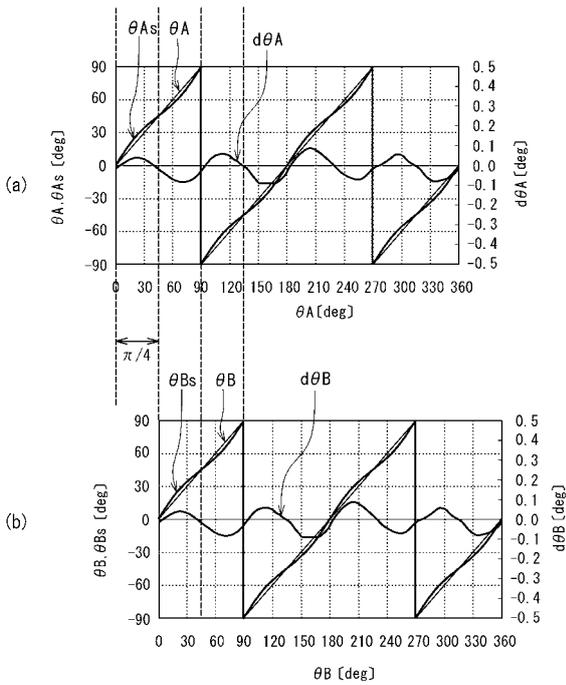
【図17】



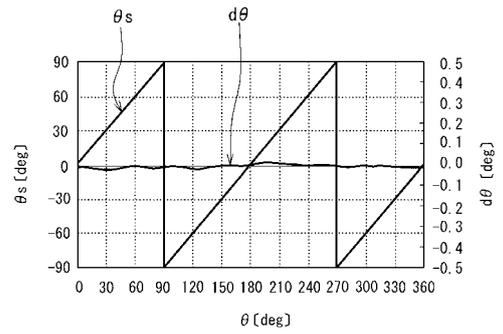
【図18】



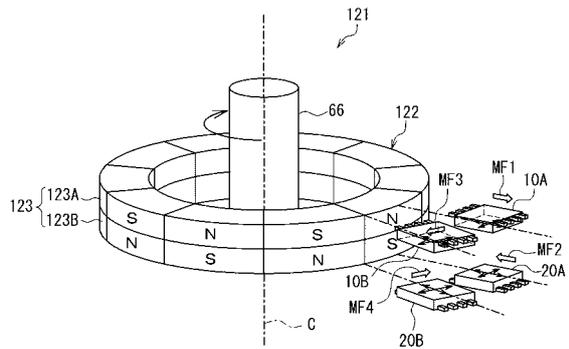
【図19】



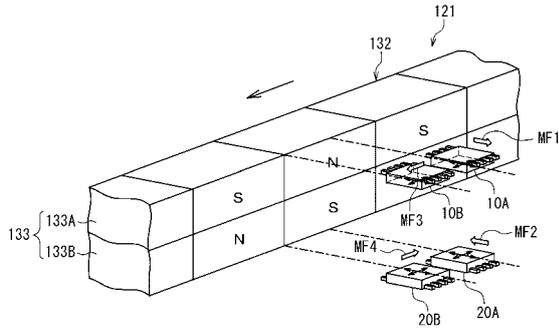
【図20】



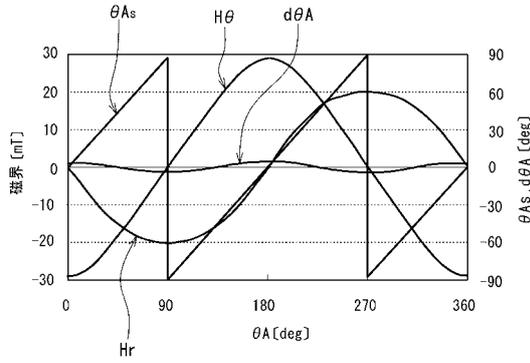
【図21】



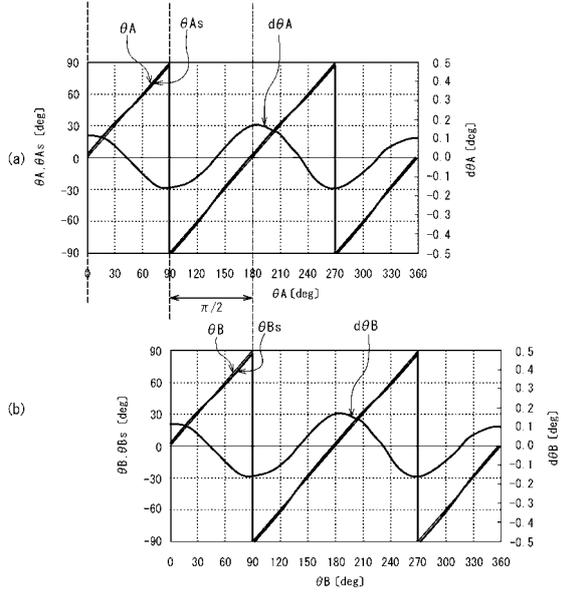
【 2 2 】



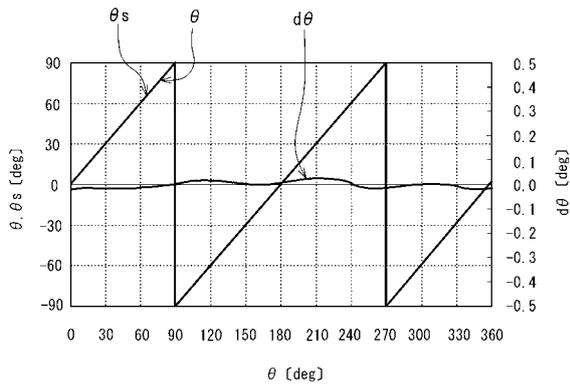
【 2 3 】



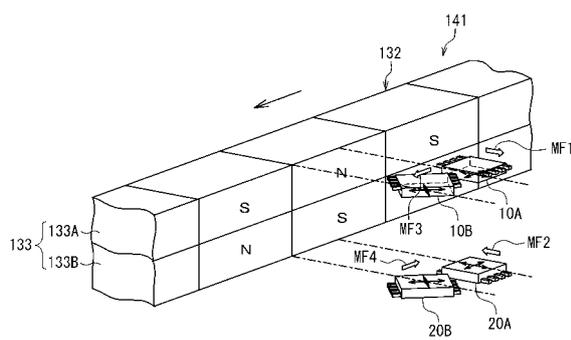
【 2 4 】



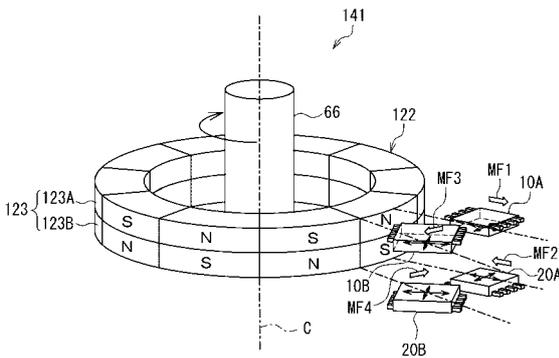
【 2 5 】



【 2 7 】



【 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