

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-189376

(P2012-189376A)

(43) 公開日 平成24年10月4日(2012.10.4)

(51) Int.Cl.

G01L 3/10 (2006.01)

F I

G01L 3/10 305

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2011-51638 (P2011-51638)
 (22) 出願日 平成23年3月9日 (2011.3.9)

(71) 出願人 000001247
 株式会社ジェイテクト
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 (74) 代理人 100087701
 弁理士 稲岡 耕作
 (74) 代理人 100101328
 弁理士 川崎 実夫
 (74) 代理人 100086391
 弁理士 香山 秀幸
 (72) 発明者 上田 武史
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 株式会社ジェイテクト内

(54) 【発明の名称】 回転角検出装置およびトルク検出装置

(57) 【要約】

【課題】回転体が回転を開始した直後の早い段階で、磁気センサが感知している磁極を特定できるようになる回転角検出装置およびトルク検出装置を提供する。

【解決手段】ロータ1は、複数の磁極対を有する円筒状の磁石2を含んでいる。磁極対における磁力の大きさの種類には、磁力が大きい第1の磁力と第1の磁力より磁力が小さい第2の磁力との2種類がある。ロータ1の周囲には、3つの磁気センサ21, 22, 23が配置されている。回転角演算装置20は、各磁気センサ21, 22, 23の出力信号V1, V2, V3のピーク値を検出する。そして、回転角演算装置20は、3つの出力信号V1, V2, V3の極大値P1, P2, P3の組合せに基づいて、第1の磁気センサ21が感知している磁極対を特定する。

【選択図】 図3

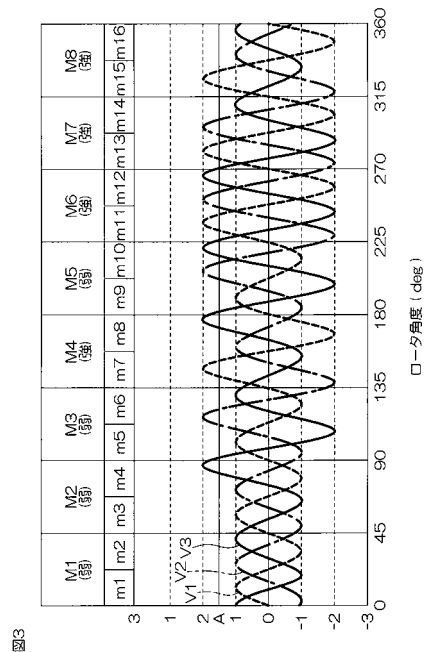


図3

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転体の回転角を検出する回転角検出装置であって、

前記回転体の回転に応じて回転し、第 1 の磁力を有する 1 または複数の磁極対と第 2 の磁力を有する 1 または複数の磁極対とを備えている多極磁石と、

前記多極磁石の回転に応じて、互いに位相差を有する複数の正弦波信号をそれぞれ出力する複数の磁気センサと、

各磁気センサの出力信号のピーク値をそれぞれ検出するピーク値検出手段と、

前記ピーク値検出手段によって検出された各磁気センサのピーク値の組み合わせに基づいて、基準となる 1 つの磁気センサが感知している磁極対を特定する磁極対特定手段とを含み、

各磁気センサのピーク値の組み合わせが、前記基準となる磁気センサが感知している磁極対毎に異なるように、前記磁極対の数、前記磁気センサの数、前記第 1 の磁力を有する磁極対と前記第 2 の磁力を有する磁極対との配置パターンおよび前記磁気センサの配置位置が設定されている、回転角検出装置。

【請求項 2】

前記磁極対特定手段の磁極対特定結果に基づいて、少なくとも 2 つの磁気センサが感知している磁極を特定する磁極特定手段と、

前記磁極特定手段の磁極特定結果に基づいて、少なくとも 2 つの磁気センサの出力信号の振幅を補正する振幅補正手段と、

振幅補正手段によって振幅が補正された少なくとも 2 つの出力信号に基づいて、前記回転体の回転角を検出する回転角演算手段とを、さらに含む請求項 1 に記載の回転角検出装置。

【請求項 3】

前記複数の磁極対は、第 1 ~ 第 8 の 8 つの磁極対からなり、

前記複数の磁気センサは、第 1 ~ 第 3 の 3 つの磁気センサからなり、

前記第 1 の磁気センサが前記第 1 の磁極対における電気角で 0° に対向しているときには、前記第 2 の磁気センサが前記第 2 の磁極対における電気角で 240° に対向し、前記第 3 の磁気センサが前記第 3 の磁極対における電気角で 120° に対向するように、前記 3 つの磁気センサが配置されている、請求項 1 または 2 に記載の回転角検出装置。

【請求項 4】

第 1 軸と第 2 軸とを連結する連結軸を含み、前記連結軸の捩れに起因する前記第 1 軸と前記第 2 軸の相対的回転変位量に基づいて、前記第 1 軸と前記第 2 軸に加えられたトルクを検出するトルク検出装置であって、

請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載の回転角検出装置である基本の回転角検出装置と同じ構成または前記基本の回転角検出装置に対して前記多極磁石の構成以外は同じ構成を有し、前記第 1 軸の回転角を検出するための第 1 の回転角検出装置と、

前記基本の回転角検出装置に対して前記多極磁石の構成以外は同じ構成を有し、前記第 2 軸の回転角を検出するための第 2 の回転角検出装置とを含み、

前記第 1 の回転角検出装置における多極磁石は、前記基本の回転角検出装置における多極磁石の各磁極対が、当該磁極対と同じ磁力を有する 1 または複数の磁極対からなる構成を有しており、

前記第 1 の回転角検出装置における磁極対特定手段は、前記基本の回転角検出装置における多極磁石における各磁極対に対応する角度領域を表す領域番号のうち、前記第 1 の回転角検出装置において基準となる磁気センサが感知している角度領域に対応する領域番号を特定するように構成されており、

前記基本の回転角検出装置における複数の磁極対の配列を磁力の強弱の配列で表した磁極対パターンを基準磁極対パターンとすると、前記第 2 の回転角演算装置における多極磁石は、前記基準磁極対パターンが n (n は 2 以上の整数) 回繰り返された磁極対パターンを有しており、

10

20

30

40

50

前記第2の回転角検出装置における磁極対特定手段は、第1の磁極対特定手段と、第2の磁極対特定手段とを含み、

前記第1の磁極対特定手段は、前記第2の回転角検出装置の多極磁石が有する磁極対パターンに含まれる各基準磁極対パターン内での各磁極対の順番を表す番号を相対的磁極対番号と定義すると、前記第2の回転角検出装置において基準となる磁気センサが感知している磁極対に対応する相対的磁極対番号を特定するように構成されており、

前記第2の磁極対特定手段は、前記第1の磁極対特定手段によって特定された相対的磁極対番号と、前記第1の回転角演算装置における前記磁極対特定手段によって特定された領域番号とに基づいて、前記第2の回転角検出装置において基準となる磁気センサが感知している磁極対を特定するように構成されている、トルク検出装置。

10

【請求項5】

車両操舵装置におけるトルク検出装置であって、

前記第2の回転角検出装置は、前記第2軸の回転角を操舵角として検出するように構成されている、請求項4に記載のトルク検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、ブラシレスモータのロータ等の回転体の回転角を検出する回転角検出装置およびトルク検出装置に関する。

【背景技術】

20

【0002】

電動パワーステアリング装置などに使用されるブラシレスモータを制御するためには、ロータの回転角度に合わせてステータ巻線に電流を通電する必要がある。そこで、ブラシレスモータの回転に応じて回転する検出用ロータを用いて、ブラシレスモータのロータの回転角を検出する回転角検出装置が知られている。具体的には、図13に示すように、検出用ロータ101（以下、「ロータ101」という）は、ブラシレスモータのロータに設けられている磁極対に相当する複数の磁極対を有する円筒状の磁石102を備えている。ロータ101の周囲には、2つの磁気センサ121、122が、ロータ101の回転中心軸を中心として所定の角度間隔をおいて配置されている。各磁気センサ121、122からは、所定の位相差を有する正弦波信号が出力される。これらの2つの正弦波信号に基づいて、ロータ101の回転角（ブラシレスモータのロータの回転角）が検出される。

30

【0003】

この例では、磁石102は、5組の磁極対を有している。つまり、磁石102は、等角度間隔で配置された10個の磁極を有している。各磁極は、ロータ101の回転中心軸を中心として、 36° （電気角では 180° ）の角度間隔で配置されている。また、2つの磁気センサ121、122は、ロータ101の回転中心軸を中心として 18° （電気角では 90° ）の角度間隔をおいて配置されている。

【0004】

図13に矢印で示す方向を検出用ロータ101の正方向の回転方向とする。そして、ロータ101が正方向に回転されるとロータ101の回転角が大きくなり、ロータ101が逆方向に回転されると、ロータ101の回転角が小さくなるものとする。各磁気センサ121、122からは、図14に示すように、ロータ101が1磁極対分に相当する角度（ 72° （電気角では 360° ））を回転する期間を一周期とする正弦波信号V1、V2が出力される。

40

【0005】

ロータ101の1回転分の角度範囲を、5つの磁極対に対応して5つの区間に分け、各区間の開始位置を 0° とし終了位置を 360° として表したロータ101の角度を、ロータ101の電気角 e ということにする。

ここでは、第1の磁気センサ121からは、 $V1 = A1 \cdot \sin e$ の出力信号が出力され、第2の磁気センサ122からは、 $V2 = A2 \cdot \cos e$ の出力信号が出力されるもの

50

とする。A 1 , A 2 は、振幅である。両出力信号 V 1 , V 2 の振幅 A 1 , A 2 が互いに等しいとみなすと、ロータ 1 0 1 の電気角 θ は、両出力信号 V 1 , V 2 を用いて、次式(1)に基づいて求めることができる。

【 0 0 0 6 】

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} (\sin \theta / \cos \theta) \\ &= \tan^{-1} (V 1 / V 2) \quad \dots (1) \end{aligned}$$

このようにして、求められた電気角 θ を使って、ブラシレスモータを制御する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 7 】

10

【特許文献 1】特開平 6 - 1 0 9 7 5 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

前述したような従来の回転角検出装置においては、磁極ごとの磁力のばらつきなどにより、各磁気センサ 1 2 1 , 1 2 2 の出力信号 V 1 , V 2 の振幅が磁極ごとに変動するため、ロータ 1 0 1 の回転角の検出に誤差が発生する。そこで、ロータ 1 0 1 の機械角に応じて、各磁気センサ 1 2 1 , 1 2 2 の出力信号 V 1 , V 2 の振幅が等しくなるように、各磁気センサ 1 2 1 , 1 2 2 の出力信号 V 1 , V 2 を補正（振幅補正）した後、ロータ 1 0 1 の電気角 θ を演算することが考えられる。

20

【 0 0 0 9 】

磁極毎に磁力がばらつく場合には、各磁気センサ 1 2 1 , 1 2 2 の出力信号 V 1 , V 2 に対して、電気角の 1 周期または半周期ごとに振幅を補正するために用いられる振幅補正値を変更しなければならない。したがって、このような振幅補正を行うためには、各磁気センサ 1 2 1 , 1 2 2 が感知している磁極を特定する必要がある。ロータ 1 0 1 が 1 回転した後においては、各磁極のピーク値の違いから各磁気センサ 1 2 1 , 1 2 2 が感知している磁極を特定することができるので、各磁気センサ 1 2 1 , 1 2 2 が感知している磁極に応じた振幅補正を行うことができる。しかしながら、ブラシモータの起動直後には、各磁気センサ 1 2 1 , 1 2 2 が感知している磁極を特定することができないため、各磁気センサ 1 2 1 , 1 2 2 が感知している磁極に応じた振幅補正を行うことができない。

30

【 0 0 1 0 】

なお、電動パワーステアリング装置などに使用されるトルク検出装置は、入力軸と出力軸とを連結するトーションバーの捩れ角を検出することにより、入力軸に加えられたトルクを演算する構成となっている。トーションバーの捩れ角は、入力軸の回転角と出力軸の回転角との差に応じた値となる。そこで、入力軸および出力軸の回転角を従来の回転角検出装置と同様な方法で検出し、検出された入力軸および出力軸の回転角の差に基づいて、入力軸に加えられたトルクを演算することが考えられる。

【 0 0 1 1 】

この発明の目的は、回転体が回転を開始した直後の早い段階で、磁気センサが感知している磁極を特定できるようになる回転角検出装置およびトルク検出装置を提供することである。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

上記の目的を達成するための請求項 1 記載の発明は、回転体 (1 0) の回転角を検出する回転角検出装置であって、

前記回転体 (1 0) の回転に応じて回転し、第 1 の磁力を有する 1 または複数の磁極対と第 2 の磁力を有する 1 または複数の磁極対とを備えている多極磁石 (2) と、前記多極磁石の回転に応じて、互いに位相差を有する複数の正弦波信号をそれぞれ出力する複数の磁気センサ (2 1 , 2 2 , 2 3) と、各磁気センサの出力信号のピーク値をそれぞれ検出するピーク値検出手段 (2 0 , S 7) と、前記ピーク値検出手段によって検出された各磁

50

気センサのピーク値の組み合わせに基づいて、基準となる1つの磁気センサが感知している磁極対を特定する磁極対特定手段(20, S10)とを含み、各磁気センサのピーク値の組み合わせが、前記基準となる磁気センサが感知している磁極対毎に異なるように、前記磁極対の数、前記磁気センサの数、前記第1の磁力を有する磁極対と前記第2の磁力を有する磁極対との配列パターンおよび前記磁気センサの配置位置が設定されている、回転角検出装置である。なお、括弧内の英数字は、後述の実施形態における対応構成要素等を表すが、むろん、この発明の範囲は当該実施形態に限定されない。以下、この項において同じ。

【0013】

ピーク値検出手段によって、各磁気センサの出力信号のピーク値がそれぞれ検出される。そして、各磁気センサのピーク値の組み合わせに基づいて、基準となる1つの磁気センサが感知している磁極対が特定される。これにより、各磁気センサが感知している磁極を特定することが可能となる。したがって、各磁気センサの出力信号の振幅を補正することが可能となる。これにより、振幅補正後の少なくとも2つの出力信号に基づいて、回転体の回転角を演算することが可能となる。

10

【0014】

この発明では、ピーク値検出手段によって、各磁気センサの出力信号のピーク値がそれぞれ検出されたときに、各磁気センサが感知している磁極を特定することが可能となる。これにより、回転体が回転を開始した後、回転体が1回転する前に、各磁気センサが感知している磁極を特定することができる。つまり、回転体が回転を開始した直後の早い段階で、磁気センサが感知している磁極を特定できるようになる。これにより、回転体が回転を開始した直後の早い段階で、回転角の絶対的回転角(機械角)を検出することが可能となる。

20

【0015】

請求項2記載の発明は、前記磁極対特定手段の磁極対特定結果に基づいて、少なくとも2つの磁気センサが感知している磁極を特定する磁極特定手段(20, S10)と、前記磁極特定手段の磁極特定結果に基づいて、少なくとも2つの磁気センサの出力信号の振幅を補正する振幅補正手段(20, S12)と、振幅補正手段によって振幅が補正された少なくとも2つの出力信号に基づいて、前記回転体の回転角を検出する回転角演算手段(20, S13, S14)とを、さらに含む請求項1に記載の回転角検出装置である。

30

【0016】

この構成では、磁極対特定手段の磁極対特定結果に基づいて、少なくとも2つの磁気センサが感知している磁極が特定される。この特定結果に基づいて、少なくとも2つの磁気センサの出力信号の振幅が補正される。そして、振幅が補正された少なくとも2つの出力信号に基づいて、前記回転体の回転角が検出される。

請求項3記載の発明は、前記複数の磁極対は、第1~第8の8つの磁極対からなり、前記複数の磁気センサは、第1~第3の3つの磁気センサからなり、前記第1の磁気センサが前記第1の磁極対における電気角で0°に対向しているときには、前記第2の磁気センサが前記第2の磁極対における電気角で240°に対向し、前記第3の磁気センサが前記第3の磁極対における電気角で120°に対向するように、前記3つの磁気センサが配置されている、請求項1または2に記載の回転角検出装置である。

40

【0017】

請求項4記載の発明は、第1軸(52)と第2軸(51)とを連結する連結軸(53)を含み、前記連結軸の捩れに起因する前記第1軸と前記第2軸の相対的回転変位量に基づいて、前記第1軸と前記第2軸に加えられたトルクを検出するトルク検出装置であって、請求項1~請求項3のいずれか一項に記載の回転角検出装置である基本の回転角検出装置と同じ構成または前記基本の回転角検出装置に対して前記多極磁石の構成以外は同じ構成を有し、前記第1軸の回転角を検出するための第1の回転角検出装置(2A, 21, 22, 23, 20A)と、前記基本の回転角検出装置に対して前記多極磁石の構成以外は同じ構成を有し、前記第2軸の回転角を検出するための第2の回転角検出装置(2B, 24,

50

25, 26, 20B)とを含み、前記第1の回転角検出装置における多極磁石(2A)は、前記基本の回転角検出装置における多極磁石の各磁極対が、当該磁極対と同じ磁力を有する1または複数の磁極対からなる構成を有しており、前記第1の回転角検出装置における磁極対特定手段は、前記基本の回転角検出装置における多極磁石における各磁極対に対応する角度領域を表す領域番号のうち、前記第1の回転角検出装置において基準となる磁気センサ(21)が感知している角度領域に対応する領域番号を特定するように構成されており、前記基本の回転角検出装置における複数の磁極対の配列を磁力の強弱の配列で表した磁極対パターンを基準磁極対パターンとすると、前記第2の回転角演算装置における多極磁石は、前記基準磁極対パターンが n (n は2以上の整数)回繰り返された磁極対パターンを有しており、前記第2の回転角検出装置における磁極対特定手段は、第1の磁極対特定手段(20B, S10B)と、第2の磁極対特定手段(20B, S10B)とを含み、前記第1の磁極対特定手段は、前記第2の回転角検出装置の多極磁石が有する磁極対パターンに含まれる各基準磁極対パターン内での各磁極対の順番を表す番号を相対的磁極対番号と定義すると、前記第2の回転角検出装置において基準となる磁気センサ(24)が感知している磁極対に対応する相対的磁極対番号を特定するように構成されており、前記第2の磁極対特定手段は、前記第1の磁極対特定手段によって特定された相対的磁極対番号と、前記第1の回転角演算装置における前記磁極対特定手段によって特定された領域番号とに基づいて、前記第2の回転角検出装置において基準となる磁気センサが感知している磁極対を特定するように構成されている、トルク検出装置である。

10

20

【0018】

第1の回転角検出装置における多極磁石は、基本の回転角検出装置における多極磁石の各磁極対が、当該磁極対と同じ磁力を有する1または複数の磁極対からなる構成を有している。そして、第1の回転角検出装置における磁極対特定手段は、基本の回転角検出装置における多極磁石における各磁極対に対応する角度領域を表す領域番号のうち、第1の回転角検出装置において基準となる磁気センサが感知している角度領域に対応する領域番号を特定する。

【0019】

基本の回転角検出装置における複数の磁極対の配列を磁力の強弱の配列で表した磁極対パターンを基準磁極対パターンとすると、第2の回転角演算装置における多極磁石は、基準磁極対パターンが n (n は2以上の整数)回繰り返された磁極対パターンを有している。つまり、第2の回転角演算装置における多極磁石には、基本の回転角検出装置における磁極対数の n (n は2以上の整数)倍に相当する数の磁極対が設けられている。

30

【0020】

第2の回転角検出装置における磁極対特定手段は、第1の磁極対特定手段と、第2の磁極対特定手段とを含んでいる。第1の磁極対特定手段は、第2の回転角検出装置の多極磁石が有する磁極対パターンに含まれる各基準磁極対パターン内での各磁極対の順番を表す番号を相対的磁極対番号と定義すると、第2の回転角検出装置において基準となる磁気センサが感知している磁極対に対応する相対的磁極対番号を特定する。第2の磁極対特定手段は、前記第1の磁極対特定手段によって特定された相対的磁極対番号と、第1の回転角演算装置における磁極対特定手段によって特定された領域番号とに基づいて、第2の回転角検出装置において基準となる磁気センサが感知している磁極対を特定する。

40

【0021】

この発明によれば、第2軸が回転を開始した直後の早い段階で、第2の回転角検出装置において基準となる磁気センサが感知している磁極対を特定できるようになる。これにより、第2軸が回転を開始した直後の早い段階で、第2軸の絶対的回転角(機械角)を検出することが可能となる。

請求項5記載の発明は、車両操舵装置におけるトルク検出装置であって、前記第2の回転角検出装置は、前記第2軸の回転角を操舵角として検出するように構成されている、請求項4に記載のトルク検出装置である。この構成では、第2軸が回転を開始した直後の早い段階で、操舵角を演算できるようになる。

50

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】この発明をブラシレスモータのロータの回転角を検出するための回転角検出装置に適用した場合の第1の実施形態の構成を示す模式図である。

【図2】検出用ロータの構成を示す模式図である。

【図3】第1、第2および第3の磁気センサの出力信号波形および第1の磁気センサが感知している磁極を示す模式図である。

【図4】ピーク値テーブルの内容を示す模式図である。

【図5】回転角演算装置による回転角演算処理の手順を示すフローチャートである。

【図6】図5のステップS3の相対的極番号の設定処理の手順を示すフローチャートである。

10

【図7】相対的極番号の設定処理を説明するための模式図である。

【図8】この発明を車両操舵装置のトルク検出装置に適用した場合の第2の実施形態の構成を示す模式図である。

【図9】第1の磁石の構成を示す模式図である。

【図10】第2の磁石の構成を示す模式図である。

【図11】第2の回転角演算部による回転角演算処理部の手順を示すフローチャートである。

【図12】トーションバーに捩れがない場合における、第1の磁石の領域I~VIIIと、第2の磁石の各グループG1~G4との相対的な位置関係を模式的に表している模式図である。

20

【図13】従来の回転角検出装置による回転角検出方法を説明するための模式図である。

【図14】第1の磁気センサの出力信号波形および第2の磁気センサの出力信号波形を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下では、この発明の実施形態について、添付図面を参照して詳細に説明する。

図1は、この発明をブラシレスモータのロータの回転角を検出するための回転角検出装置に適用した場合の第1の実施形態の構成を示す模式図である。

この回転角検出装置は、ブラシレスモータ10の回転に応じて回転する検出用ロータ（以下、単に「ロータ1」という）を有している。図2に示すように、ロータ1は、ブラシレスモータ10のロータに設けられている磁極対に相当する複数の磁極対を有する円筒状の磁石（多極磁石）2を含んでいる。

30

【0024】

磁石2は、8つの磁極対M1~M8を有している。つまり、磁石2は、等角度間隔で配置された16個の磁極m1~m16を有している。各磁極m1~m16は、ロータ1の回転中心軸を中心として、 22.5° （電気角では 180° ）の角度間隔で配置されている。

この実施形態では、磁極対における磁力の大きさの種類には、磁力が大きい第1の磁力と第1の磁力より磁力が小さい第2の磁力との2種類がある。この実施形態では、8個の磁極対M1~M8のうち、第1、第2、第3および第5のM1, M2, M3, M5の磁力が第2の磁力（弱い磁力）に設定され、第4、第6、第7および第8の磁極対M4, M6, M7, M8の磁力が第1の磁力（強い磁力）に設定されている。

40

【0025】

ロータ1の周囲には、3つの磁気センサ21, 22, 23が配置されている。これら3つの磁気センサ21, 22, 23を、それぞれ第1の磁気センサ21、第2の磁気センサ22および第3の磁気センサ23という場合がある。図2において、第2の磁気センサ22は、第1の磁気センサ21に対して、ロータ1の回転中心軸を中心として、時計方向に 75° （電気角では 600° ）だけ離れた位置に配置されている。第3の磁気センサ23は、第1の磁気センサ21に対して、ロータ1の回転中心軸を中心として、時計方向に10

50

5° (電気角では840°)だけ離れた位置に配置されている。

【0026】

言い換えると、第1の磁気センサ21が第1の磁極対M1における電気角で0°の位置に対向しているときには、第2の磁気センサ22が第2の磁極対M2における電気角で240°の位置に対向し、第3の磁気センサ23が第3の磁極対M3における電気角で120°の位置に対向するように、3つの磁気センサ21, 22, 23が配置されている。磁気センサとしては、たとえば、ホール素子、磁気抵抗素子(MR素子)等、磁界の作用により電気的特性が変化する特性を有する素子を備えたものを用いることができる。

【0027】

図2に矢印で示す方向をロータ1の正方向の回転方向とする。そして、ロータ1が正方向に回転されるとロータ1の回転角が大きくなり、ロータ1が逆方向に回転されると、ロータ1の回転角が小さくなるものとする。各磁気センサ21, 22, 23からは、図3に示すように、ロータ1が1磁極対分に相当する角度(45°(電気角では360°))を回転する期間を一周期とする正弦波信号V1, V2, V3が出力される。

10

【0028】

図3は、ロータ1における磁極対M8と磁極対M1との境界が第1の磁気センサ21に対向している場合のロータ1の回転角を0°にとった場合のロータ角度(機械角)に対する、各磁気センサ21, 22, 23の出力信号V1, V2, V3を示している。また、図3には、ロータ角度に対応して、第1の磁気センサ21が感知している磁極対M1~M8および磁極m1~m16が示されているとともに、各磁極対M1~M8の磁力の大きさが示されている。

20

【0029】

ロータ1の1回転分の角度範囲を、8つの磁極対M1~M8に対応して8つの区間に分け、各区間の開始位置を0°とし終了位置を360°として表したロータ1の角度を、ロータ1の電気角 e ということにする。

ここでは、第1の磁気センサ21からは、8つの磁極対M1~M8に対応する区間毎に、 $V1 = A1 \cdot \sin e$ の出力信号が出力されるものとする。この場合、第2の磁気センサ22からは、8つの磁極対M1~M8に対応する区間毎に、 $V2 = A2 \cdot \sin(e + 600^\circ) = A2 \cdot \sin(e + 240^\circ)$ の出力信号が出力される。また、第3の磁気センサ23からは、8つの磁極対M1~M8に対応する区間毎に、 $V3 = A3 \cdot \sin(e + 840^\circ) = A3 \cdot \sin(e + 120^\circ)$ の出力信号が出力される。A1, A2, A3は、それぞれ振幅を表している。ただし、振幅A1, A2, A3は、各磁極対M1~M8の磁力の大きさに応じて変化する。

30

【0030】

したがって、各磁気センサ21, 22, 23からは、互いに所定の位相差120°(電気角)を有する正弦波信号が出力される。各磁気センサ21, 22, 23の出力信号V1, V2, V3を、それぞれ第1の出力信号V1, 第2の出力信号V2および第3の出力信号V3という場合がある。

図1に戻り、各磁気センサ21, 22, 23の出力信号V1, V2, V3は、回転角演算装置20に入力される。回転角演算装置20は、各磁気センサ21, 22, 23の出力信号V1, V2, V3に基づいて、各磁気センサ21, 22, 23が感知している磁極を特定する。各磁気センサ21, 22, 23が感知している磁極の特定結果に基づいて、回転角演算装置20は、各磁気センサ21, 22, 23の出力信号V1, V2, V3の振幅を補正する。そして、回転角演算装置20は、振幅補正後の各出力信号に基づいて、ロータ1の電気角 e および機械角 m を演算する。

40

【0031】

回転角演算装置20によって演算された電気角 e および機械角 m は、モータコントローラ30に与えられる。モータコントローラ30は、回転角演算装置20から与えられる電気角 e および機械角 m を用いて、ブラシレスモータ10を制御する。

回転角演算装置20は、たとえば、マイクロコンピュータから構成され、CPU(中央

50

演算処理装置)およびメモリ(ROM, RAM, 書き換え可能な不揮発性メモリ等)を含んでいる。回転角演算装置20の不揮発性メモリには、磁気センサ21, 22, 23毎に、ピーク値テーブルが記憶されている。

【0032】

図4は、ピーク値テーブルの内容を示す模式図である。

ピーク値テーブルには、各磁極 $m_1 \sim m_{16}$ の磁極番号 $1 \sim 16$ 毎に、その磁極に対応する第1の磁気センサ21の出力信号 V_1 のピーク値(極大値または極小値) $P_1(1) \sim P_1(16)$ と、その磁極に対応する第2の磁気センサ22の出力信号 V_2 のピーク値(極大値または極小値) $P_2(1) \sim P_2(16)$ と、その磁極に対応する第3の磁気センサ23の出力信号 V_3 のピーク値(極大値または極小値) $P_3(1) \sim P_3(16)$ とが記憶されている。なお、各磁気センサ21, 22, 23としては、特性がほぼ等しいものが用いられているので、同じ磁極に対する各磁気センサ21, 22, 23のピーク値はほぼ同様な値となる。

10

【0033】

前記ピーク値テーブルへのピーク値の記憶は、たとえば、ブラシレスモータ10の出荷前に行われる。前記振幅補正用ピーク値テーブルに記憶されるピーク値は、1周期分のデータから求めてもよいし、複数周期分のデータの平均値から求めてもよい。

図5は、回転角演算装置20による回転角演算処理の手順を示すフローチャートである。

【0034】

図5に示される回転角演算処理は、所定の演算周期毎に繰り返し行なわれる。

回転角演算処理開始時において第1の磁気センサ21が感知している磁極を基準磁極として、各磁極に相対的な番号を割り当てた場合の各磁極の番号を相対的極番号と定義する。第1の磁気センサ21が感知している磁極の相対的極番号(以下、「第1の相対的極番号」という)を変数 r_1 で表し、第2の磁気センサ22が感知している磁極の相対的極番号(以下、「第2の相対的極番号」という)を変数 r_2 で表し、第3の磁気センサ23が感知している磁極の相対的極番号(以下、「第3の相対的極番号」という)を変数 r_3 で表すことにする。なお、各相対的極番号 r_1, r_2, r_3 は、 $1 \sim 16$ の整数をとり、1より1少ない相対的極番号は16となり、16より1大きい相対的極番号は1となるものとする。

20

30

【0035】

この実施形態では、回転角演算処理開始時において第1の磁気センサ21が感知している磁極(基準磁極)がN極の磁極である場合には、当該磁極に"1"の相対的極番号が割り当てられる。一方、回転角演算処理の開始時において第1の磁気センサ21が感知している磁極(基準磁極)がS極の磁極である場合には、当該磁極に"2"の相対的極番号が割り当てられる。

【0036】

また、第1の磁気センサ21が感知している磁極の極番号を q_1 、第2の磁気センサ22が感知している磁極の極番号を q_2 、第3の磁気センサ23が感知している磁極の極番号を q_3 で表すことにする。なお、各極番号 q_1, q_2, q_3 は、 $1 \sim 16$ の整数をとり、1より1少ない極番号は16となり、16より1大きい極番号は1となるものとする。

40

また、第1の磁気センサ21が感知している磁極対の磁極対番号を Q_1 で表すことにする。なお、磁極対番号 Q_1 は、 $1 \sim 8$ の整数をとり、1より1少ない極番号は8となり、8より1大きい極番号は1となるものとする。

【0037】

回転角演算処理が開始されると、回転角演算装置20は、各磁気センサ21, 22, 23の出力信号(センサ値) V_1, V_2, V_3 を読み込む(ステップS1)。なお、回転角演算装置20のメモリ(たとえば、RAM)には、所定回数前に読み込まれたセンサ値から最新に読み込まれたセンサ値までの、複数回数分のセンサ値が記憶されるようになっている。

50

【 0 0 3 8 】

また、この実施形態では、センサ値 V 1 のピーク値（極大値および極小値）を検出するために、読み込まれたセンサ値 V 1 のうち絶対値がより大きいセンサ値が、センサ値 V 1 のピーク値候補としてメモリに保存される。同様に、センサ値 V 2 のピーク値（極大値および極小値）を検出するために、読み込まれたセンサ値 V 2 のうち絶対値がより大きいセンサ値が、センサ値 V 2 のピーク値候補としてメモリに保存される。同様に、センサ値 V 3 のピーク値（極大値および極小値）を検出するために、読み込まれたセンサ値 V 3 のうち絶対値がより大きいセンサ値が、センサ値 V 3 のピーク値候補としてメモリに保存される。ただし、これらのピーク値候補は、対応する出力信号のゼロクロスが検出されたときには、後述するような所定のタイミングでゼロにリセットされる。

10

【 0 0 3 9 】

前記ステップ S 1 で各センサ値 V 1 , V 2 , V 3 が読み込まれると、回転角演算装置 2 0 は、今回の処理が回転角演算処理開始後の初回の処理であるか否かを判別する（ステップ S 2 ）。今回の処理が回転角演算処理開始後の初回の処理である場合には（ステップ S 2 : Y E S ）、回転角演算装置 2 0 は、相対的極番号の設定処理を行う（ステップ S 3 ）。

【 0 0 4 0 】

図 6 は、相対的極番号の設定処理の詳細な手順を示している。

回転角演算装置 2 0 は、まず、第 1 の出力信号 V 1 が 0 より大きいかなかを判別する（ステップ S 2 1 ）。第 1 の出力信号 V 1 が 0 より大きい場合には（ステップ S 2 1 : Y E S ）、回転角演算装置 2 0 は、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極（基準磁極）が N 極の磁極であると判別し、第 1 の相対的極番号 r 1 を 1 に設定する（ステップ S 2 4 ）。そして、ステップ S 2 6 に進む。

20

【 0 0 4 1 】

一方、第 1 の出力信号 V 1 が 0 以下である場合には（ステップ S 2 1 : N O ）、回転角演算装置 2 0 は、第 1 の出力信号 V 1 が 0 より小さいかなかを判別する（ステップ S 2 2 ）。第 1 の出力信号 V 1 が 0 より小さい場合には（ステップ S 2 2 : Y E S ）、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極（基準磁極）が S 極の磁極であると判別し、第 1 の相対的極番号 r 1 を 2 に設定する（ステップ S 2 5 ）。そして、ステップ S 2 6 に進む。

30

【 0 0 4 2 】

前記ステップ S 2 2 において、第 1 の出力信号 V 1 が 0 以上であると判別された場合には（ステップ S 2 2 : N O ）、つまり、第 1 の出力信号 V 1 が 0 である場合には、回転角演算装置 2 0 は、ロータ回転角（電気角）が 0 ° であるか 1 8 0 ° であるかを判別するために、第 3 の出力信号 V 3 が 0 より大きいかなかを判別する（ステップ S 2 3 ）。第 3 の出力信号 V 3 が 0 より大きい場合には（ステップ S 2 3 : Y E S ）、回転角演算装置 2 0 は、ロータ回転角（電気角）が 0 ° であると判別し、第 1 の相対的極番号 r 1 を 1 に設定する（ステップ S 2 4 ）。そして、ステップ S 2 6 に進む。

【 0 0 4 3 】

一方、第 3 の出力信号 V 3 が 0 以下である場合には（ステップ S 2 3 : N O ）、回転角演算装置 2 0 は、ロータ回転角（電気角）が 1 8 0 ° であると判別し、第 1 の相対的極番号 r 1 を 2 に設定する（ステップ S 2 5 ）。そして、ステップ S 2 6 に進む。

40

なお、前記ステップ S 2 3 において、回転角演算装置 2 0 は、第 2 の出力信号 V 2 が 0 より小さいかなかを判別するようにしてもよい。この場合には、第 2 の出力信号 V 2 が 0 より小さいときには、回転角演算装置 2 0 は、ステップ S 2 4 に進んで第 1 の相対的極番号 r 1 を 1 に設定する。一方、第 2 の出力信号 V 2 が 0 以上である場合には、回転角演算装置 2 0 は、ステップ S 2 5 に進んで第 1 の相対的極番号 r 1 を 2 に設定する。

【 0 0 4 4 】

ステップ S 2 6 では、回転角演算装置 2 0 は、「 V 1 = 0 かつ V 2 < 0 」または「 V 1 = 0 かつ V 2 > 0 」の条件を満たしているかなかを判別する。この条件を満たしている場合には（ステップ S 2 6 : Y E S ）、回転角演算装置 2 0 は、第 2 の磁気センサ 2 2 が感

50

知している磁極の極番号は、第1の磁気センサ21が感知している磁極の極番号より3だけ大きい番号であると判別し、第2の相対的極番号 r_2 に、第1の相対的極番号 r_1 より3だけ大きい番号($r_2 = r_1 + 3$)を設定する(ステップS27)。そして、ステップS29に移行する。

【0045】

一方、前記ステップS26の条件を満たしていない場合には(ステップS26:NO)、回転角演算装置20は、第2の磁気センサ22が感知している磁極の極番号は、第1の磁気センサ21が感知している磁極の極番号より4だけ大きい番号であると判別し、第2の相対的極番号 r_2 に、第1の相対的極番号 r_1 より4だけ大きい番号($r_2 = r_1 + 4$)を設定する(ステップS28)。そして、ステップS29に移行する。

10

【0046】

ステップS29では、回転角演算装置20は、「 $V_1 > 0$ かつ $V_3 = 0$ 」または「 $V_1 < 0$ かつ $V_3 = 0$ 」の条件を満たしているか否かを判別する。この条件を満たしている場合には(ステップS29:YES)、回転角演算装置20は、第3の磁気センサ23が感知している磁極の極番号は、第1の磁気センサ21が感知している磁極の極番号より5だけ大きい番号であると判別し、第3の相対的極番号 r_3 に、第1の相対的極番号 r_1 より5だけ大きい番号($r_3 = r_1 + 5$)を設定する(ステップS30)。そして、図5のステップS12に戻る。

【0047】

一方、前記ステップS29の条件を満たしていない場合には(ステップS29:NO)、回転角演算装置20は、第3の磁気センサ23が感知している磁極の極番号は、第1の磁気センサ21が感知している磁極の極番号より4だけ大きい番号であると判別し、第3の相対的極番号 r_3 に、第1の相対的極番号 r_1 より4だけ大きい番号($r_3 = r_1 + 4$)を設定する(ステップS31)。そして、図5のステップS12に戻る。

20

【0048】

前記ステップS26の条件を満たしている場合に、第2の相対的極番号 r_2 に第1の相対的極番号 r_1 より3だけ大きい番号($r_2 = r_1 + 3$)を設定し、前記ステップS26の条件を満たしていない場合に、第2の相対的極番号 r_2 に第1の相対的極番号 r_1 より4だけ大きい番号($r_2 = r_1 + 4$)を設定している理由について説明する。また、前記ステップS29の条件を満たしている場合に、第3の相対的極番号 r_3 に、第1の相対的極番号 r_1 より5だけ大きい番号($r_3 = r_1 + 5$)を設定し、前記ステップS29の条件を満たしていない場合に、第3の相対的極番号 r_3 に、第1の相対的極番号 r_1 より4だけ大きい番号($r_3 = r_1 + 4$)を設定している理由について説明する。

30

【0049】

たとえば、ロータ1における磁極 m_1 と磁極 m_2 とからなる磁極対M1が第1の磁気センサ21を通過する際の、第1、第2および第3の磁気センサ21, 22, 23の出力信号 V_1, V_2, V_3 の信号波形を模式的に表すと、図7(a)(b)(c)に示すようになる。

図7(a)(b)において、S1, S2で示す領域は、第1の磁気センサ21が磁極 m_1 を感知し、第2の磁気センサ22が磁極 m_4 を感知している領域である。S3で示す領域は、第1の磁気センサ21が磁極 m_1 を感知し、第2の磁気センサ22が磁極 m_5 を感知している領域である。S4, S5で示す領域は、第1の磁気センサ21が磁極 m_2 を感知し、第2の磁気センサ22が磁極 m_5 を感知している領域である。S6で示す領域は、第1の磁気センサ21が磁極 m_2 を感知し、第2の磁気センサ22が磁極 m_6 を感知している領域である。

40

【0050】

つまり、領域S1, S2, S4およびS5では、第2の磁気センサ22が感知している磁極の極番号は、第1の磁気センサ21が感知している磁極の極番号より3だけ大きくなる。一方、領域S3およびS6では、第2の磁気センサ22が感知している磁極の極番号は、第1の磁気センサ21が感知している磁極の極番号より4だけ大きい番号となる。

50

領域 S 1 , S 2 においては、両センサ値 V 1 , V 2 は、 $V 1 = 0$ かつ $V 2 < 0$ の第 1 条件を満たす。領域 S 3 においては、両センサ値 V 1 , V 2 は、 $V 1 > 0$ かつ $V 2 = 0$ の第 2 条件を満たす。領域 S 4 , S 5 においては、両センサ値 V 1 , V 2 は、 $V 1 = 0$ かつ $V 2 > 0$ の第 3 条件を満たす。領域 S 6 においては、両センサ値 V 1 , V 2 は、 $V 1 < 0$ かつ $V 2 = 0$ の第 4 条件を満たす。

【 0 0 5 1 】

そこで、回転角演算装置 2 0 は、前記第 1 条件 ($V 1 = 0$ かつ $V 2 < 0$) または前記第 3 条件 ($V 1 = 0$ かつ $V 2 > 0$) を満たしている場合には、第 2 の磁気センサ 2 2 が感知している磁極の極番号は、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極の極番号より 3 だけ大きくなると判別し、前記第 1 条件または前記第 3 条件を満たしていない場合には、第 2 の磁気センサ 2 2 が感知している磁極の極番号は、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極の極番号より 4 だけ大きくなると判別している。

10

【 0 0 5 2 】

また、図 7 (a) (c) において、S 1 で示す領域は、第 1 の磁気センサ 2 1 が磁極 m 1 を感知し、第 3 の磁気センサ 2 3 が磁極 m 5 を感知している領域である。S 2 および S 3 で示す領域は、第 1 の磁気センサ 2 1 が磁極 m 1 を感知し、第 3 の磁気センサ 2 3 が磁極 M 6 を感知している領域である。S 4 で示す領域は、第 1 の磁気センサ 2 1 が磁極 m 2 を感知し、第 3 の磁気センサ 2 3 が磁極 M 6 を感知している領域である。S 5 および S 6 で示す領域は、第 1 の磁気センサ 2 1 が磁極 m 2 を感知し、第 3 の磁気センサ 2 3 が磁極 m 7 を感知している領域である。

20

【 0 0 5 3 】

つまり、領域 S 1 および S 4 では、第 3 の磁気センサ 2 3 が感知している磁極の極番号は、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極の極番号より 4 だけ大きい番号となる。一方、領域 S 2 , S 3 , S 5 および S 6 では、第 2 の磁気センサ 2 2 が感知している磁極の極番号は、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極の極番号より 5 だけ大きくなる。

領域 S 1 においては、両センサ値 V 1 , V 3 は、 $V 1 = 0$ かつ $V 3 > 0$ の第 1 条件を満たす。領域 S 2 , S 3 においては、両センサ値 V 1 , V 3 は、 $V 1 > 0$ かつ $V 3 = 0$ の第 2 条件を満たす。領域 S 4 においては、両センサ値 V 1 , V 3 は、 $V 1 = 0$ かつ $V 3 < 0$ の第 3 条件を満たす。領域 S 5 , S 6 においては、両センサ値 V 1 , V 3 は、 $V 1 < 0$ かつ $V 3 = 0$ の第 4 条件を満たす。

30

【 0 0 5 4 】

そこで、回転角演算装置 2 0 は、前記第 2 条件 ($V 1 > 0$ かつ $V 3 = 0$) または前記第 4 条件 ($V 1 < 0$ かつ $V 3 = 0$) を満たしている場合には、第 3 の磁気センサ 2 3 が感知している磁極の極番号は、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極の極番号より 5 だけ大きくなると判別し、前記第 2 条件または前記第 4 条件を満たしていない場合には、第 3 の磁気センサ 2 3 が感知している磁極の極番号は、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極の極番号より 4 だけ大きくなると判別している。

【 0 0 5 5 】

図 5 に戻り、前記ステップ S 2 において、今回の処理が回転角演算処理開始後の初回の処理ではないと判別された場合には (ステップ S 2 : NO)、ステップ S 4 に移行する。

40

ステップ S 4 では、回転角演算装置 2 0 は、メモリに記憶されているセンサ値 V 1 , V 2 , V 3 に基づいて、センサ値 V 1 , V 2 , V 3 毎に、センサ値の符号が反転するゼロクロスを検出したか否かを判別する。ゼロクロスが検出されなかったときには (ステップ S 4 : NO)、回転角演算装置 2 0 は、ステップ S 1 2 に移行する。

【 0 0 5 6 】

前記ステップ S 4 において、いずれかのセンサ値 V 1 , V 2 , V 3 に対してゼロクロスが検出された場合には (ステップ S 4 : YES)、回転角演算装置 2 0 は、後述するステップ S 1 0 の極番号特定処理によって、各磁極センサ 2 1 , 2 2 , 2 3 が検知している磁極が既に特定されているか否かを判別する (ステップ S 5)。

各磁極センサ 2 1 , 2 2 , 2 3 が検知している磁極が特定されていない場合には、回転

50

角演算装置 20 は、相対的極番号の更新処理を行なう（ステップ S6）。具体的には、回転角演算装置 20 は、前記ステップ S4 でゼロクロスが検出された磁気センサに対して現在設定されている相対的極番号 r_1 、 r_2 または r_3 を、ロータ 1 の回転方向に応じて、1 だけ大きい番号または 1 だけ小さい番号に変更する。

【0057】

ロータ 1 の回転方向が正方向（図 2 に矢印で示す方向）である場合には、回転角演算装置 20 は、前記ステップ S4 でゼロクロスが検出された磁気センサに対して現在設定されている相対的極番号 r_1 、 r_2 または r_3 を、1 だけ大きい番号に更新する。一方、ロータ 1 の回転方向が逆方向である場合には、回転角演算装置 20 は、ゼロクロスが検出された磁気センサに対して現在設定されている相対的極番号 r_1 、 r_2 または r_3 を、1 だけ小さい番号に更新する。ただし、前述したように、“1”の相対的極番号に対して、1 だけ小さい相対的極番号は、“16”となる。また、“16”の相対的極番号に対して、1 だけ大きい相対的極番号は、“1”となる。

10

【0058】

なお、ロータ 1 の回転方向は、ゼロクロスが検出された出力信号の前回値および今回値と、他の 1 つの出力信号の今回値とに基づいて判定することができる。具体的には、ゼロクロスが検出された出力信号が第 1 の出力信号 V_1 である場合には、「第 1 の出力信号 V_1 の前回値が 0 より大きくかつその今回値が 0 以下であり、第 3 の出力信号 V_3 が 0 より小さい（または第 2 の出力信号 V_2 が 0 より大きい）」という条件、または「第 1 の出力信号 V_1 の前回値が 0 未満でかつその今回値が 0 以上であり、第 3 の出力信号 V_3 が 0 より大きい（または第 2 の出力信号 V_2 が 0 より小さい）」という条件を満たしている場合には、回転方向は正方向（図 2 に矢印で示す方向）であると判定される。

20

【0059】

一方、「第 1 の出力信号 V_1 の前回値が 0 以上でかつその今回値が 0 未満であり、第 3 の出力信号 V_3 が 0 より大きい（または第 2 の出力信号 V_2 が 0 より小さい）」という条件、または「第 1 の出力信号 V_1 の前回値が 0 以下でかつその今回値が 0 より大きく、第 3 の出力信号 V_3 が 0 より小さい（または第 2 の出力信号 V_2 が 0 より大きい）」という条件を満たしている場合には、回転方向は逆方向であると判定される。

【0060】

ゼロクロスが検出された出力信号が第 2 の出力信号 V_2 である場合には、「第 2 の出力信号 V_2 の前回値が 0 より大きくかつその今回値が 0 以下であり、第 1 の出力信号 V_1 が 0 より小さい（または第 3 の出力信号 V_3 が 0 より大きい）」という条件、または「第 2 の出力信号 V_2 の前回値が 0 未満でかつその今回値が 0 以上であり、第 1 の出力信号 V_1 が 0 より大きい（または第 3 の出力信号 V_3 が 0 より小さい）」という条件を満たしている場合には、回転方向は正方向（図 2 に矢印で示す方向）であると判定される。一方、「第 2 の出力信号 V_2 の前回値が 0 以上でかつその今回値が 0 未満であり、第 1 の出力信号 V_1 が 0 より大きい（または第 3 の出力信号 V_3 が 0 より小さい）」という条件、または「第 2 の出力信号 V_2 の前回値が 0 以下でかつその今回値が 0 より大きく、第 1 の出力信号 V_1 が 0 より小さい（または第 3 の出力信号 V_3 が 0 より大きい）」という条件を満たしている場合には、回転方向は逆方向であると判定される。

30

40

【0061】

ゼロクロスが検出された出力信号が第 3 の出力信号 V_3 である場合には、「第 3 の出力信号 V_3 の前回値が 0 より大きくかつその今回値が 0 以下であり、第 1 の出力信号 V_1 が 0 より大きい（または第 2 の出力信号 V_2 が 0 より小さい）」という条件、または「第 3 の出力信号 V_3 の前回値が 0 未満でかつその今回値が 0 以上であり、第 1 の出力信号 V_1 が 0 より小さい（または第 2 の出力信号 V_2 が 0 より大きい）」という条件を満たしている場合には、回転方向は正方向（図 2 に矢印で示す方向）であると判定される。一方、「第 3 の出力信号 V_3 の前回値が 0 以上でかつその今回値が 0 未満であり、第 1 の出力信号 V_1 が 0 より小さい（または第 2 の出力信号 V_2 が 0 より大きい）」という条件、または「第 3 の出力信号 V_3 の前回値が 0 以下でかつその今回値が 0 より大きく、第 1 の出力信

50

号V1が0より大きい(または第2の出力信号V2が0より小さい)」という条件を満たしている場合には、回転方向は逆方向であると判定される。

【0062】

前記ステップS6の相対的極番号の更新処理が終了すると、回転角演算装置20は、ピーク値検出処理を行なう(ステップS7)。ピーク値検出処理について具体的に説明する。前記ステップS4でゼロクロスが検出された出力信号に対応する磁気センサをピーク値検出対象の磁気センサということにする。回転角演算装置20は、まず、ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化したか否かを判別する。つまり、回転角演算装置20は、ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極位置が、当該磁気センサの出力信号のゼロクロスが前回検出された時点と、今回検出された時点とで、異なっているか同じであるかを判定する。ロータ1の回転方向が逆転した場合には、前記両時点での磁極位置が同じになる可能性がある。

10

【0063】

この判定は、たとえば、前回ゼロクロスが検出されたときのロータ1の回転方向と、現在のロータ1の回転方向が同じ方向であるか否かに基づいて行うことができる。すなわち、回転角演算装置20は、ロータ1の回転方向が同じ方向であれば、ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化したと判定する。一方、ロータ1の回転方向が異なっていれば、回転角演算装置20は、ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化していないと判定する。

20

【0064】

ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化したと判定された場合には、回転角演算装置20は、ピーク値を検出したと判別するとともに、当該磁気センサに対応するピーク値候補をピーク値として特定する。一方、ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化していないと判定された場合には、回転角演算装置20は、ピーク値を検出しなかったと判定する。なお、ピーク値には、0より大きな極大値と、0より小さな極小値とがある。この実施形態では、ピーク値のうち、極大値に基づいて、第1の磁気センサ21が感知している磁極対が特定されるものとする。以下において、ピーク値検出処理において検出された第1の出力信号V1、第2の出力信号V2および第3の出力信号V3の極大値を、それぞれP1、P2およびP3で表す場合がある。

30

【0065】

ピーク値検出処理において極大値が検出されなかった場合には(ステップS8:NO)、回転角演算装置20は、前記ステップS4でゼロクロスが検出された出力信号に対応するピーク値候補を0にリセットした後、ステップS12に移行する。一方、ピーク値検出処理において極大値が検出されたときには(ステップS8:YES)、当該極大値を、前記ステップS4でゼロクロスが検出された出力信号に対する極大値P1、P2またはP3として記憶する(ステップS9)。そして、回転角演算装置20は、前記ステップS4でゼロクロスが検出された出力信号に対応するピーク値候補を0にリセットした後、ステップS10に移行する。

40

【0066】

ステップS10では、回転角演算装置20は、極番号特定処理(磁極対特定処理)を行なう。

図3を参照して、極番号特定処理の考え方について説明する。図3に示すように、磁力が弱い磁極対M1、M2、M3、M5内のN磁極m1、m3、m5、m9に対する各出力信号V1、V2、V3のピーク値(極大値)と、磁力が強い磁極対M4、M6、M7、M8内のN磁極m7、m11、m13、m15に対する各出力信号V1、V2、V3のピーク値(極大値)との中間に、閾値A(A>0)が設定されている。

50

【0067】

図3から分かるように、第1の磁気センサ21が感知している磁極対M1~M8毎に、3つの出力信号V1、V2、V3の極大値の組合せが異なっている。したがって、3つの出力信号V1、V2、V3の極大値P1、P2、P3の組合せに基づいて、第1の磁気セ

ンサ 2 1 が感知している磁極対を特定することができる。また、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対を特定するタイミングに基づいて、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極を特定することができる。そして、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極に基づいて、第 2 および第 3 の磁気センサ 2 2 , 2 3 が感知している磁極を特定することができる。

【 0 0 6 8 】

第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対 M 1 ~ M 8 と、3 つの出力信号 V 1 , V 2 , V 3 の極大値 P 1 , P 2 , P 3 の組合せとの関係は、表 1 に示すようになる。

【 0 0 6 9 】

【表 1】

表1

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
P1	P1<A	P1<A	P1<A	P1>A	P1<A	P1>A	P1>A	P1>A
P2	P2<A	P2<A	P2>A	P2<A	P2>A	P2>A	P2>A	P2<A
P3	P3<A	P3>A	P3<A	P3>A	P3>A	P3>A	P3<A	P3<A

【 0 0 7 0 】

なお、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対を特定するタイミングは、ロータ 1 が正方向に回転している場合には、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対が移り変わった後に、第 3 の出力信号 V 3 のゼロクロスが初めて検出されるタイミング（以下、「第 1 の磁極対特定タイミング」という）である。したがって、第 1 の磁極対特定タイミングにおいて表 1 の内容に基づいて特定される磁極対は、第 1 の磁気センサ 2 1 が直前まで感知していた磁極対となる。このため、第 1 の磁極対特定タイミングにおいて第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対は、表 1 の内容に基づいて特定される磁極対より磁極対番号が 1 だけ大きい磁極対となる。また、第 1 の磁極対特定タイミングにおいて第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極は、第 1 の磁極対特定タイミングにおいて第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対内の 2 つの磁極のうち、N 極の磁極となる。

【 0 0 7 1 】

一方、ロータ 1 が逆方向に回転している場合には、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対を特定するタイミングは、第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対が移り変わった直後に、第 1 の出力信号 V 1 のゼロクロスが検出されるタイミング（以下、「第 2 の磁極対特定タイミング」という）である。したがって、第 2 の磁極対特定タイミングにおいて表 1 の内容に基づいて特定される磁極対は、第 1 の磁気センサ 2 1 が直前まで感知していた磁極対となる。このため、第 2 の磁極対特定タイミングにおいて第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対は、表 1 の内容に基づいて特定される磁極対より磁極対番号が 1 だけ小さい磁極対となる。また、第 2 の磁極対特定タイミングにおいて第 2 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極は、第 2 の磁極対特定タイミングにおいて第 1 の磁気センサ 2 1 が感知している磁極対内の 2 つの磁極のうち、S 極の磁極となる。

【 0 0 7 2 】

以下、より具体的に、極番号特定処理について説明する。極番号特定処理は、3 つの出力信号 V 1 , V 2 , V 3 の極大値が既に検出（記憶）されている場合において、次の第 1 条件または第 2 条件のいずれかを満たしている場合にのみ行われる。

第 1 条件：ロータ 1 の回転方向が正方向でありかつ前記ステップ S 4 でゼロクロスが検出された出力信号が第 3 の出力信号 V 3 であること

第 2 条件：ロータ 1 の回転方向が逆方向でありかつ前記ステップ S 4 でゼロクロスが検出された出力信号が第 1 の出力信号 V 1 であること

第 1 条件は、第 1 の磁極対特定タイミングであるか否かを判定するための条件である。

第1条件を満たしている場合には、現時点が第1の磁極対特定タイミングであると判定される。第2条件は、第2の磁極対特定タイミングであるか否かを判定するための条件である。第2条件を満たしている場合には、現時点が第2の磁極対特定タイミングであると判定される。

【0073】

第1条件を満たしている場合には、回転角演算装置20は、表1に示される磁極対M1～M8と3つの極大値P1, P2, P3の組合せとの関係と、最新に検出された各出力信号V1, V2, V3の極大値P1, P2, P3の組み合わせとに基づいて、第1の磁気センサ21が直前まで感知していた磁極対の磁極対番号Q1'を特定する。そして、当該磁極対番号Q1'より1だけ大きい磁極対番号を、第1の磁極センサ21が現在感知している磁極対の磁極対番号Q1(=Q1'+1)として特定する。

10

【0074】

次に、回転角演算装置20は、第1の磁極センサ21が現在感知している磁極の極番号q1を、 $q1 = 2 \cdot Q1 - 1$ に基づいて特定する。また、回転角演算装置20は、第1の磁気センサ21が感知している磁極の極番号q1と、第1および第2の相対的極番号r1, r2とに基づいて、第2の磁気センサ22が感知している磁極の極番号q2を特定する。具体的には、回転角演算装置20は、 $q2 = (q1 - r1) + r2$ に基づいて、第2の磁気センサ22が感知している磁極の極番号q2を特定する。

【0075】

さらに、回転角演算装置20は、第1の磁気センサ21が感知している磁極の極番号q1と、第1および第3の相対的極番号r1, r3とに基づいて、第3の磁気センサ23が感知している磁極の極番号q3を特定する。具体的には、回転角演算装置20は、 $q3 = (q1 - r1) + r3$ に基づいて、第3の磁気センサ23が感知している磁極の極番号q3を特定する。そして、ステップS12に移行する。

20

【0076】

一方、第2条件を満たしている場合には、回転角演算装置20は、表1に示される磁極対M1～M8と3つの極大値P1, P2, P3の組合せとの関係と、最新に検出された各出力信号V1, V2, V3の極大値P1, P2, P3の組み合わせとに基づいて、第1の磁気センサ21が直前まで感知していた磁極対の磁極対番号Q1'を特定する。そして、当該磁極対番号Q1'より1だけ小さい磁極対番号を、第1の磁極センサ21が現在感知している磁極対の磁極対番号Q1(=Q1'-1)として特定する。

30

【0077】

次に、回転角演算装置20は、第1の磁極センサ21が現在感知している磁極の極番号q1を、 $q1 = 2 \cdot Q1$ に基づいて特定する。また、回転角演算装置20は、 $q2 = (q1 - r1) + r2$ に基づいて、第2の磁気センサ22が感知している磁極の極番号q2を特定する。さらに、回転角演算装置20は、 $q3 = (q1 - r1) + r3$ に基づいて、第3の磁気センサ23が感知している磁極の極番号q3を特定する。そして、ステップS12に移行する。

【0078】

なお、前記ステップS10において、3つの出力信号V1, V2, V3の極大値P1, P2, P3が検出(記憶)されていないと判別された場合、あるいは3つの出力信号V1, V2, V3の極大値P1, P2, P3が検出されていても、前記第1条件および第2条件のいずれをも満たしていないと判別された場合には、回転角演算装置20は、前述した極番号特定処理を行なうことなく、ステップS12に移行する。

40

【0079】

前記ステップS5において、各磁気センサ21, 22, 23が感知している磁極が既に特定されていると判別された場合には(ステップS5:YES)、回転角演算装置20は、前記ステップS4でゼロクロスが検出された出力信号に対応するピーク値候補を0にリセットした後、極番号の更新処理を行なう(ステップS11)。具体的には、回転角演算装置20は、前記ステップS4でゼロクロスが検出された磁気センサに対して既に特定さ

50

れている極番号 q_1 、 q_2 または q_3 を、ロータ 1 の回転方向に応じて、1 だけ大きい極番号または 1 だけ小さい極番号に変更する。

【0080】

ロータ 1 の回転方向が正方向である場合には、回転角演算装置 20 は、ゼロクロスが検出された磁気センサに対して既に特定されている前記極番号 q_1 、 q_2 または q_3 を、1 だけ大きい極番号に更新する。一方、ロータ 1 の回転方向が逆方向である場合には、回転角演算装置 20 は、ゼロクロスが検出された磁気センサに対して既に特定されている前記極番号 q_1 、 q_2 または q_3 を、1 だけ小さい極番号に更新する。ただし、“1”の極番号に対して、1 だけ小さい極番号は、“16”となる。また、“16”の極番号に対して、1 だけ大きい極番号は、“1”となる。回転角演算装置 20 は、ステップ S 11 の極番号の更新処理が終了すると、ステップ S 12 に移行する。

10

【0081】

ステップ S 12 では、回転角演算装置 20 は、振幅補正処理を行う。つまり、回転角演算装置 20 は、各磁気センサ 21、22、23 が感知している磁極の極番号 q_1 、 q_2 、 q_3 が特定されている場合には、各磁気センサ 21、22、23 の出力信号 V_1 、 V_2 、 V_3 の振幅を補正する。一方、各磁気センサ 21、22、23 が感知している磁極の極番号 q_1 、 q_2 、 q_3 が特定されていない場合には、回転角演算装置 20 は、振幅補正処理を行うことなく、ステップ S 13 に移行する。

【0082】

各磁気センサ 21、22、23 が感知している磁極の極番号 q_1 、 q_2 、 q_3 が特定されている場合には、回転角演算装置 20 は、第 1 の磁気センサ 21 が感知している磁極の極番号 q_1 に対応する第 1 の出力信号 V_1 のピーク値と、第 2 の磁気センサ 22 が感知している磁極の極番号 q_2 に対応する第 2 の出力信号 V_2 のピーク値と、第 3 の磁気センサ 23 が感知している磁極の極番号 q_3 に対応する第 3 の出力信号 V_3 のピーク値とを、ピーク値テーブル（図 4 参照）から取得する。ピーク値テーブルから取得された第 1、第 2 および第 3 の出力信号 V_1 、 V_2 、 V_3 のピーク値を、それぞれ P_{1x} 、 P_{2x} 、 P_{3x} で表すことにする。そして、取得した各ピーク値（振幅補正值） P_{1x} 、 P_{2x} 、 P_{3x} と予め設定されている基準振幅 とに基づいて、各出力信号 V_1 、 V_2 、 V_3 の振幅を補正する。

20

【0083】

具体的には、第 1、第 2 および第 3 の出力信号 V_1 、 V_2 、 V_3 の振幅補正後の信号をそれぞれ V_1' 、 V_2' 、 V_3' とすると、補正後の第 1、第 2 および第 3 の出力信号 V_1' 、 V_2' 、 V_3' は、それぞれ次式 (2) (3) (4) に基づいて演算される。

30

$$V_1' = (V_1 / P_{1x}) \times \dots (2)$$

$$V_2' = (V_2 / P_{2x}) \times \dots (3)$$

$$V_3' = (V_3 / P_{3x}) \times \dots (4)$$

振幅補正処理が終了すると、回転角演算装置 20 は、ステップ S 13 に移行する。ステップ S 13 では、回転角演算装置 20 は、前記ステップ S 12 で振幅補正された各出力信号 V_1' 、 V_2' 、 V_3' に基づいて、電気角 e を演算する。ただし、前記ステップ S 12 で振幅補正が行われなかった場合には、前記ステップ S 1 で読み込まれたセンサ値 V_1 、 V_2 、 V_3 に基づいて、電気角 e を演算する。

40

【0084】

以下、振幅補正された各出力信号 V_1' 、 V_2' 、 V_3' に基づいて、電気角 e を演算する場合について説明する。なお、前記ステップ S 1 で読み込まれたセンサ値 V_1 、 V_2 、 V_3 に基づいて電気角 e を演算する場合には、補正後の各出力信号 V_1' 、 V_2' 、 V_3' の代わりにセンサ値 V_1 、 V_2 、 V_3 が用いられるだけなので、その説明を省略する。

【0085】

回転角演算装置 20 は、振幅補正後の第 1 の出力信号 V_1' と振幅補正後の第 3 の出力信号 V_3' とに基づいて、ロータ 1 の回転角に相当する第 1 の電気角 e_1 を演算する。

50

また、回転角演算装置 20 は、振幅補正後の第 1 の出力信号 $V_{1'}$ と振幅補正後の第 2 の出力信号 $V_{2'}$ とに基づいて、ロータ 1 の回転角に相当する第 2 の電気角 e_2 を演算する。また、回転角演算装置 20 は、振幅補正後の第 2 の出力信号 $V_{2'}$ と振幅補正後の第 3 の出力信号 $V_{3'}$ とに基づいて、ロータ 1 の回転角に相当する第 3 の電気角 e_3 を演算する。第 1、第 2 および第 3 の電気角 e_1 , e_2 , e_3 の演算方法については、後述する。

【0086】

そして、回転角演算装置 20 は、たとえば、次式(5)に基づいて、最終的な電気角 e を演算する。つまり、回転角演算装置 20 は、第 1、第 2 および第 3 の電気角 e_1 , e_2 , e_3 の平均値を、最終的な電気角 e として演算する。

$$e = (e_1 + e_2 + e_3) / 3 \quad \dots(5)$$

なお、回転角演算装置 20 は、第 1、第 2 および第 3 の電気角 e_1 , e_2 , e_3 の中央値を、最終的な電気角 e として演算することができる。また、回転角演算装置 20 は、第 1、第 2 および第 3 の電気角 e_1 , e_2 , e_3 のうち、最も外れているものを除外し、他の 2 つの平均値を、最終的な電気角 e として演算することもできる。さらに、回転角演算装置 20 は、第 1、第 2 および第 3 の電気角 e_1 , e_2 , e_3 のいずれか 1 つの電気角を、最終的な電気角 e として決定してもよい。

【0087】

第 1 の電気角 e_1 の演算方法について説明する。前記基準振幅は V であるので、振幅補正後の第 1 の出力信号 $V_{1'}$ は $V \cdot \sin e$ で表され、振幅補正後の第 2 の出力信号 $V_{2'}$ は $V \cdot \sin(e + 240^\circ)$ で表され、振幅補正後の第 3 の出力信号 $V_{3'}$ は $V \cdot \sin(e + 120^\circ)$ で表される。ここでは、説明の便宜上、基準振幅 V が 1 であるとし、振幅補正後の第 1 の出力信号 $V_{1'}$ 、第 2 の出力信号 $V_{2'}$ および第 3 の出力信号 $V_{3'}$ を、それぞれ $V_{1'} = \sin e$ 、 $V_{2'} = \sin(e + 240^\circ)$ および $V_{3'} = \sin(e + 120^\circ)$ で表すことにする。

【0088】

回転角演算装置 20 は、まず、振幅補正後の第 1 の出力信号 $V_{1'}$ ($= \sin e$) と振幅補正後の第 3 の出力信号 $V_{3'}$ ($= \sin(e + 120^\circ)$) とから、振幅補正後の第 1 の出力信号 $V_{1'}$ に対する位相差が 90° となる信号 $V_{13'}$ ($= \sin(e + 90^\circ) = \cos e$) を演算する。より具体的には、回転角演算装置 20 は、次式(6)に基づいて、信号 $V_{13'}$ を演算する。

【0089】

【数 1】

$$\begin{aligned} V_{13'} &= \cos \theta e \\ &= \frac{\sin(\theta e + 120^\circ) - \sin \theta e \cdot \cos 120^\circ}{\sin 120^\circ} \\ &= \frac{V_{3'} - V_{1'} \cdot \cos 120^\circ}{\sin 120^\circ} \\ &= \frac{2 \cdot V_{3'} + V_{1'}}{\sqrt{3}} \quad \dots(6) \end{aligned}$$

【0090】

前記式(6)は、 $\sin(e + 120^\circ)$ を三角関数の加法定理により展開した式に基づいて、導出することができる。そして、回転角演算装置 20 は、前記信号 $V_{13'}$ ($= \cos e$) と振幅補正後の第 1 の出力信号 $V_{1'}$ ($= \sin e$) とを用い、次式(7)に基づいて、第 1 の電気角 e_1 を演算する。

【0091】

10

20

30

40

【数 2】

$$\begin{aligned}\theta_{e1} &= \tan^{-1} \frac{\sin \theta_e}{\cos \theta_e} \\ &= \tan^{-1} \frac{V1'}{V13'} \quad \dots (7)\end{aligned}$$

【0092】

第2の電気角 θ_{e2} の演算方法について説明する。回転角演算装置20は、まず、振幅補正後の第1の出力信号 $V1'$ ($= \sin \theta_e$) と振幅補正後の第2の出力信号 $V2'$ ($= \sin(\theta_e + 240^\circ)$) とから、振幅補正後の第1の出力信号 $V1'$ に対する位相差が 90° となる信号 V_{12}' ($= \sin(\theta_e + 90^\circ) = \cos \theta_e$) を生成する。より具体的には、回転角演算装置20は、次式(8)に基づいて、信号 V_{12}' を生成する。

【0093】

【数 3】

$$\begin{aligned}V_{12}' &= \cos \theta_e \\ &= \frac{\sin(\theta_e + 240^\circ) - \sin \theta_e \cdot \cos 240^\circ}{\sin 240^\circ} \\ &= \frac{V2' - V1' \cdot \cos 240^\circ}{\sin 240^\circ} \\ &= \frac{-2 \cdot V2' - V1'}{\sqrt{3}} \quad \dots (8)\end{aligned}$$

【0094】

前記式(8)は、 $\sin(\theta_e + 240^\circ)$ を三角関数の加法定理により展開した式に基づいて、導出することができる。そして、回転角演算装置20は、前記信号 V_{12}' ($= \cos \theta_e$) と振幅補正後の第1の出力信号 $V1'$ ($= \sin \theta_e$) とを用い、次式(9)に基づいて、第2の電気角 θ_{e2} を演算する。

【0095】

【数 4】

$$\begin{aligned}\theta_{e2} &= \tan^{-1} \frac{\sin \theta_e}{\cos \theta_e} \\ &= \tan^{-1} \frac{V1'}{V_{12}'} \quad \dots (9)\end{aligned}$$

【0096】

第3の電気角 θ_{e3} の演算方法について説明する。回転角演算装置20は、まず、振幅補正後の第2の出力信号 $V2'$ と振幅補正後の第3の出力信号 $V3'$ とに基づいて、ロータ1の回転角(電気角) θ_e に対して 120° だけ進んだ電気角 θ_{e3}' ($= \theta_e + 120^\circ$) を演算する。そして、得られた回転角 θ_{e3}' から 120° を減算することにより、第3の電気角 θ_{e3} を演算する。

【0097】

回転角演算装置20は、振幅補正後の第3の出力信号 $V3'$ ($= \sin(\theta_e + 120^\circ)$) と振幅補正後の第2の出力信号 $V2'$ ($= \sin(\theta_e + 240^\circ)$) とから、振幅補正後の第3の出力信号 $V3'$ に対する位相差が 90° となる信号 V_{23}' ($= \sin(\theta_e + 120^\circ + 90^\circ)$) を生成する。

$\theta_{e3}' = \theta_e + 120^\circ$ として、振幅補正後の第3の出力信号 $V3'$ を正弦波信号 \sin

e' で表し、振幅補正後の出力信号 $V_{2'}$ を、この正弦波信号 $\sin e'$ に対して位相差が 120° 進んだ正弦波信号 $\sin(e' + 120^\circ)$ で表すと、前記第1の電気角 e_1 の演算方法と同様に、正弦波信号 $\sin e'$ に対して位相差が 90° となる信号 $V_{23'}$ ($= \sin(e' + 90^\circ) = \cos e'$) を求めることができる。

【0098】

具体的には、回転角演算装置20は、次式(10)に基づいて、信号 $V_{23'}$ を生成する。

【0099】

【数5】

$$\begin{aligned}
 V_{23'} &= \cos \theta e' & 10 \\
 &= \frac{\sin(\theta e' + 120^\circ) - \sin \theta e' \cdot \cos 120^\circ}{\sin 120^\circ} \\
 &= \frac{\sin(\theta e + 240^\circ) - \sin(\theta + 120^\circ) \cdot \cos 120^\circ}{\sin 120^\circ} \\
 &= \frac{V_{2'} - V_{3'} \cdot \cos 120^\circ}{\sin 120^\circ} \\
 &= \frac{2 \cdot V_{2'} + V_{3'}}{\sqrt{3}} \dots (10) & 20
 \end{aligned}$$

【0100】

次に、回転角演算装置20は、前記信号 $V_{23'}$ ($= \cos e'$) と振幅補正後の第3の出力信号 $V_{3'}$ ($= \sin e' = \sin(e' + 120^\circ)$) とを用い、次式(11)に基づいて、回転角 e_3' を演算する。

【0101】

【数6】

$$\begin{aligned}
 \theta e_3' &= \tan^{-1} \frac{\sin \theta e'}{\cos \theta e'} & 30 \\
 &= \tan^{-1} \frac{V_{3'}}{V_{23'}} \dots (11)
 \end{aligned}$$

【0102】

そして、回転角演算装置20は、次式(12)に基づいて、第3の電気角 e_3 を演算する。

$$e_3 = e_3' - 120^\circ \dots (12)$$

前記ステップS8で電気角 e が演算されると、回転角演算装置20は、ロータ1の機械角(絶対角) m を演算する。具体的には、回転角演算装置20は、前記ステップS13で演算された電気角 e と第1の磁気センサ21が感知している極番号 q_1 に対応する磁極対番号 Q_1 とを用い、次式(13)に基づいて、機械角 m を演算する。

【0103】

$$m = \{ e + (Q_1 - 1) \times 360^\circ \} / 8 \dots (13)$$

回転角演算装置20は、前記ステップS13で演算された電気角 e と、ステップS14で演算された、機械角 m とをモータコントローラ30に与える。そして、今演算周期での処理を終了する。

前記第1の実施形態によれば、回転角演算装置20は、所定の演算周期毎に、ロータ1の電気角 e および機械角 m を演算して、モータコントローラ30に与えることができる。また、回転角演算装置20は、回転角演算処理開始後において、第1の出力信号 V_1

、第2の出力信号V2および第3の出力信号V3の全ての極大値が検出された直後に、各磁気センサ21, 22, 23が感知している磁極を特定することができる。これにより、回転角演算処理開始後において、ロータ1(ブラシレスモータ)が回転を開始した後、ロータ1が1回転する前に、各磁気センサ21, 22, 23が感知している磁極を特定することができる。つまり、回転角演算処理開始後において、ロータ1が回転を開始した直後の早い段階で、各磁気センサ21, 22, 23が感知している磁極を特定できるようになる。

【0104】

以上、この発明の第1の実施形態について説明したが、この発明はさらに他の形態で実施することもできる。たとえば、前記第1の実施形態では、3つの出力信号V1, V2, V3の極大値の組合せに基づいて、第1の磁気センサ21が感知している磁極対を特定しているが、3つの出力信号V1, V2, V3の極小値の組合せに基づいて、第1の磁気センサ21が感知している磁極対を特定するようにしてもよい。

10

【0105】

また、磁極対の数、磁気センサの数、弱い磁力を有する磁極対と強い磁力を有する磁極対との配置パターンおよび磁気センサの配置位置は、前記実施形態に示されるものに限られない。つまり、磁極対の数、磁気センサの数、弱い磁力を有する磁極対と強い磁力を有する磁極対との配置パターンおよび磁気センサの配置位置は、各磁気センサのピーク値(極大値または極小値)の組み合わせが基準となる1つの磁気センサが感知している磁極対毎に異なるように設定されていけばよい。

20

【0106】

さらに、同じ磁極対においても、正と負のピーク値に異なった強弱を持たせることで、第1の磁気センサが感知している磁極を判別するようにしてもよい。つまり、磁極対単位ではなく、磁極単位で判別を行うようにしてもよい。

図8は、この発明を車両操舵装置のトルク検出装置に適用した場合の第2の実施形態の構成を示す模式図である。

【0107】

車両操舵装置は、入力軸51と、出力軸52と、これらの軸51, 52を連結するトーションバー(連結軸)53とを含む。入力軸51には、ステアリングホイールなどの操舵部材54が連結される。出力軸52には、図示しない中間軸が連結されている。

30

トルク検出装置は、出力軸52の回転角を検出するための第1の回転角検出装置と、入力軸51の回転角を検出するための第2の回転角検出装置と、第1の回転角検出装置によって検出された出力軸52の回転角と第2の回転角検出装置によって検出された入力軸51の回転角とに基づいて、入力軸51に加えられたトルク(操舵トルク)を演算するトルク演算部20Cとを備えている。

【0108】

第1の回転角検出装置は、出力軸52に一体回転可能に連結された第1の磁石(多極磁石)2Aと、第1の磁石2Aの回転に応じて互いに位相差を有する正弦波信号をそれぞれ出力する3つの磁気センサ21, 22, 23と、3つの磁気センサ21, 22, 23の出力信号V1, V2, V3等に基づいて出力軸52の回転角(電気角 eA , 機械角 mA)を演算する第1の回転角演算部20Aを備えている。

40

【0109】

第2の回転角検出装置は、入力軸51に一体回転可能に連結された第2の磁石(多極磁石)2Bと、第2の磁石2Bの回転に応じて互いに位相差を有する正弦波信号をそれぞれ出力する3つの磁気センサ24, 25, 26と、3つの磁気センサ24, 25, 26の出力信号V4, V5, V6等に基づいて入力軸51の回転角(電気角 eB , 機械角 mB)を演算する第2の回転角演算装置20Bを備えている。

【0110】

第1の回転角演算部20Aと、第2の回転角演算部20Bと、トルク演算部20Cとは、マイクロコンピュータを含むECU(電子制御ユニット: Electronic Control Unit)

50

60によって実現されている。マイクロコンピュータは、CPUおよびそのプログラム等を記憶するメモリ（ROM，RAM，不揮発性メモリ等）を含んでいる。

図9は、第1の磁石2Aの構成を示す模式図である。

【0111】

第1の磁石2Aは、円筒状であり、第1の実施形態の磁石2と同様に周方向に等角度間隔で配された8個の磁極対M1～M8を有している。つまり、第1の磁石2Aは、等角度間隔で配置された16個の磁極m1～m16を有している。第1の磁石2Aにおける各磁極対M1～M8に対応する角度領域を、それぞれ第1領域I～第8領域VIIIという場合がある。各領域I～VIIIの角度幅は、45°（機械角）である。

【0112】

第1の磁石2A内の磁極対における磁力の大きさの種類には、磁力が大きい第1の磁力と第1の磁力より磁力が小さい第2の磁力との2種類がある。第1の磁石2Aにおける第1の磁力を有する磁極対と第2の磁力を有する磁極対との配置パターンは、第1の実施形態の磁石2の8つの磁極対の配置パターンと同じである。具体的には、8個の磁極対M1～M8のうち、M1，M2，M3，M5の磁力が第2の磁力（弱い磁力）に設定され、相対的磁極対番号がM4，M6，M7，M8の磁力が第1の磁力（強い磁力）に設定されている。

【0113】

第1の磁石2Aの周囲には、3つの磁気センサ21，22，23が配置されている。これら3つの磁気センサ21，22，23を、それぞれ第1の磁気センサ21、第2の磁気センサ22および第3の磁気センサ23という場合がある。図9において、第2の磁気センサ22は、第1の磁気センサ21に対して、第1の磁石2Aの回転中心軸を中心として、時計方向に75°（電気角では600°）だけ離れた位置に配置されている。第3の磁気センサ23は、第1の磁気センサ21に対して、第1の磁石2Aの回転中心軸を中心として、時計方向に105°（電気角では840°）だけ離れた位置に配置されている。

【0114】

言い換えると、第1の磁気センサ21が第1の磁極対M1における電気角で0°に対向しているときには、第2の磁気センサ22が第2の磁極対M2における電気角で240°に対向し、第3の磁気センサ23が第3の磁極対M3における電気角で120°に対向するように、3つの磁気センサ21，22，23が配置されている。

図9に矢印で示す方向を第1の磁石2Aの正方向の回転方向とする。そして、第1の磁石2Aが正方向に回転されると第1の磁石2Aの回転角が大きくなり、第1の磁石2Aが逆方向に回転されると、第1の磁石2Aの回転角が小さくなるものとする。各磁気センサ21，22，23からは、第1の磁石2Aが1磁極対分に相当する角度（45°（電気角では360°））を回転する期間を一周期とする正弦波信号V1，V2，V3が出力される。

【0115】

第1の磁石2Aの1回転分の角度範囲を、8個の磁極対M1～M8に対応して8個の区間に分け、各区間の開始位置を0°とし終了位置を360°として表した第1の磁石2Aの角度を、第1の磁石2Aの電気角（出力軸52の電気角） e_A ということにする。

ここでは、第1の磁気センサ21からは、8個の磁極対M1～M8に対応する区間毎に、 $V_1 = A_1 \cdot \sin e_A$ の出力信号が出力されるものとする。この場合、第2の磁気センサ22からは、8個の磁極対M1～M8に対応する区間毎に、 $V_2 = A_2 \cdot \sin(e_A + 600^\circ) = A_2 \cdot \sin(e_A + 240^\circ)$ の出力信号が出力される。また、第3の磁気センサ23からは、8個の磁極対M1～M8に対応する区間毎に、 $V_3 = A_3 \cdot \sin(e_A + 840^\circ) = A_3 \cdot \sin(e_A + 120^\circ)$ の出力信号が出力される。 A_1 ， A_2 ， A_3 は、それぞれ振幅を表している。ただし、振幅 A_1 ， A_2 ， A_3 は、各磁極対M1～M8の磁力の大きさに応じて変化する。

【0116】

したがって、各磁気センサ21，22，23からは、互いに所定の位相差120°（電

10

20

30

40

50

気角)を有する正弦波信号が出力される。各磁気センサ21, 22, 23の出力信号21, 22, 23を、それぞれ第1の出力信号V1, 第2の出力信号V2および第3の出力信号V3という場合がある。

図8に戻り、各磁気センサ21, 22, 23の出力信号21, 22, 23は、第1の回転角演算部20Aに入力される。第1の回転角演算部20Aは、第1の実施形態における回転角演算装置20による回転角演算処理(図5参照)と同様な回転角演算処理を行なうことにより、第1の磁気センサ21が感知している磁極対に対応する領域の領域番号I~VIIIを特定するとともに、第1の磁石2A(出力軸52)の回転角(電気角 eA および機械角 mA)を演算する。

【0117】

図10は、第2の磁石2Bを示す模式図である。

第2の磁石2Bは、円筒状であり、周方向に等角度間隔で配された32個の磁極対M1~M32を有している。つまり、第2の磁石2Bは、等角度間隔で配置された64個の磁極を有している。32個の磁極対M1~M32のうち、M1~M8からなる磁極対群を第1グループG1、M9~M16からなる磁極対群を第2グループG2、M17~M24からなる磁極対群を第3グループG3、M25~M32からなる磁極対群を第4グループG4という場合がある。

【0118】

各グループG1~G4内の8つの磁極対に1~8の数字を割り当てた番号を、相対的磁極対番号[1]~[8]ということにする。

第2の磁石2B内の磁極対における磁力の大きさの種類には、磁力が大きい第1の磁力と第1の磁力より磁力が小さい第2の磁力との2種類がある。各グループG1~G4における第1の磁力を有する磁極対と第2の磁力を有する磁極対との配置パターンは、第1の実施形態の磁石2の8つの磁極対M1~M8の配置パターンと同じである。具体的には、各グループ内の8個の磁極対[1]~[8]のうち、相対的磁極対番号が[1], [2], [3], [5]の磁力が第2の磁力(弱い磁力)に設定され、相対的磁極対番号が[4], [6], [7], [8]の磁力が第1の磁力(強い磁力)に設定されている。

【0119】

第2の磁石2Bの周囲には、3つの磁気センサ24, 25, 26が配置されている。これら3つの磁気センサ24, 25, 26を、それぞれ第4の磁気センサ24、第5の磁気センサ25および第6の磁気センサ26という場合がある。図10において、第5の磁気センサ25は、第4の磁気センサ24に対して、第2の磁石2Bの回転中心軸を中心として、時計方向に 18.75° (電気角では 600°)だけ離れた位置に配置されている。第6の磁気センサ26は、第4の磁気センサ24に対して、第2の磁石2Bの回転中心軸を中心として、時計方向に 26.25° (電気角では 840°)だけ離れた位置に配置されている。

【0120】

言い換えると、第4の磁気センサ24が第1の磁極対M1における電気角で 0° に対向しているときには、第5の磁気センサ25が第2の磁極対M2における電気角で 240° に対向し、第6の磁気センサ26が第3の磁極対M3における電気角で 120° に対向するように、3つの磁気センサ24, 25, 26が配置されている。

図10に矢印で示す方向を第2の磁石2Bの正方向の回転方向とする。そして、第2の磁石2Bが正方向に回転されると第2の磁石2Bの回転角が大きくなり、第2の磁石2Bが逆方向に回転されると、第2の磁石2Bの回転角が小さくなるものとする。各磁気センサ24, 25, 26からは、第2の磁石2Bが1磁極対分に相当する角度(11.25° (電気角では 360°))を回転する期間を一周期とする正弦波信号V4, V5, V6が出力される。

【0121】

第2の磁石2Bの1回転分の角度範囲を、32個の磁極対M1~M32に対応して32個の区間に分け、各区間の開始位置を 0° とし終了位置を 360° として表した第2の磁

10

20

30

40

50

石 2 B の角度を、第 2 の磁石 2 B の電気角（入力軸 5 1 の電気角） $e B$ ということにする。

ここでは、第 4 の磁気センサ 2 4 からは、3 2 個の磁極対 $M 1 \sim M 3 2$ に対応する区間毎に、 $V 4 = A 4 \cdot \sin e B$ の出力信号が出力されるものとする。この場合、第 5 の磁気センサ 2 5 からは、3 2 個の磁極対 $M 1 \sim M 3 2$ に対応する区間毎に、 $V 5 = A 5 \cdot \sin(e B + 6 0 0^\circ) = A 5 \cdot \sin(e B + 2 4 0^\circ)$ の出力信号が出力される。また、第 6 の磁気センサ 2 6 からは、3 2 個の磁極対 $M 1 \sim M 3 2$ に対応する区間毎に、 $V 6 = A 6 \cdot \sin(e B + 8 4 0^\circ) = A 6 \cdot \sin(e B + 1 2 0^\circ)$ の出力信号が出力される。 $A 4, A 5, A 6$ は、それぞれ振幅を表している。ただし、振幅 $A 4, A 5, A 6$ は、各磁極対 $M 1 \sim M 3 2$ の磁力の大きさに応じて変化する。

10

【0 1 2 2】

したがって、各磁気センサ 2 4, 2 5, 2 6 からは、互いに所定の位相差 $1 2 0^\circ$ （電気角）を有する正弦波信号が出力される。各磁気センサ 2 4, 2 5, 2 6 の出力信号 $V 4, V 5, V 6$ を、それぞれ第 4 の出力信号 $V 4$, 第 5 の出力信号 $V 5$ および第 6 の出力信号 $V 6$ という場合がある。

図 8 に戻り、各磁気センサ 2 4, 2 5, 2 6 の出力信号 $V 4, V 5, V 6$ は、第 2 の回転角演算部 2 0 B に入力される。第 2 の回転角演算部 2 0 B は、図 1 1 に示すような回転角演算処理を行なうことにより、第 2 の磁石 2 B（入力軸 5 1）の回転角（電気角 $e B$ および機械角 $m B$ ）を演算する。なお、第 1 の磁石 2 A の磁極毎のピーク値および第 2 の磁石 2 B の磁極毎のピーク値は、第 1 の実施形態と同様に、ピーク値テーブルとして不揮発性メモリに記憶されている。

20

【0 1 2 3】

図 1 1 は、第 2 の回転角演算部 2 0 B による回転角演算処理部の手順を示すフローチャートである。

図 1 1 に示される回転角演算処理は、所定の演算周期毎に繰り返し行なわれる。

回転角演算処理開始時において第 4 の磁気センサ 2 4 が感知している磁極を基準磁極として、各磁極に相対的な番号を割り当てた場合の各磁極の番号を相対的極番号と定義する。第 4 の磁気センサ 2 4 が感知している磁極の相対的極番号（以下、「第 4 の相対的極番号」という）を変数 $r 4$ で表し、第 5 の磁気センサ 2 5 が感知している磁極の相対的極番号（以下、「第 5 の相対的極番号」という）を変数 $r 5$ で表し、第 6 の磁気センサ 2 6 が感知している磁極の相対的極番号（以下、「第 6 の相対的極番号」という）を変数 $r 6$ で表すことにする。なお、各相対的極番号 $r 4, r 5, r 6$ は、 $1 \sim 6 4$ の整数をとり、 1 より 1 少ない相対的極番号は $6 4$ となり、 $6 4$ より 1 大きい相対的極番号は 1 となるものとする。

30

【0 1 2 4】

この実施形態では、回転角演算処理開始時において第 4 の磁気センサ 2 4 が感知している磁極（基準磁極）が N 極の磁極である場合には、当該磁極に " 1 " の相対的極番号が割り当てられる。一方、回転角演算処理の開始時において第 4 の磁気センサ 2 4 が感知している磁極（基準磁極）が S 極の磁極である場合には、当該磁極に " 2 " の相対的極番号が割り当てられる。

40

【0 1 2 5】

また、第 4 の磁気センサ 2 4 が感知している磁極の極番号を $q 4$ 、第 5 の磁気センサ 2 5 が感知している磁極の極番号を $q 5$ 、第 6 の磁気センサ 2 6 が感知している磁極の極番号を $q 6$ で表すことにする。なお、各極番号 $q 4, q 5, q 6$ は、 $1 \sim 4 8$ の整数をとり、 1 より 1 少ない極番号は $6 4$ となり、 $6 4$ より 1 大きい極番号は 1 となるものとする。

また、第 4 の磁気センサ 2 4 が感知している相対的磁極対番号を $[Q 4]$ で表すことにする。なお、相対的磁極対番号 $[Q 4]$ は、 $1 \sim 8$ の整数をとり、 1 より 1 少ない極番号は 8 となり、 8 より 1 大きい極番号は 1 となるものとする。また、第 4 の磁気センサ 2 4 が感知している磁極対の磁極対番号（絶対的磁極対番号）を $Q 4$ で表すことにする。なお、絶対的磁極対番号 $Q 4$ は、 $1 \sim 3 2$ の整数をとり、 1 より 1 少ない極番号は $3 2$ となり、

50

3 2 より 1 大きい極番号は 1 となるものとする。

【 0 1 2 6 】

回転角演算処理が開始されると、回転角演算装置 2 0 は、各磁気センサ 2 4 , 2 5 , 2 6 の出力信号 (センサ値) V 4 , V 5 , V 6 を読み込む (ステップ S 1 B) 。なお、回転角演算部 2 0 B のメモリ (たとえば、R A M) には、所定回数前に読み込まれたセンサ値から最新に読み込まれたセンサ値までの、複数回数分のセンサ値が記憶されるようになっている。

【 0 1 2 7 】

また、この実施形態では、センサ値 V 4 のピーク値 (極大値および極小値) を検出するために、読み込まれたセンサ値 V 4 のうち絶対値がより大きいセンサ値が、センサ値 V 4 のピーク値候補としてメモリに保存される。同様に、センサ値 V 5 のピーク値 (極大値および極小値) を検出するために、読み込まれたセンサ値 V 5 のうち絶対値がより大きいセンサ値が、センサ値 V 5 のピーク値候補としてメモリに保存される。同様に、センサ値 V 6 のピーク値 (極大値および極小値) を検出するために、読み込まれたセンサ値 V 6 のうち絶対値がより大きいセンサ値が、センサ値 V 6 のピーク値候補としてメモリに保存される。ただし、これらのピーク値候補は、対応する出力信号のゼロクロスが検出されたときには、後述するような所定のタイミングでゼロにリセットされる。

【 0 1 2 8 】

前記ステップ S 1 B で各センサ値 V 4 , V 5 , V 6 が読み込まれると、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、今回の処理が回転角演算処理開始後の初回の処理であるか否かを判別する (ステップ S 2 B) 。今回の処理が回転角演算処理開始後の初回の処理である場合には (ステップ S 2 B : Y E S) 、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、相対的極番号の設定処理を行う (ステップ S 3 B) 。

【 0 1 2 9 】

この相対的極番号の設定処理は、図 6 を用いて説明した相対的極番号の設定処理と同様である。ただし、図 6 における第 1 ~ 第 3 の出力信号 V 1 , V 2 , V 3 は、それぞれ第 4 ~ 第 6 の出力信号 V 4 , V 5 , V 6 に置き換えられる。また、図 6 における第 1 ~ 第 3 の相対的極番号 r 1 , r 2 , r 3 は、それぞれ第 4 ~ 第 6 の r 4 , r 5 , r 6 に置き換えられる。

【 0 1 3 0 】

ステップ S 3 B の相対的極番号の設定処理が終了すると、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、ステップ S 1 2 B に移行する。

前記ステップ S 2 B において、今回の処理が回転角演算処理開始後の初回の処理ではないと判別された場合には (ステップ S 2 B : N O) 、ステップ S 4 B に移行する。

ステップ S 4 B では、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、メモリに記憶されているセンサ値 V 4 , V 5 , V 6 に基づいて、センサ値 V 4 , V 5 , V 6 毎に、センサ値の符号が反転するゼロクロスを検出したか否かを判別する。ゼロクロスが検出されなかったときには (ステップ S 4 B : N O) 、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、ステップ S 1 2 B に移行する。

【 0 1 3 1 】

前記ステップ S 4 B において、いずれかのセンサ値 V 4 , V 5 , V 6 に対してゼロクロスが検出された場合には (ステップ S 4 B : Y E S) 、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、後述するステップ S 1 0 B の極番号特定処理によって、各磁極センサ 2 4 , 2 5 , 2 6 が検知している磁極が既に特定されているか否かを判別する (ステップ S 5 B) 。

各磁極センサ 2 4 , 2 5 , 2 6 が検知している磁極が特定されていない場合には、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、相対的極番号の更新処理を行なう (ステップ S 6 B) 。具体的には、前記ステップ S 4 B でゼロクロスが検出された磁気センサに対して現在設定されている相対的極番号 r 4 , r 5 または r 6 を、ロータ 1 の回転方向に基づいて更新する。より具体的には、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、第 2 の磁石 2 B の回転方向が正方向 (図 1 0 に矢印で示す方向) である場合には、前記ステップ S 4 B でゼロクロスが検出された磁気センサに対して現在設定されている相対的極番号 r 4 , r 5 または r 6 を、1 だけ大き

10

20

30

40

50

い番号に更新する。一方、第2の磁石2Bの回転方向が逆方向である場合には、第2の回転角演算部20Bは、当該磁気センサに対して現在設定されている相対的極番号r4、r5またはr6を、1だけ小さい番号に更新する。

【0132】

前記ステップS6Bの相対的極番号の更新処理が終了すると、第2の回転角演算部20Bは、ピーク値検出処理を行なう(ステップS7B)。ピーク値検出処理について具体的に説明する。前記ステップS4Bでゼロクロスが検出された出力信号に対応する磁気センサをピーク値検出対象の磁気センサということにする。第2の回転角演算部20Bは、まず、ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化したか否かを判別する。すなわち、第2の回転角演算部20Bは、前回ゼロクロスが検出されたときの第2の磁石2Bの回転方向と、現在の第2の磁石2Bの回転方向が同じ方向であれば、ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化したと判定する。一方、前回ゼロクロスが検出されたときの第2の磁石2Bの回転方向と、現在の第2の磁石2Bの回転方向が異なっていれば、第2の回転角演算部20Bは、ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化していないと判定する。

10

【0133】

ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化したと判定された場合には、第2の回転角演算部20Bは、ピーク値を検出したと判別するとともに、当該磁気センサに対応するピーク値候補をピーク値として特定する。一方、ピーク値検出対象の磁気センサが感知している磁極が変化していないと判定された場合には、第2の回転角演算部20Bは、ピーク値を検出しなかったと判定する。なお、ピーク値には、0より大きな極大値と、0より小さな極小値とがある。この実施形態では、ピーク値のうち、極大値に基づいて、第4の磁気センサ24が感知している磁極対が特定されるものとする。以下において、ピーク値検出処理において検出された第4の出力信号V4、第5の出力信号V5および第6の出力信号V6の極大値を、それぞれP4、P5およびP6で表す場合がある。

20

【0134】

ピーク値検出処理において極大値が検出されなかった場合には(ステップS8B:NO)、第2の回転角演算部20Bは、前記ステップS4Bでゼロクロスが検出された出力信号に対応するピーク値候補を0にリセットした後、ステップS12Bに移行する。一方、ピーク値検出処理において極大値が検出されたときには(ステップS8B:YES)、当該極大値を、前記ステップS4Bでゼロクロスが検出された出力信号に対する極大値P4、P5またはP6として記憶する(ステップS9B)。そして、第2の回転角演算部20Bは、前記ステップS4Bでゼロクロスが検出された出力信号に対応するピーク値候補を0にリセットした後、ステップS10Bに移行する。

30

【0135】

ステップS10Bでは、第2の回転角演算部20Bは、極番号特定処理(磁極対特定処理)を行なう。

第1の実施形態における8個の磁極対M1~M8の配列を磁力の強弱で表した磁極対パターンを基準磁極対パターンということにすると、第2の磁石2Bにおける各グループG1~G4内の磁極対パターンは、基準磁極対パターンと同じパターンとなる。このため、第2の回転角演算部20Bは、図5のステップS10において第1の磁気センサ21が感知している磁極対の磁極対番号Q1を特定した方法と同様な方法によって、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の相対的磁極対番号[Q4]を特定することができる。

40

【0136】

つまり、第2の回転角演算部20Bは、予め設定された、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の相対的磁極対番号[1]~[8]と各出力信号V4、V5、V6の極大値P4、P5、P6の組合せとの関係と、最新に検出された各出力信号V4、V5、V6の極大値と、第2の磁石2Bの回転方向とに基づいて、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の相対的磁極対番号[Q4]を特定する(第1の磁極対特定処理)。

【0137】

50

次に、第2の回転角演算部20Bは、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の相対的磁極対番号[Q4]と、第1の回転角演算部20Aによって特定された、第1の磁気センサ21が感知している磁極対に対応する領域番号I~VIIIとに基づいて、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の絶対的磁極対番号Q4を特定する(第2の磁極対特定処理)。

【0138】

図12は、トーシヨンパー53に挟れがない場合における、第1の磁石2Aの各領域I~VIIIと、第2の磁石2Bの各グループG1~G4との相対的な位置関係を模式的に表している模式図である。

第2の回転角演算部20Bによって、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の相対的磁極対番号が[8]であると特定されたとする。この場合には、第4の磁気センサ24が感知している磁極対は、M8, M16, M34およびM32のうちのいずれかである。

10

【0139】

第4の磁気センサ24が感知している磁極対が第1グループG1内のM8であるとする、トーシヨンパー53の挟れ角の絶対値の最大値は機械角で15°以下と考えられるため、第1の磁気センサ21が感知している磁極対は領域IIまたはIIIのいずれかになる。

第4の磁気センサ24が感知している磁極対が第2グループG2内のM16であるとする、第1の磁気センサ21が感知している磁極対は領域IVまたはVのいずれかになる。

【0140】

第4の磁気センサ24が感知している磁極対が第3グループG3内のM24であるとする、第1の磁気センサ21が感知している磁極対は領域VIまたはVIIのいずれかになる。第4の磁気センサ24が感知している磁極対が第4グループG4内のM32であるとする、第1の磁気センサ21が感知している磁極対は領域VIIIまたはIのいずれかになる。

20

【0141】

したがって、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の相対的磁極対番号が、第2の回転角演算部20Bによって[8]であると特定された場合には、第1の磁気センサ21が感知している磁極対に対応する領域番号I~VIIIに基づいて、第4の磁気センサ24が感知している磁極対がM8, M16, M24, M32のいずれであるかを特定することができる。

30

【0142】

第2の回転角演算部20Bによって特定された相対的磁極対番号が[8]以外の値であるときにおいても同様に、第1の回転角演算部20Aによって特定された、第1の磁気センサ21が感知している磁極対に対応する領域番号I~VIIIを考慮して、第4の磁気センサ24が感知している磁極対(絶対的磁極対番号)Q4を特定することができる。

表2は、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の相対的磁極対番号[Q4]と第1の磁気センサ21が感知している磁極対に対応する領域番号I~VIIIとの組合せと、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の絶対的磁極対番号Q4との関係を表している。

40

【0143】

【表 2】

表2

		相対的磁極対番号 [Q4]									
		[8]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[1]
領域番号	I	M32	M1	M2	M3	M4	M5	—	—	—	—
	II	—	—	—	—	M4	M5	M6	M7	M8	M9
	III	M8	M9	M10	M11	M12	M13	—	—	—	—
	IV	—	—	—	—	M12	M13	M14	M15	M16	M17
	V	M16	M17	M18	M19	M20	M21	—	—	—	—
	VI	—	—	—	—	M20	M21	M22	M23	M24	M25
	VII	M24	M25	M26	M27	M28	M29	—	—	—	—
	VIII	—	—	—	—	M28	M29	M30	M31	M32	M1

10

【0144】

つまり、第2の回転角演算部20Bは、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の相対的磁極対番号[Q4]と、第1の回転角演算部20Bによって特定された領域番号I~VIII(第1の磁気センサ21が感知している磁極対に対応する領域番号)と、表2の内容とに基づいて、第4の磁気センサ24が感知している磁極対の絶対的磁極対番号Q4を特定する。

20

【0145】

第1の実施形態で説明したように、第2の磁石2Bの回転方向が正方向(図10に矢印で示す方向)である場合には、第4の磁気センサ24が感知している磁極は、第4の磁気センサ24が感知している磁極対内の磁極のうち、N極の磁極となる。したがって、この場合には、第2の回転角演算部20Bは、第4の磁極センサ24が現在感知している磁極の極番号q4を、 $q4 = 2 \cdot Q4 - 1$ に基づいて特定する。また、第2の回転角演算部20Bは、 $q5 = (q4 - r4) + r5$ に基づいて、第5の磁気センサ25が感知している磁極の極番号q5を特定する。さらに、第2の回転角演算部20Bは、 $q6 = (q4 - r4) + r6$ に基づいて、第6の磁気センサ26が感知している磁極の極番号q6を特定する。そして、ステップS12Bに移行する。

30

【0146】

一方、第2の磁石2Bの回転方向が逆方向である場合には、第4の磁気センサ24が感知している磁極は、第4の磁気センサ24が感知している磁極対内の磁極のうち、S極の磁極となる。したがって、この場合には、第2の回転角演算部20Bは、第4の磁極センサ24が現在感知している磁極の極番号q4を、 $q4 = 2 \cdot Q4$ に基づいて特定する。また、第2の回転角演算部20Bは、 $q5 = (q4 - r4) + r5$ に基づいて、第5の磁気センサ25が感知している磁極の極番号q5を特定する。さらに、第2の回転角演算部20Bは、 $q6 = (q4 - r4) + r6$ に基づいて、第6の磁気センサ26が感知している磁極の極番号q6を特定する。そして、ステップS12Bに移行する。

40

【0147】

なお、前記ステップS10Bにおいて、3つの出力信号V4, V5, V6の極大値が検出(記憶)されていないと判別された場合等のように、第4の磁気センサ24が感知している磁極対を特定することができなかつた場合には、第2の回転角演算部20Bは、前述した極番号特定処理を行なうことなく、ステップS12Bに移行する。

前記ステップS5Bにおいて、各磁気センサ24, 25, 26が感知している磁極が既に特定されていると判別された場合には(ステップS5B: YES)、第2の回転角演算

50

部 2 0 B は、前記ステップ S 4 B でゼロクロスが検出された出力信号に対応するピーク値候補を 0 にリセットした後、極番号の更新処理を行なう（ステップ S 1 1 B）。具体的には、第 2 の磁石 2 B の回転方向が正方向である場合には、ゼロクロスが検出された磁気センサに対して既に特定されている前記極番号 q 4、q 5 または q 6 を、1 だけ大きい極番号に更新し、第 2 の磁石 2 B の回転方向が逆方向である場合には、ゼロクロスが検出された磁気センサに対して既に特定されている前記極番号 q 4、q 5 または q 6 を、1 だけ小さい極番号に更新する。第 2 の回転角演算部 2 0 B は、ステップ S 1 1 B の極番号の更新処理が終了すると、ステップ S 1 2 B に移行する。

【 0 1 4 8 】

ステップ S 1 2 B では、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、振幅補正処理を行う。つまり、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、各磁気センサ 2 4、2 5、2 6 が感知している磁極の極番号 q 4、q 4、q 5 が特定されている場合には、各磁気センサ 2 4、2 5、2 6 の出力信号 V 4、V 5、V 6 の振幅を補正する。この振幅補正処理は、図 5 のステップ S 1 2 で説明した振幅補正処理と同様なので、その説明を省略する。一方、各磁気センサ 2 4、2 5、2 6 が感知している磁極の極番号 q 4、q 5、q 6 が特定されていない場合には、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、振幅補正処理を行うことなく、ステップ S 1 3 B に移行する。

10

【 0 1 4 9 】

振幅補正処理が終了すると、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、前記ステップ S 1 2 B で振幅補正された各出力信号 V 4'、V 5'、V 6' に基づいて、入力軸 5 1 の電気角 e B を演算する（ステップ S 1 3 B）。ただし、前記ステップ S 1 2 B で振幅補正がされなかった場合には、前記ステップ S 1 B で読み込まれたセンサ値 V 1、V 2、V 3 に基づいて、電気角 e を演算する。ステップ S 1 3 B で行なわれる電気角 e B の演算処理は、図 5 のステップ S 1 3 で説明した電気角 e の演算処理と同様なので、その説明を省略する。

20

【 0 1 5 0 】

前記ステップ S 1 3 で電気角 e 2 が演算されると、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、入力軸 5 1 の機械角（絶対角）m B を演算する（ステップ S 1 4 B）。具体的には、第 2 の回転角演算部 2 0 B は、前記ステップ S 1 3 B で演算された電気角 e B と第 4 の磁気センサ 2 4 が感知している極番号 q 4 に対応する磁極対番号 Q 4 とを用い、次式(14)に基づいて、機械角 m B を演算する。

30

【 0 1 5 1 】

$$m B = \{ e B + (Q 4 - 1) \times 3 6 0 ^ \circ \} / 3 2 \quad \dots (14)$$

トルク演算部 2 0 C は、第 1 の回転角演算部 2 0 A によって演算される出力軸 5 2 の機械角 m A と、第 2 の回転角演算部 2 0 B によって演算される入力軸 5 1 の機械角 m B と、トーションパー 5 3 のばね定数 K とに基づいて操舵トルク T を演算する。具体的には、トルク演算部 2 0 C は、次式(15)に基づいて、操舵トルク T を演算する。

【 0 1 5 2 】

$$T = (m A - m B) \times K \quad \dots (15)$$

前記実施形態では、操舵トルク T を演算することができる。また、入力軸 5 1 の回転角（機械角）である操舵角 m B および出力軸 5 2 の回転角（機械角）m A を演算することができる。入力軸 5 1 に固定された第 2 の磁石 2 B には、3 2 個の磁極対が設けられているため、回転角演算処理開始後において、入力軸 5 1 が回転を開始した直後のきわめて早い段階で、操舵角 m B を演算できるようになる。

40

【 0 1 5 3 】

前記実施形態では、第 1 の磁石 2 A には、図 9 に示されるように、8 つの磁極対 M 1 ~ M 8 が設けられているが、第 1 の磁石 2 A に 1 6、2 4 または 3 2 個の磁極対 M 1 ~ M 8 が設けられていてもよい。このようにすると、図 9 および図 1 2 に示される第 1 の磁石 2 A の各領域 I ~ VIII 内には、それぞれ、2、4 または 8 個の磁極対が含まれることになる。この場合には、第 1 ~ 第 3 の磁気センサ 2 1、2 2、2 3 は、それらの間の電気角での角度間隔が、図 9 に示される第 1 ~ 第 3 の磁気センサ 2 1、2 2、2 3 の間の電気角での

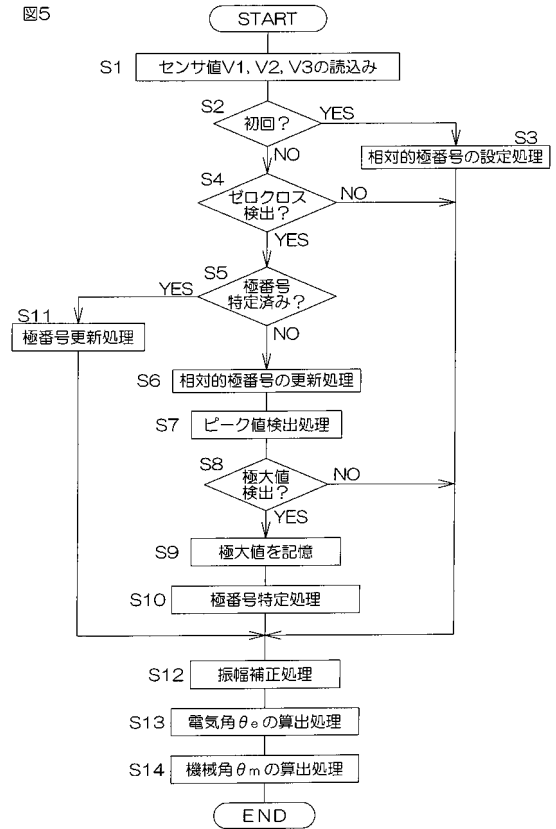
50

【 図 4 】

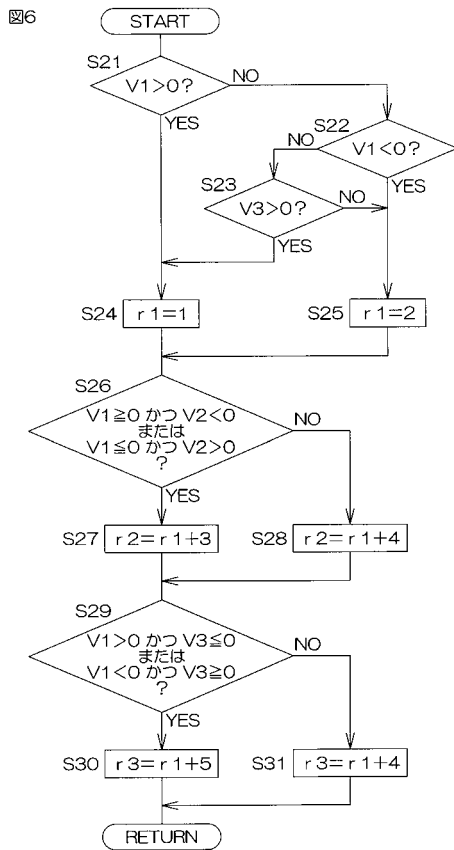
図4

極番号	V1のピーク値	V2のピーク値	V3のピーク値
1	P1(1)	P2(1)	P3(1)
2	P1(2)	P2(2)	P3(2)
3	P1(3)	P2(3)	P3(3)
⋮	⋮	⋮	⋮
15	P1(15)	P2(15)	P3(15)
16	P1(16)	P2(16)	P3(16)

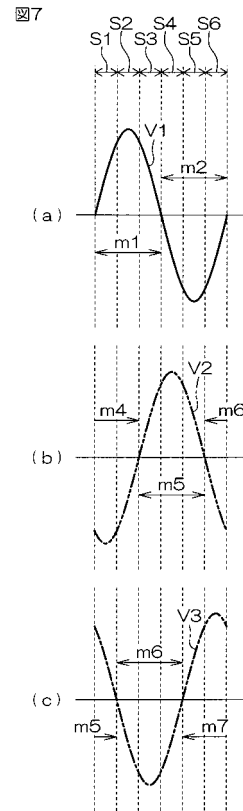
【 図 5 】



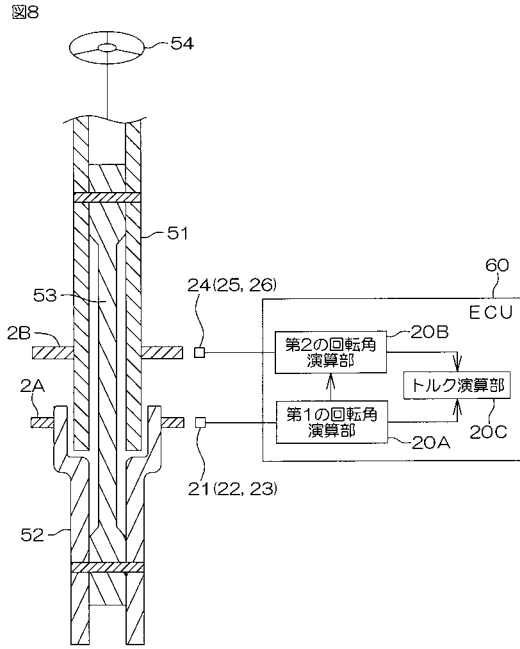
【 図 6 】



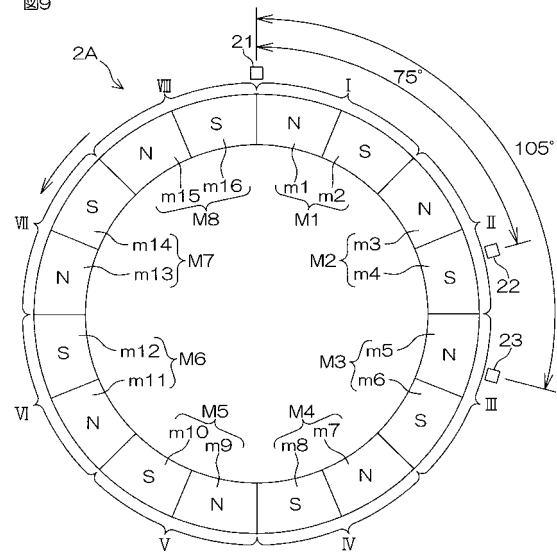
【 図 7 】



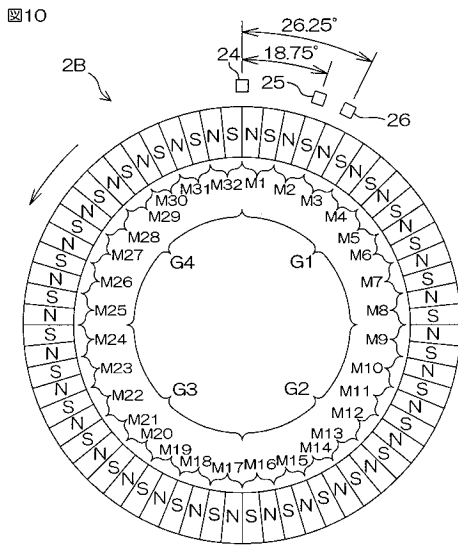
【 図 8 】



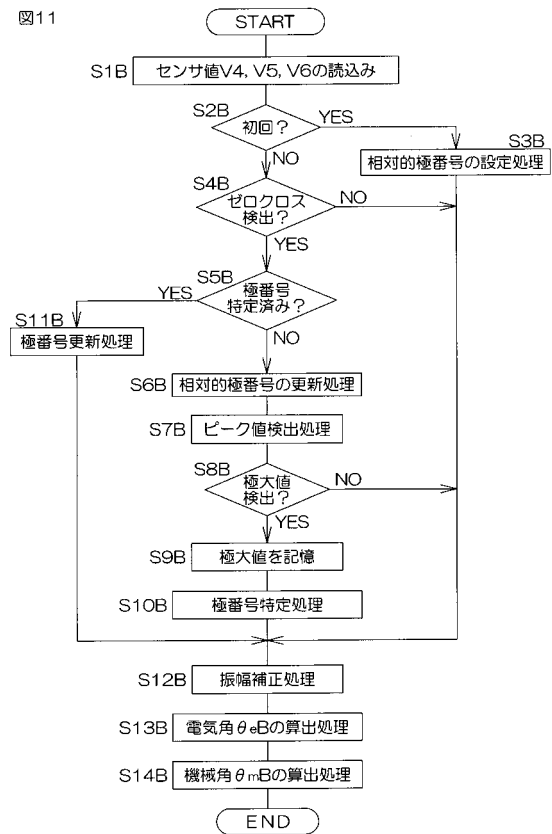
【 図 9 】



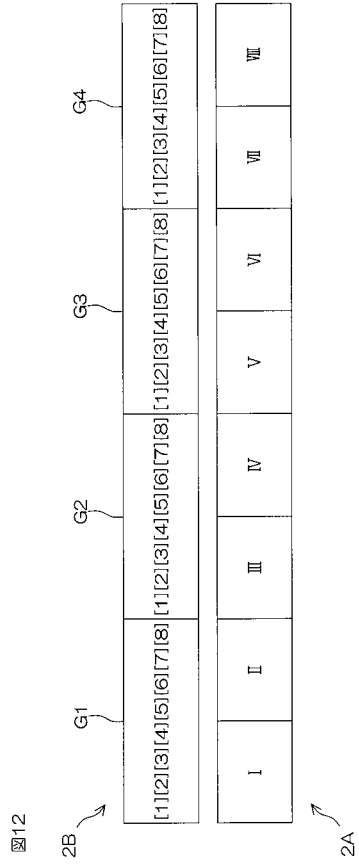
【 図 10 】



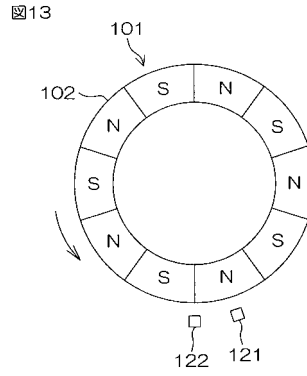
【 図 11 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

