

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7066306号

(P7066306)

(45)発行日 令和4年5月13日(2022.5.13)

(24)登録日 令和4年5月2日(2022.5.2)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 D	5/244(2006.01)	G 0 1 D	5/244	F
B 6 2 D	6/00 (2006.01)	B 6 2 D	6/00	
B 6 2 D	5/04 (2006.01)	B 6 2 D	5/04	
B 6 2 D	119/00 (2006.01)	B 6 2 D	119:00	

請求項の数 9 (全32頁)

(21)出願番号	特願2020-567689(P2020-567689)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	平成31年1月22日(2019.1.22)	(74)代理人	100110423 弁理士 曾我 道治
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/001738	(74)代理人	100111648 弁理士 梶並 順
(87)国際公開番号	WO2020/152762	(74)代理人	100122437 弁理士 大宅 一宏
(87)国際公開日	令和2年7月30日(2020.7.30)	(74)代理人	100147566 弁理士 上田 俊一
審査請求日	令和2年12月25日(2020.12.25)	(74)代理人	100161171 弁理士 吉田 潤一郎
		(72)発明者	森 辰也 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 回転角度検出装置、および当該回転角度検出装置を含む電動パワーステアリング装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

回転体の回転角度に基づく正弦信号および余弦信号に基づいて、前記正弦信号および前記余弦信号に含まれる周波数成分の係数を同定する係数同定部と、  
前記係数同定部によって同定された係数に基づいて補正値を算出する補正値算出部と、  
前記正弦信号および前記余弦信号のいずれかまたは両方を前記補正値によって補正した値に基づいて、前記回転体の前記回転角度を算出する回転角度算出部と  
を備え、

前記係数同定部は、 $M + N =$  正の定数を満たす0以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、前記正弦信号の  $M$  乗と前記余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、前記正弦信号および前記余弦信号に含まれる  $M + N - 1$  次成分の係数を同定する、  
回転角度検出装置。

## 【請求項2】

前記係数同定部は、 $M + N = 1$  を満たす0以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、前記正弦信号の  $M$  乗と前記余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、前記正弦信号および前記余弦信号に含まれる  $M + N - 1 = 0$  次成分の係数を同定する、  
請求項1に記載の回転角度検出装置。

## 【請求項3】

前記係数同定部は、 $M + N = 3$  を満たす0以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、前記正弦信号の  $M$  乗と前記余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて

、前記正弦信号および前記余弦信号に含まれる  $M + N - 1 = 2$  次成分の係数をさらに同定する、請求項 2 に記載の回転角度検出装置。

【請求項 4】

前記補正值算出部は、前記回転角度算出部から遅延部を介して入力される 1 演算周期前の回転角度信号にさらに基づいて、前記補正值を算出する、請求項 3 に記載の回転角度検出装置。

【請求項 5】

前記係数同定部は、 $M + N = 2$  を満たす 0 以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、前記正弦信号の  $M$  乗と前記余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、前記正弦信号および前記余弦信号に含まれる  $M + N - 1 = 1$  次成分の係数を同定する、請求項 1 に記載の回転角度検出装置。

10

【請求項 6】

前記係数同定部は、 $M + N = 4$  を満たす 0 以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、前記正弦信号の  $M$  乗と前記余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、前記正弦信号および前記余弦信号に含まれる  $M + N - 1 = 3$  次成分の係数をさらに同定する、請求項 5 に記載の回転角度検出装置。

【請求項 7】

回転体の回転角度に基づく正弦信号と余弦信号との積に基づいて、中間信号を生成する中間信号生成部と、

前記中間信号に前記正弦信号および前記余弦信号のいずれか一方

20

を乗算する乗算部と、

前記正弦信号および前記余弦信号のいずれか他方と前記乗算部の出力とを加算するか、または前記正弦信号および前記余弦信号のいずれか他方から前記乗算部の出力を減算する、加減算部と、

前記正弦信号および前記余弦信号の前記いずれか一方、並びに、前記加減算部の出力に基づいて、前記回転体の前記回転角度を算出する回転角度算出部とを備える、回転角度検出装置。

【請求項 8】

前記中間信号生成部は、

前記正弦信号と前記余弦信号との積を算出する乗算器と、

30

前記乗算器の出力から、前記正弦信号および前記余弦信号の基本波の周波数の 2 倍以上の周波数成分を除去するローパスフィルタと

を含む、請求項 7 に記載の回転角度検出装置。

【請求項 9】

前記回転体は、電動パワーステアリングのアシストトルクを発生させるモータであり、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の回転角度検出装置を含み、該回転角度検出装置から出力される回転角度信号に基づいて、前記モータを制御する、電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、回転角度検出装置に係り、特に正弦信号および余弦信号に基づいて回転体の回転角度を検出する、回転角度検出装置に関する。また、当該回転角度検出装置を含む電動パワーステアリング装置にも関する。

【背景技術】

【0002】

モータ等の回転体の回転角度を検出する手段としては、レゾルバ、MR (magneto resistance) センサ等が広く用いられている。これらの手段では、回転体の回転角度に基づく正弦信号および余弦信号を出力する。回転角度検出装置は、正弦信号および余弦信号に基づいて、回転体の回転角度を検出する (例えば、特許文献 1 参照)。

50

## 【 0 0 0 3 】

特許文献 1 に記載の回転角度検出装置では、正弦信号および余弦信号の山の値と谷の値とを読み取り、山の値と谷の値との中点と予め決定された中点値との差から、中点補正値を算出する。回転角度検出装置は、正弦信号および余弦信号に中点補正値をそれぞれ加算して補正を施し、補正された正弦信号および余弦信号に基づいて、回転体の回転角度を検出する。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 4 】

【 文献 】 特開 2 0 0 8 - 2 7 3 4 7 8 号 公 報

10

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 5 】

しかしながら、特許文献 1 の回転角度検出装置では、正弦信号および余弦信号に基本波以外の周波数成分が含まれている場合に対する対処が行われていない。そのため、特許文献 1 の回転角度検出装置では、正弦信号および余弦信号に基本波以外の周波数成分が含まれている場合には、回転角度検出装置によって検出される回転角度と回転体の実際の回転角度との間に誤差が生じることになる。

## 【 0 0 0 6 】

本発明は、上記のような課題を解決するためのものであり、正弦信号および余弦信号に基本波以外の周波数成分が含まれていることに起因する誤差を抑制することができる、回転角度検出装置を提供することを目的とする。

20

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 7 】

上記の課題を解決するために、本発明に係る回転角度検出装置は、回転体の回転角度に基づく正弦信号および余弦信号に基づいて、正弦信号および余弦信号に含まれる周波数成分の係数を同定する係数同定部と、係数同定部によって同定された係数に基づいて補正値を算出する補正値算出部と、正弦信号および余弦信号のいずれかまたは両方を補正値によって補正した値に基づいて、回転体の回転角度を算出する回転角度算出部とを備え、係数同定部は、 $M + N =$  正の定数を満たす 0 以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、正弦信号の  $M$  乗と余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、正弦信号および余弦信号に含まれる  $M + N - 1$  次成分の係数を同定する。

30

## 【 0 0 0 8 】

また、本発明に係る回転角度検出装置は、回転体の回転角度に基づく正弦信号と余弦信号との積に基づいて、中間信号を生成する中間信号生成部と、中間信号に正弦信号および余弦信号のいずれか一方を乗算する乗算部と、正弦信号および余弦信号のいずれか他方と乗算部の出力とを加算するか、または正弦信号および余弦信号のいずれか他方から乗算部の出力を減算する、加減算部と、正弦信号および余弦信号のいずれか一方、並びに、加減算部の出力に基づいて、回転体の回転角度を算出する回転角度算出部とを備える。

## 【 発明の効果 】

40

## 【 0 0 0 9 】

本発明に係る回転角度検出装置によれば、正弦信号および余弦信号に基本波以外の周波数成分が含まれていることに起因する誤差を抑制することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 0 】

【 図 1 】 本発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置を含む回転角度検出システムの構成を示すブロック図である。

【 図 2 】 図 1 の励磁回路によって生成される交流信号の時間波形を示す図である。

【 図 3 】 図 1 の正弦検出コイルの出力端に現れる信号の時間波形を示す図である。

【 図 4 】 図 1 の余弦検出コイルの出力端に現れる信号の時間波形を示す図である。

50

【図 5】図 1 の係数同定部の内部構成を示すブロック図である。

【図 6】図 1 の補正值算出部の内部構成を示すブロック図である。

【図 7】本発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置を含む回転角度検出システムの構成を示すブロック図である。

【図 8】本発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置を含む回転角度検出システムの構成を示すブロック図である。

【図 9】図 8 の補正值算出部の内部構成を示すブロック図である。

【図 10】本発明の実施の形態 4 に係る回転角度検出装置を含む回転角度検出システムの構成を示すブロック図である。

【図 11】図 10 の中間信号生成部の内部構成を示すブロック図である。

10

【図 12】本発明の実施の形態 5 に係る電動パワーステアリング装置の構成を示すブロック図である。

【図 13】本発明の実施の形態 1 ~ 5 に係る回転角度検出装置の各機能を専用のハードウェアである処理回路で実現する場合を示した構成図である。

【図 14】本発明の実施の形態 1 ~ 5 に係る回転角度検出装置の各機能をプロセッサおよびメモリを備えた処理回路より実現する場合を示した構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、添付図面を参照して、本願が開示する回転角度検出装置の実施の形態について、詳細に説明する。ただし、以下に示す実施の形態は一例であり、これらの実施の形態によつて、本発明が限定されるものではない。

20

【0012】

実施の形態 1 .

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置 50 を含む、回転角度検出システム 100 の構成を示すブロック図である。

【0013】

回転角度検出システム 100 は、レゾルバ 10 と、励磁回路 20 と、差動増幅装置 30 と、A/D変換器 40 と、回転角度検出装置 50 とを備えている。

【0014】

レゾルバ 10 は、図示しないモータと一体に回転するロータ 1 と、励磁回路 20 によって生成される交流信号によって駆動される励磁コイル 11 と、モータの回転角度の正弦を検出する正弦検出コイル 12 と、モータの回転角度の余弦を検出する余弦検出コイル 13 とを含んでいる。

30

【0015】

図 2 に示されるような交流信号によって励磁コイル 11 が駆動されると、正弦検出コイル 12 の出力端には、図 3 に示されるようなモータの回転角度の正弦によって振幅変調された信号が出力される。また、余弦検出コイル 13 の出力端には、図 4 に示されるようなモータの回転角度の余弦によって振幅変調された信号が出力される。

【0016】

なお、図 2 ~ 図 4 の横軸は時間軸を示しており、レゾルバ 10 の回転角度の 1 周期を表している。また、図 2 ~ 図 4 の縦軸は、各信号の振幅を示している。

40

【0017】

図 1 に戻って、正弦検出コイル 12 の両出力端間の信号は、差動増幅装置 30 に含まれる第 1 の差動増幅器 31 によって差動増幅され、A/D変換器 40 に入力される。同様に、余弦検出コイル 13 の両出力端間の信号は、差動増幅装置 30 に含まれる第 2 の差動増幅器 32 によって差動増幅され、A/D変換器 40 に入力される。

【0018】

A/D変換器 40 では、図 3、図 4 に丸印で示される正弦値および余弦値の各ピーク点、すなわち差動増幅装置 30 によって検出された正弦値および余弦値の各ピーク点が、A/D変換される。そして、これらのピーク点を連ねた信号列から、図 3、図 4 に太線で示さ

50

れる正弦信号  $S(\theta)$  および余弦信号  $C(\theta)$  が得られる。ここで、 $\theta$  は、モータの回転角度である。

【0019】

なお、A/D変換器40から出力される正弦信号  $S(\theta)$  の振幅と余弦信号  $C(\theta)$  の振幅とに差がある場合には、両者の差が零に近づくように補正を施してもよい。

【0020】

図1に戻って、A/D変換器40から出力された正弦信号  $S(\theta)$  および余弦信号  $C(\theta)$  は、回転角度検出装置50にそれぞれ入力される。

【0021】

回転角度検出装置50は、係数同定部51と、補正值算出部52と、加算部53と、加算部54と、回転角度算出部55とを含んでいる。 10

【0022】

係数同定部51は、正弦信号  $S(\theta)$  および余弦信号  $C(\theta)$  に基づいて、正弦信号  $S(\theta)$  および余弦信号  $C(\theta)$  に含まれる0次成分および2次成分の係数をそれぞれ同定して出力する。

【0023】

図5は、実施の形態1の係数同定部51の内部構成を示すブロック図である。以下、係数同定部51の各要素および動作について詳細に説明する。

【0024】

ローパスフィルタ51aは、余弦信号  $C(\theta)$  にローパスフィルタリングを施した値  $a_0 \cos \theta$  を出力する。ここで、 $a_0 \cos \theta$  は、余弦信号  $C(\theta)$  に含まれる0次成分、すなわち直流成分の係数の同定値である。 20

【0025】

ローパスフィルタ51bは、正弦信号  $S(\theta)$  にローパスフィルタリングを施した値  $c_0 \sin \theta$  を出力する。ここで、 $c_0 \sin \theta$  は、正弦信号  $S(\theta)$  に含まれる0次成分、すなわち直流成分の係数の同定値である。

【0026】

次に、乗算器51cは、余弦信号  $C(\theta)$  を3乗した値  $C(\theta)^3$  を出力する。

【0027】

ローパスフィルタ51dは、余弦信号  $C(\theta)$  を3乗した値  $C(\theta)^3$  にローパスフィルタリングを施した値  $X_1$  を出力する。 30

【0028】

ゲイン51eは、ローパスフィルタ51dの出力  $X_1$  を  $(4 / (3 \times a_1^2))$  倍した値  $X_2$  を出力する。ここで、 $a_1$  は、余弦信号  $C(\theta)$  の1次成分、すなわち基本波成分の係数である。この  $a_1$  は、設計値あるいは事前に予め測定しておいた値を用いればよい。

【0029】

ゲイン51fは、 $a_0 \cos \theta$  を2倍した値  $a_0 \cos \theta \times 2$  を出力する。

【0030】

減算器51gは、ゲイン51eの出力  $X_2$  からゲイン51fの出力  $a_0 \cos \theta \times 2$  を減算した値  $a_2 \cos \theta$  を出力する。ここで、 $a_2 \cos \theta$  は、余弦信号  $C(\theta)$  に含まれる2次成分の係数の同定値である。 40

【0031】

次に、乗算器51hは、正弦信号  $S(\theta)$  を3乗した値  $S(\theta)^3$  を出力する。

【0032】

ローパスフィルタ51iは、正弦信号  $S(\theta)$  を3乗した値  $S(\theta)^3$  にローパスフィルタリングを施した値  $X_3$  を出力する。

【0033】

ゲイン51jは、ローパスフィルタ51iの出力  $X_3$  を  $(4 / (3 \times d_1^2))$  倍した値  $X_4$  を出力する。ここで、 $d_1$  は、正弦信号  $S(\theta)$  の1次成分、すなわち基本波成分の係数である。この  $d_1$  は、設計値あるいは事前に予め測定しておいた値を用いればよい。 50

【0034】

ゲイン51kは、 $c0\_ca1$ を2倍した値 $c0\_ca1 \times 2$ を出力する。

【0035】

減算器51lは、ゲイン51jの出力X4からゲイン51kの出力 $c0\_ca1 \times 2$ を減算した値 $c2\_ca1$ を出力する。ここで、 $c2\_ca1$ は、正弦信号 $S(\quad)$ に含まれる2次成分の係数の同定値である。

【0036】

次に、乗算器51mは、余弦信号 $C(\quad)$ の2乗と正弦信号 $S(\quad)$ との積 $C(\quad)^2 S(\quad)$ を出力する。

【0037】

ローパスフィルタ51nは、 $C(\quad)^2 S(\quad)$ にローパスフィルタリングを施した値X5を出力する。

【0038】

ゲイン51oは、ローパスフィルタ51nの出力X5を $(4/a1^2)$ 倍した値X6を出力する。ここで、 $a1$ は、余弦信号 $C(\quad)$ の1次成分、すなわち基本波成分の係数である。先述したように、この $a1$ は、設計値あるいは事前に予め測定しておいた値を用いればよい。

【0039】

減算器51pは、ゲイン51oの出力X6からゲイン51jの出力X4を減算した値を出力する。

【0040】

ゲイン51qは、減算器51pの出力を0.5倍した値を出力する。

【0041】

減算器51rは、ゲイン51qの出力から $c2\_ca1$ を減算した値 $b2\_ca1$ を出力する。ここで、 $b2\_ca1$ は、余弦信号 $C(\quad)$ に含まれる2次成分の係数の同定値である。

【0042】

次に、乗算器51sは、余弦信号 $C(\quad)$ と正弦信号 $S(\quad)$ の2乗との積 $C(\quad)^2 S(\quad)^2$ を出力する。

【0043】

ローパスフィルタ51tは、 $C(\quad)^2 S(\quad)^2$ にローパスフィルタリングを施した値X7を出力する。

【0044】

ゲイン51uは、ローパスフィルタ51tの出力X7を $(4/d1^2)$ 倍した値X8を出力する。ここで、 $d1$ は、余弦信号 $S(\quad)$ の1次成分、すなわち基本波成分の係数である。先述したように、この $d1$ は、設計値あるいは事前に予め測定しておいた値を用いればよい。

【0045】

減算器51vは、ゲイン51uの出力X8からゲイン51eの出力X2を減算した値を出力する。

【0046】

ゲイン51wは、減算器51vの出力を0.5倍した値を出力する。

【0047】

加算器51yは、ゲイン51wの出力に $a2\_ca1$ を加算した値 $d2\_ca1$ を出力する。ここで、 $d2\_ca1$ は、正弦信号 $S(\quad)$ に含まれる2次成分の係数の同定値である。

【0048】

したがって、係数同定部51は、6つの係数同定値 $a0\_ca1$ 、 $c0\_ca1$ 、 $a2\_ca1$ 、 $c2\_ca1$ 、 $b2\_ca1$ 、 $d2\_ca1$ を出力する。

【0049】

10

20

30

40

50

係数同定部 5 1 は、余弦信号  $C(\quad)$  の 1 乗に対して、ローパスフィルタを適用することによって、余弦信号  $C(\quad)$  に含まれる 0 次成分の係数  $a_{0\_ca1}$  を同定している。また、係数同定部 5 1 は、正弦信号  $S(\quad)$  の 1 乗に対して、ローパスフィルタを適用することによって、正弦信号  $S(\quad)$  に含まれる 0 次成分の係数  $c_{0\_ca1}$  を同定している。

【0050】

上記をまとめると、係数同定部 5 1 は、 $M + N = 1$  を満たす 0 以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、正弦信号の  $M$  乗と余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、正弦信号  $S(\quad)$  および余弦信号  $C(\quad)$  に含まれる  $M + N - 1$  次成分、すなわち 0 次成分の係数  $a_{0\_ca1}$ 、 $c_{0\_ca1}$  を同定している。

【0051】

また、係数同定部 5 1 は、正弦信号の 3 乗、余弦信号の 3 乗、余弦信号の 2 乗と正弦信号の 1 乗との積、および正弦信号の 2 乗と正弦信号の 1 乗との積に対して、ローパスフィルタをそれぞれ適用した結果に基づいて、正弦信号  $S(\quad)$  および余弦信号  $C(\quad)$  に含まれる 2 次成分の係数  $a_{2\_ca1}$ 、 $c_{2\_ca1}$ 、 $b_{2\_ca1}$ 、 $d_{2\_ca1}$  をそれぞれ同定している。

【0052】

上記をまとめると、係数同定部 5 1 は、 $M + N = 3$  を満たす 0 以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、正弦信号の  $M$  乗と余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、正弦信号  $S(\quad)$  および余弦信号  $C(\quad)$  に含まれる  $M + N - 1$  次成分、すなわち 2 次成分の係数  $a_{2\_ca1}$ 、 $c_{2\_ca1}$ 、 $b_{2\_ca1}$ 、 $d_{2\_ca1}$  を同定している。

【0053】

図 1 に戻って、係数同定部 5 1 から出力される 6 つの係数同定値  $a_{0\_ca1}$ 、 $c_{0\_ca1}$ 、 $a_{2\_ca1}$ 、 $c_{2\_ca1}$ 、 $b_{2\_ca1}$ 、 $d_{2\_ca1}$  は、補正值算出部 5 2 に入力される。

【0054】

補正值算出部 5 2 は、係数同定部 5 1 から入力される 6 つの係数同定値に基づいて、正弦信号  $S(\quad)$  の補正值  $S\_carr1$  および余弦信号  $C(\quad)$  の補正值  $C\_carr1$  をそれぞれ算出する。

【0055】

図 6 は、実施の形態 1 の補正值算出部 5 2 の内部構成を示すブロック図である。以下、補正值算出部 5 2 の各要素および動作について説明する。

【0056】

まず、加算器 5 2 a は、係数同定部 5 1 から入力される  $a_{2\_ca1}$  と  $d_{2\_ca1}$  とを加算し、加算結果  $a_{2\_ca1} + d_{2\_ca1}$  を出力する。

【0057】

ゲイン 5 2 b は、加算器 5 2 a の出力を 0.5 倍し、乗算結果  $0.5(a_{2\_ca1} + d_{2\_ca1})$  を出力する。

【0058】

減算器 5 2 c は、係数同定部 5 1 から入力される  $a_{0\_ca1}$  からゲイン 5 2 b の出力を減算し、減算結果  $a_{0\_ca1} - 0.5(a_{2\_ca1} + d_{2\_ca1})$  を出力する。

【0059】

ゲイン 5 2 d は、減算器 5 2 c の出力を -1 倍し、結果を  $C\_corr1$  として出力する。

【0060】

したがって、補正值算出部 5 2 から出力される余弦信号  $C(\quad)$  の補正值  $C\_corr1$  は、以下ようになる。

【0061】

【数 1】

$$C\_corr1 = -a_{0\_cal} + 0.5(a_{2\_cal} + d_{2\_cal}) \quad (1)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 2 】

次に、減算器 5 2 e は、係数同定部 5 1 から入力される  $c 2\_c a l$  から  $b 2\_c a l$  を減算し、減算結果  $c 2\_c a l - b 2\_c a l$  を出力する。

【 0 0 6 3 】

ゲイン 5 2 f は、減算器 5 2 e の出力を 0 . 5 倍し、乗算結果  $0 . 5 ( c 2\_c a l - b 2\_c a l )$  を出力する。

【 0 0 6 4 】

加算器 5 2 g は、係数同定部 5 1 から入力される  $c 0\_c a l$  とゲイン 5 2 f の出力とを加算し、加算結果  $c 0\_c a l + 0 . 5 ( - b 2\_c a l + c 2\_c a l )$  を出力する。

【 0 0 6 5 】

ゲイン 5 2 h は、加算器 5 2 g の出力を - 1 倍し、結果を  $S\_corr1$  として出力する。

【 0 0 6 6 】

したがって、補正值算出部 5 2 から出力される正弦信号  $S ( )$  の補正值  $S\_corr1$  は、以下のようになる。

【 0 0 6 7 】

【数 2】

$$S\_corr1 = -c0\_cal + 0.5(b2\_cal - c2\_cal) \quad (2)$$

【 0 0 6 8 】

図 1 に戻って、オフセット算出部 5 2 から出力される補正值  $S\_corr1$  は、加算部 5 3 に入力される。加算部 5 3 は、正弦信号  $( )$  と補正值  $S\_corr1$  とを加算して、回転角度算出部 5 5 に出力する。

【 0 0 6 9 】

オフセット算出部 5 2 から出力される補正值  $C\_corr1$  は、加算部 5 4 に入力される。加算部 5 4 は、余弦信号  $C ( )$  と補正值  $C\_corr1$  とを加算して、回転角度算出部 5 5 に出力する。

【 0 0 7 0 】

回転角度算出部 5 5 は、 $S ( ) + S\_corr1$  および  $C ( ) + C\_corr1$  に基づいて、以下の式に従って、回転角度信号  $r$  を算出する。

【 0 0 7 1 】

【数 3】

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{S(\theta) + S\_corr1}{C(\theta) + C\_corr1} \right) \quad (3)$$

【 0 0 7 2 】

以下、上記の回転角度検出装置 5 0 において、正弦信号  $S ( )$  および余弦信号  $C ( )$  に基本波以外の周波数成分が含まれていることに起因する回転角度誤差が抑制される理由について、詳細に説明する。

【 0 0 7 3 】

まず、余弦信号  $C ( )$  および正弦信号  $S ( )$  が、それぞれ以下のように表される場合を考える。

【 0 0 7 4 】

【数 4】

$$C(\theta) = \cos(\theta) \quad (4)$$

【数 5】

$$S(\theta) = \sin(\theta) \quad (5)$$

【 0 0 7 5 】

この場合、余弦信号  $C ( )$  の 0 次成分、すなわち直流成分の係数は零である。また、余

10

20

30

40

50

弦信号 C ( ) の基本波以外の高調波成分の係数も零である。なお、基本波成分、すなわち 1 次成分の係数は 1 である。

【 0 0 7 6 】

同様に、正弦信号 S ( ) の 0 次成分、すなわち直流成分の係数は零である。また、正弦信号 S ( ) の基本波以外の高調波成分の係数も零である。なお、基本波成分、すなわち 1 次成分の係数は 1 である。

【 0 0 7 7 】

この場合に、仮に、余弦信号 C ( ) および正弦信号 S ( ) の補正值が  $C\_corr1 = 0$ 、 $S\_corr1 = 0$  である場合を考えてみる。そうすると、回転角度信号  $r$  は、式 ( 3 ) から、以下のように計算される。

【 0 0 7 8 】

【数 6】

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)} \right) = \theta \quad (6)$$

【 0 0 7 9 】

したがって、回転角度信号  $r$  は、モータの実際の回転角度 に等しくなる。また、回転角度信号  $r$  とモータの実際の回転角度 との差に基づいて求められる回転角度誤差は零になる。

【 0 0 8 0 】

次に、余弦信号 C ( ) および正弦信号 S ( ) が、それぞれ以下のように表される場合を考える。式 ( 4 )、式 ( 5 ) と式 ( 7 )、式 ( 8 ) とでは、0 次成分、すなわち直流成分が存在する点が異なっている。

【 0 0 8 1 】

【数 7】

$$C(\theta) = a0 + \cos(\theta) \quad (7)$$

【数 8】

$$S(\theta) = c0 + \sin(\theta) \quad (8)$$

【 0 0 8 2 】

この場合にも、仮に、余弦信号 C ( ) および正弦信号 S ( ) の補正值が  $C\_corr1 = 0$ 、 $S\_corr1 = 0$  である場合を考えてみる。そして、式 ( 3 ) から回転角度信号  $r$  を計算し、これに基づいて回転角度誤差 を求めると、以下のようになる。

【 0 0 8 3 】

【数 9】

$$\Delta\theta = c0 \cdot \cos(\theta) - a0 \cdot \sin(\theta) \quad (9)$$

【 0 0 8 4 】

すなわち、余弦信号 C ( ) および正弦信号 S ( ) に 0 次成分  $a0$ 、 $c0$  が含まれていることに起因して、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) の基本波と同周期の回転角度誤差 が発生する。

【 0 0 8 5 】

これ以降、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) の基本波と同周期の回転角度誤差を、 $1f$  の回転角度誤差と称することにする。また、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) の 2 次成分と同周期の回転角度誤差を、 $2f$  の回転角度誤差と称することにする。以下、 $3f$ 、 $4f$  の回転角度誤差も同様に定義する。

【 0 0 8 6 】

特許文献 1 では、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) の山の値と谷の値とから中点補正值を求めている。これに従って演算すると、補正值は、 $C\_corr1 = -a0$ 、 $S\_corr$

10

20

30

40

50

1 = - c 0 となる。この場合に、式 ( 3 ) から回転角度信号  $r$  を計算すると、以下のようになる。

【 0 0 8 7 】

【数 1 0】

$$\begin{aligned}\theta_r &= \tan^{-1} \left( \frac{S(\theta) + S\_corr1}{C(\theta) + C\_corr1} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{(c0 + \sin(\theta)) - c0}{(a0 + \cos(\theta)) - a0} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)} \right) = \theta\end{aligned}\tag{10}$$

【 0 0 8 8 】

したがって、余弦信号  $C( )$  および正弦信号  $S( )$  に 0 次成分  $a_0$ 、 $c_0$  がそれぞれ含まれている場合には、特許文献 1 の手法によって、回転角度誤差 を抑制することができる。

【 0 0 8 9 】

次に、余弦信号  $C( )$  および正弦信号  $S( )$  が、それぞれ以下のように表される場合を考える。式 ( 7 )、式 ( 8 ) と式 ( 1 1 )、式 ( 1 2 ) とでは、2 次成分、すなわち基本波の周波数の 2 倍の周波数成分が存在する点が異なっている。

【 0 0 9 0 】

【数 1 1】

$$C(\theta) = a_0 + \cos(\theta) + a_2 \cdot \cos(2\theta) + b_2 \cdot \sin(2\theta)\tag{11}$$

【数 1 2】

$$S(\theta) = c_0 + \sin(\theta) + c_2 \cdot \cos(2\theta) + d_2 \cdot \sin(2\theta)\tag{12}$$

【 0 0 9 1 】

ここでも同様に、仮に、余弦信号  $C( )$  および正弦信号  $S( )$  の補正值が  $C\_corr1 = 0$ 、 $S\_corr1 = 0$  である場合を考えてみる。そして、式 ( 3 ) から回転角度信号  $r$  を計算し、これに基づいて回転角度誤差 を求めると、以下のようになる。

【数 1 3】

$$\begin{aligned}\Delta\theta &= (c_0 + 0.5(c_2 - b_2)) \cdot \cos(\theta) + (-a_0 + 0.5(a_2 + d_2)) \cdot \sin(\theta) \\ &\quad + 0.5(b_2 + c_2) \cdot \cos(3\theta) + 0.5(-a_2 + d_2) \cdot \sin(3\theta)\end{aligned}\tag{13}$$

【 0 0 9 2 】

上記の回転角度誤差 では、式 ( 1 1 )、式 ( 1 2 ) に含まれる 2 次成分の係数  $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ 、 $d_2$  の存在に起因して、1 f の回転角度誤差の係数が式 ( 9 ) のそれとは異なっている。

【 0 0 9 3 】

したがって、特許文献 1 の手法によって、正弦信号  $S( )$  および余弦信号  $C( )$  の中点補正值を求め、補正值  $C\_corr1 = -a_0$ 、 $S\_corr1 = -c_0$  としても、式 ( 1 3 ) の  $a_2$ 、 $b_2$ 、 $c_2$ 、 $d_2$  に起因する 1 f の回転角度誤差を抑制することはできない。

【 0 0 9 4 】

これに対して、先述したように、本実施の形態 1 の補正值算出部 5 2 の出力は、式 ( 1 )、式 ( 2 ) によって与えられる。

【 0 0 9 5 】

ここで、係数同定部 5 1 から出力される係数同定値  $a_0\_cal$ 、 $c_0\_cal$ 、 $a_2\_cal$ 、 $b_2\_cal$ 、 $c_2\_cal$ 、 $d_2\_cal$  が、それぞれ  $a_0$ 、 $c_0$ 、 $a_2$ 、 $b_2$

2、c2、d2に一致する場合、すなわち係数同定値と真の係数とが一致する場合には、式(1)、式(2)は、それぞれ以下ようになる。

【0096】

【数14】

$$C_{corr1} = -a0 + 0.5(a2 + d2) \quad (14)$$

【数15】

$$S_{corr1} = -c0 + 0.5(b2 - c2) \quad (15)$$

【0097】

上記の補正值を用いて、式(3)に従って回転角度信号  $r$  を計算し、さらに回転角度誤差  $\Delta\theta$  を求めると、以下ようになる。

【0098】

【数16】

$$\Delta\theta = 0.5(b2 + c2) \cdot \cos(3\theta) + 0.5(-a2 + d2) \cdot \sin(3\theta) \quad (16)$$

【0099】

したがって、正弦信号  $S(\theta)$  および余弦信号  $C(\theta)$  に0次成分および2次成分が含まれている場合、本実施の形態1の補正值  $C_{corr1}$ 、 $S_{corr1}$  を適用して回転角度信号  $r$  を算出すると、 $3f$  の回転角度誤差は残るが、 $1f$  の回転角度誤差は零になる。

【0100】

すなわち、係数同定部51による係数の同定が正しく行えていれば、正弦信号  $S(\theta)$  および余弦信号  $C(\theta)$  に2次成分が含まれている場合でも、本実施の形態1の補正值  $C_{corr1}$ 、 $S_{corr1}$  によって、 $1f$  の回転角度誤差を零にすることができる。

【0101】

次に、図5に示される本実施の形態1の係数同定部51によって、正弦信号  $S(\theta)$  および余弦信号  $C(\theta)$  の係数の同定が正しく行われる理由について、詳細に説明する。

【0102】

まず、余弦信号  $C(\theta)$  および正弦信号  $S(\theta)$  が、それぞれ以下のように表されるものとする。

【0103】

【数17】

$$C(\theta) = a0 + a1 \cdot \cos(\theta) + a2 \cdot \cos(2\theta) + b2 \cdot \sin(2\theta) \quad (17)$$

【数18】

$$S(\theta) = c0 + d1 \cdot \sin(\theta) + c2 \cdot \cos(2\theta) + d2 \cdot \sin(2\theta) \quad (18)$$

【0104】

上式において、 $a1 = 1$ 、 $d1 = 1$  とすれば、式(17)、式(18)は、式(11)、式(12)に一致する。すなわち、式(17)、式(18)は、式(11)、式(12)をより一般化した表現である。

【0105】

余弦信号  $C(\theta)$  および正弦信号  $S(\theta)$  について、モータの回転角度の1周期の平均値をとったものは、それぞれ以下ようになる。

【0106】

【数19】

$$\text{Ave}\{C(\theta)\} = a0 \quad (19)$$

【数20】

$$\text{Ave}\{S(\theta)\} = c0 \quad (20)$$

10

20

30

40

50

## 【 0 1 0 7 】

なお、上式において、 $Ave\{ \}$  は、括弧内の平均の意味である。

## 【 0 1 0 8 】

したがって、余弦信号  $C( )$  の直流成分の係数  $a_0$  は、余弦信号  $C( )$  について、モータの回転角度の 1 周期の平均をとる、あるいは 1 周期の積算を行うことによって求めることができる。

## 【 0 1 0 9 】

同様に、正弦信号  $S( )$  の直流成分の係数  $c_0$  は、正弦信号  $S( )$  について、モータの回転角度の 1 周期の平均をとる、あるいは 1 周期の積算を行うことによって求めることができる。

10

## 【 0 1 1 0 】

本実施の形態 1 の係数同定部 5 1 では、1 周期の積算を行うのと等価、もしくはそれよりも時定数の長いローパスフィルタを用いることによって、 $Ave\{C( )\} = a_0$ 、 $Ave\{S( )\} = c_0$  を、それぞれ算出する構成となっている。

## 【 0 1 1 1 】

詳細には、図 5 において、余弦信号  $C( )$  にローパスフィルタ 5 1 a を適用することによって、 $a_0 \_ c a 1$  として  $a_0$  を同定することができる。同様に、正弦信号  $S( )$  にローパスフィルタ 5 1 b を適用することによって、 $c_0 \_ c a 1$  として  $c_0$  を同定することができる。

## 【 0 1 1 2 】

すなわち、余弦信号  $C( )$  の 1 乗、換言すると余弦信号  $C( )$  そのものに対して、ローパスフィルタ 5 1 a を適用することによって、余弦信号  $C( )$  の 0 次成分、すなわち直流成分の係数  $a_0$  を同定することができる。

20

## 【 0 1 1 3 】

同様に、正弦信号  $S( )$  の 1 乗、すなわち正弦信号  $S( )$  そのものに対して、ローパスフィルタ 5 1 b を適用することによって、正弦信号  $S( )$  の 0 次成分、すなわち直流成分の係数  $c_0$  を同定することができる。

## 【 0 1 1 4 】

続いて、図 5 の乗算器 5 1 c の出力  $C( )^3$ 、乗算器 5 1 h の出力  $S( )^3$ 、乗算器 5 1 m の出力  $C( )^2 S( )$ 、乗算器 5 1 s の出力  $C( ) S( )^2$  について、モータの回転角度の 1 周期の平均値をとったものは、それぞれ以下ようになる。

30

## 【 0 1 1 5 】

## 【数 2 1】

$$Ave\{C(\theta)^3\} = 3 \cdot a1^2 \cdot (a2 + 2 \cdot a0) / 4 \quad (21)$$

## 【数 2 2】

$$Ave\{S(\theta)^3\} = 3 \cdot d1^2 \cdot (-c2 + 2 \cdot c0) / 4 \quad (22)$$

## 【数 2 3】

$$Ave\{C(\theta)^2 \cdot S(\theta)\} = a1 \cdot (2 \cdot b2 \cdot d1 + a1 \cdot c2 + 2 \cdot a1 \cdot c0) / 4 \quad (23)$$

40

## 【数 2 4】

$$Ave\{C(\theta) \cdot S(\theta)^2\} = d1 \cdot (-a2 \cdot d1 + 2 \cdot a1 \cdot d2 + 2 \cdot a0 \cdot d1) / 4 \quad (24)$$

## 【 0 1 1 6 】

ここで、ローパスフィルタ 5 1 d、5 1 i、5 1 n、5 1 t を、1 周期の積算を行うのと等価、もしくはそれよりも時定数の長いローパスフィルタとすることによって、図 3 の  $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_5$ 、 $X_7$  は、それぞれ以下ようになる。

50

【 0 1 1 7 】

【数 2 5】

$$X1 = 3a1^2 \cdot (a2 + 2 \cdot a0) / 4 \quad (25)$$

【数 2 6】

$$X3 = 3d1^2 \cdot (-c2 + 2 \cdot c0) / 4 \quad (26)$$

【数 2 7】

$$\begin{aligned} X5 &= a1 \cdot (2 \cdot b2 \cdot d1 + a1 \cdot c2 + 2 \cdot a1 \cdot c0) / 4 \\ &\approx a1^2 \cdot (2 \cdot b2 + c2 + 2 \cdot c0) / 4 \end{aligned} \quad (27)$$

10

【数 2 8】

$$\begin{aligned} X7 &= d1 \cdot (-a2 \cdot d1 + 2 \cdot a1 \cdot d2 + 2 \cdot a0 \cdot d1) / 4 \\ &\approx d1^2 \cdot (-a2 + 2 \cdot d2 + 2 \cdot a0) / 4 \end{aligned} \quad (28)$$

【 0 1 1 8 】

さらに、上記の各式とゲイン 5 1 e、5 1 j、5 1 o、5 1 u とをそれぞれ乗算することによって、図 5 の X 2、X 4、X 6、X 8 は、それぞれ以下ようになる。

20

【 0 1 1 9 】

【数 2 9】

$$X2 = a2 + 2 \cdot a0 \quad (29)$$

【数 3 0】

$$X4 = -c2 + 2 \cdot c0 \quad (30)$$

【数 3 1】

$$X6 = 2 \cdot b2 + c2 + 2 \cdot c0 \quad (31)$$

30

【数 3 2】

$$X8 = -a2 + 2 \cdot d2 + 2 \cdot a0 \quad (32)$$

【 0 1 2 0 】

したがって、式 ( 2 9 ) で求めた X 2 と、a 0 \_ \_ c a l が a 0 に一致することと、減算器 5 1 g およびゲイン 5 1 f の演算とによって、a 2 \_ \_ c a l は、以下ようになる。

【 0 1 2 1 】

【数 3 3】

$$a2\_cal = X2 - 2 \cdot a0\_cal = (a2 + 2 \cdot a0) - 2 \cdot a0 = a2 \quad (33)$$

40

【 0 1 2 2 】

同様に、式 ( 3 0 ) で求めた X 4 と、c 0 \_ \_ c a l が c 0 に一致することと、減算器 5 1 l およびゲイン 5 1 k の演算とによって、c 2 \_ \_ c a l は、以下ようになる。

【 0 1 2 3 】

【数 3 4】

$$c2\_cal = -X4 + 2 \cdot c0\_cal = -(-c2 + 2 \cdot c0) + 2 \cdot c0 = c2 \quad (34)$$

【 0 1 2 4 】

同様に、式 ( 3 0 ) で求めた X 4 と、式 ( 3 1 ) で求めた X 6 と、c 2 \_ \_ c a l が c 2 に一致することと、減算器 5 1 p、ゲイン 5 1 q および減算器 5 1 r の演算とによって、b

50

2 \_\_ c a 1 は、以下のようになる。

【 0 1 2 5 】

【数 3 5】

$$b2\_cal = 0.5(X6 - X4) - c2\_cal$$

$$= 0.5((2 \cdot b2 + c2 + 2 \cdot c0) - (-c2 + 2 \cdot c0)) - c2 = b2 \quad (35)$$

【 0 1 2 6 】

同様に、式 ( 2 9 ) で求めた X 2 と、式 ( 3 2 ) で求めた X 8 と、 a 2 \_\_ c a 1 が a 2 に一致すること、減算器 5 1 v、ゲイン 5 1 w および加算器 5 1 y の演算とによって、 d 2 \_\_ c a 1 は、以下のようになる。

【 0 1 2 7 】

【数 3 6】

$$d2\_cal = 0.5(X8 - X2) + a2\_cal$$

$$= 0.5((-a2 + 2 \cdot d2 + 2 \cdot a0) - (a2 + 2 \cdot a0)) + a2 = d2 \quad (36)$$

【 0 1 2 8 】

上記の式 ( 3 3 )、式 ( 3 4 )、式 ( 3 5 )、式 ( 3 6 ) から、図 5 の構成によって同定した 2 次成分の各係数 a 2 \_\_ c a 1、b 2 \_\_ c a 1、c 2 \_\_ c a 1、d 2 \_\_ c a 1 は、式 ( 1 7 )、式 ( 1 8 ) の 2 次成分の各係数 a 2、b 2、c 2、d 2 に一致する。

【 0 1 2 9 】

以上により、図 5 の係数同定部 5 1 によって、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) に含まれる 0 次成分の係数 a 0 \_\_ c a 1、c 0 \_\_ c a 1、および 2 次成分の係数 a 2 \_\_ c a 1、c 2 \_\_ c a 1、b 2 \_\_ c a 1、d 2 \_\_ c a 1 を正しく同定できることが示された。

【 0 1 3 0 】

なお、図 5 の各ローパスフィルタにおいて、モータの回転速度の変動帯域以上の速度で演算を実行できれば、モータの回転角度の 1 周期の積算演算と比べて、より高精度にローパスフィルタの高域遮断機能が作用する。その結果、式 ( 1 9 ) ~ 式 ( 2 4 ) の演算がより高精度に行われる。したがって、ローパスフィルタ 5 1 a、5 1 b、5 1 d、5 1 i、5 1 n、5 1 t の出力値の更新は、モータの回転速度の変動帯域以上の速度で行うことが好ましい。

【 0 1 3 1 】

一例として、電動パワーステアリングのアシスト用のモータの場合、その回転速度の変動帯域の上限はおおよそ 5 Hz である。そのため、5 Hz に対応するモータの回転数以上の場合に、各ローパスフィルタの出力値を更新するのが好ましい。その場合、5 Hz 未満に対応するモータの回転数の場合には、ローパスフィルタの出力値は、前回値を維持するのが好ましい。

【 0 1 3 2 】

また、上記の実施の形態 1 は、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) を、0 次成分および 2 次成分の各係数の同定結果に基づいて補正することによって、回転角度誤差 を抑制するものであった。これ以外にも、回転角度誤差 が次式のように表せることを利用して、回転角度信号 r を補正することも可能である。

【 0 1 3 3 】

【数 3 7】

$$\Delta\theta = ((2 \cdot c0 - b2 + c2)\cos(\theta) + (-2 \cdot a0 + a2 + d2)\sin(\theta))/(2 \cdot a1) \quad (37)$$

【 0 1 3 4 】

また、上記の回転角度検出装置 5 0 が検出する回転角度はモータの回転角度であったが、本実施の形態 1 に係る発明の適用可能な範囲はこれに限定されるものではない。本実施の

10

20

30

40

50

形態 1 に係る発明は、任意の回転体、すなわち回転する物体に対して、適用することができる。

【 0 1 3 5 】

以上説明したように、本発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置は、回転体の回転角度に基づく正弦信号および余弦信号に基づいて、正弦信号および余弦信号に含まれる周波数成分の係数を同定する係数同定部と、係数同定部によって同定された係数に基づいて補正値を算出する補正値算出部と、正弦信号および余弦信号のいずれかまたは両方を補正値によって補正した値に基づいて、回転体の回転角度を算出する回転角度算出部とを備えている。

【 0 1 3 6 】

また、本実施の形態 1 の係数同定部は、 $M + N = 1$  を満たす 0 以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、正弦信号の  $M$  乗と余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、正弦信号および余弦信号に含まれる  $M + N - 1 = 0$  次成分の係数を同定する。

【 0 1 3 7 】

また、本実施の形態 1 の係数同定部は、 $M + N = 3$  を満たす 0 以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、正弦信号の  $M$  乗と余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、正弦信号および余弦信号に含まれる  $M + N - 1 = 2$  次成分の係数をさらに同定する。

【 0 1 3 8 】

実施の形態 2 .

次に、本発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置 2 5 0 について説明する。なお、以降の実施の形態において、それ以前の実施の形態と同一または同様の構成要素については、同一の参照符号を付して詳細な説明は省略する。

【 0 1 3 9 】

図 7 は、本発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置 2 5 0 を含む、回転角度検出システム 2 0 0 の構成を示すブロック図である。

【 0 1 4 0 】

実施の形態 2 に係る回転角度検出装置 2 5 0 は、係数同定部 2 5 1 と、補正値算出部 2 5 2 と、回転角度算出部 2 5 5 とを含んでいる。以下、実施の形態 2 の回転角度検出装置 2 5 0 の詳細について、順に説明する。

【 0 1 4 1 】

まず、余弦信号  $C( )$  および正弦信号  $S( )$  が、それぞれ以下のように表される場合について考える。

【 0 1 4 2 】

【数 3 8】

$$C(\theta) = a_1 \cdot \cos(\theta) + b_1 \cdot \sin(\theta) + a_3 \cdot \cos(3\theta) + b_3 \cdot \sin(3\theta) \quad (38)$$

【数 3 9】

$$S(\theta) = c_1 \cdot \cos(\theta) + d_1 \cdot \sin(\theta) + c_3 \cdot \cos(3\theta) + d_3 \cdot \sin(3\theta) \quad (39)$$

【 0 1 4 3 】

このとき、 $C( )^2$ 、 $C( ) S( )$ 、 $S( )^2$  について、モータの回転角度の 1 周期の平均をとると、それぞれ以下ようになる。

【 0 1 4 4 】

【数 4 0】

$$\text{Ave}\{C(\theta)^2\} = a_1^2/2 \quad (40)$$

【数 4 1】

$$\text{Ave}\{C(\theta)S(\theta)\} \approx (b_1 \cdot d_1 + a_1 \cdot c_1)/2 \approx a_1 \cdot (b_1 + c_1)/2 \quad (41)$$

10

20

30

40

50

【数 4 2】

$$\text{Ave}\{S(\theta)^2\} = d1^2/2 \quad (42)$$

【0 1 4 5】

また、 $C(\ )^4$ 、 $C(\ )^3 S(\ )$ 、 $C(\ )^2 S(\ )^2$ 、 $C(\ ) S(\ )^3$ 、 $S(\ )^4$ について、モータの回転角度の1周期の平均をとると、それぞれ以下ようになる。

【0 1 4 6】

【数 4 3】

$$\text{Ave}\{C(\theta)^4\} = a1^3 \cdot (3 \cdot a1 + 4 \cdot a3)/8 \quad (43)$$

10

【数 4 4】

$$\begin{aligned} \text{Ave}\{C(\theta)^3 S(\theta)\} \\ &= (a1^3 \cdot (3 \cdot c1 + c3) + a1^2 \cdot d1 \cdot (3 \cdot b1 + 3 \cdot b3))/8 \\ &\cong a1^3(3 \cdot (b1 + c1) + 3 \cdot b3 + c3)/8 \end{aligned} \quad (44)$$

【数 4 5】

$$\text{Ave}\{C(\theta)^2 S(\theta)^2\} \quad 20$$

$$= a1 \cdot d1 \cdot (a1 \cdot d1 + 2 \cdot a1 \cdot d3 - 2 \cdot a3 \cdot d1)/8 \quad (45)$$

【数 4 6】

$$\text{Ave}\{C(\theta)S(\theta)^3\} \quad 30$$

$$\begin{aligned} &= (d1^3 \cdot (3 \cdot b1 - b3) + a1 \cdot d1^2 \cdot (3 \cdot c1 - 3 \cdot c3))/8 \\ &\cong d1^3(3 \cdot (b1 + c1) - b3 - 3 \cdot c3)/8 \end{aligned} \quad (46)$$

【数 4 7】

$$\text{Ave}\{S(\theta)^4\} = d1^3 \cdot (3 \cdot d1 - 4 \cdot d3)/8 \quad (47)$$

【0 1 4 7】

式(45)は、 $a1$ と $d1$ がそれぞれ $d3$ と $a3$ に掛かっている。そのため、 $a3$ と $d3$ を算出するには、式(43)および式(47)を用いるとよい。式(45)のように、正弦信号 $S(\ )$ および余弦信号 $C(\ )$ が共に2乗以上となる場合には、微小な係数の積を0とみなして近似する方法によって、 $a1$ を $d1$ に、あるいは $d1$ を $a1$ に置き換えることができない。

40

【0 1 4 8】

したがって、係数の同定には、正弦信号 $S(\ )$ または余弦信号 $C(\ )$ のいずれかが1乗以下である式を用いると好適である。式(40)～式(44)および式(46)～式(47)を整理すると、以下ようになる。

【0 1 4 9】

【数 4 8】

$$a1 = \sqrt{2 \cdot \text{Ave}\{C(\theta)^2\}} \quad (48)$$

【数 4 9】

50

$$d1 = \sqrt{2 \cdot Ave\{S(\theta)^2\}} \quad (49)$$

【数 5 0】

$$b1 + c1 = 2 \cdot Ave\{C(\theta)S(\theta)\}/a1 \quad (50)$$

【数 5 1】

$$a3 = (8 \cdot Ave\{C(\theta)^4\}/a1^3 - 3 \cdot a1)/4 \quad (51)$$

【数 5 2】

$$b3 = (6 \cdot Ave\{C(\theta)^3S(\theta)\}/a1^3 + 2 \cdot Ave\{C(\theta)S(\theta)^3\}/d1^3 - 3(b1 + c1))/2 \quad (52)$$

【数 5 3】

$$c3 = (-2 \cdot Ave\{C(\theta)^3S(\theta)\}/a1^3 - 6 \cdot Ave\{C(\theta)S(\theta)^3\}/d1^3 + 3(b1 + c1))/2 \quad (53)$$

【数 5 4】

$$d3 = (-8 \cdot Ave\{S(\theta)^4\}/d1^3 + 3 \cdot d1)/4 \quad (54)$$

【0 1 5 0】

係数同定部 2 5 1 は、式 (4 8) ~ 式 (5 4) に基づいて、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) に含まれる 1 次成分の係数および 3 次成分の係数を同定する。

【0 1 5 1】

補正值算出部 2 5 2 は、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) に含まれる 1 次成分および 3 次成分に起因する 2 f の回転角度誤差を抑制する補正值を算出する。

【0 1 5 2】

例えば、補正值算出部 2 5 2 は、下記の式 (5 5)、式 (5 6) によって与えられる補正值 G 1、G 2 を算出し、式 (5 7) に従って、余弦信号 C ( ) を補正する。これにより、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) に含まれる 1 次成分および 3 次成分に起因する 2 f の回転角度誤差を抑制することができる。

【0 1 5 3】

【数 5 5】

$$G1 = d1^2 / ((a1 - a3)(d1 - d3)) \quad (55)$$

【数 5 6】

$$G2 = (-a1(c1 + c3) - d1(b1 - b3)) / ((a1 - a3)(d1 - d3)) \quad (56)$$

【数 5 7】

$$Correct\{C(\theta)\} = G1 \cdot C(\theta) + G2 \cdot S(\theta) \quad (57)$$

【0 1 5 4】

なお、ここでは余弦信号 C ( ) の補正值を算出する例を示したが、正弦信号 S ( ) の補正值を算出してもよい。また、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) の補正值を共に算出してもよい。さらに、近似によって上記の各式を簡略化してもよい。

【0 1 5 5】

また、上記の実施の形態 2 は、正弦信号 S ( ) および余弦信号 C ( ) を、1 次成分および 3 次成分の各係数の同定結果に基づいて補正することによって、回転角度誤差 を

10

20

30

40

50

抑制するものであった。これ以外にも、回転角度誤差 が次式のように表せることを利用して、回転角度信号  $r$  を補正することも可能である。

【 0 1 5 6 】

【数 5 8】

$$\Delta\theta = \left( (b_1 + c_1) - b_3 + c_3 \right) \cos(2\theta) + (-a_1 + d_1 + a_3 + d_3) \sin(2\theta) / (2 \cdot a_1) \quad (58)$$

【 0 1 5 7 】

以上説明したように、本実施の形態 2 の係数同定部は、 $M + N = 2$  を満たす 0 以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、正弦信号の  $M$  乗と余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、正弦信号および余弦信号に含まれる  $M + N - 1 = 1$  次成分の係数を同定する。

10

【 0 1 5 8 】

また、本実施の形態 2 の係数同定部は、 $M + N = 4$  を満たす 0 以上の各整数  $M$ 、 $N$  について、正弦信号の  $M$  乗と余弦信号の  $N$  乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、正弦信号および余弦信号に含まれる  $M + N - 1 = 3$  次成分の係数をさらに同定する。

【 0 1 5 9 】

実施の形態 3 .

20

図 8 は、本発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置 350 を含む、回転角度検出システム 300 の構成を示すブロック図である。

【 0 1 6 0 】

実施の形態 3 に係る回転角度検出装置 350 は、係数同定部 51 と、補正值算出部 357 と、減算部 358 と、減算部 359 と、遅延部 360 と、回転角度算出部 355 とを含んでいる。

【 0 1 6 1 】

係数同定部 51 は、実施の形態 1 と同じものであり、正弦信号  $S( )$  および余弦信号  $C( )$  に含まれる 0 次成分の係数同定値  $a_0\_ca1$ 、 $c_0\_ca1$ 、および 2 次成分の係数同定値  $a_2\_ca1$ 、 $c_2\_ca1$ 、 $b_2\_ca1$ 、 $d_2\_ca1$  を出力する。

30

【 0 1 6 2 】

補正值算出部 352 は、係数同定部 51 から出力される係数と、回転角度算出部 355 から遅延部 360 を介して入力される 1 演算周期前の回転角度信号  $r\_old$  とに基づいて、補正值  $S\_corr2$ 、 $C\_corr2$  を算出する。

【 0 1 6 3 】

減算部 358 は、正弦信号  $S( )$  から、補正值算出部 352 によって算出された補正值  $S\_corr2$  を減算し、減算結果  $(S( ) - S\_corr1)$  を回転角度算出部 355 に出力する。

【 0 1 6 4 】

減算部 359 は、余弦信号  $C( )$  から、補正值算出部 352 によって算出された補正值  $C\_corr2$  を減算し、減算結果  $(C( ) - C\_corr1)$  を回転角度算出部 355 に出力する。

40

【 0 1 6 5 】

回転角度算出部 355 は、 $(S( ) - S\_corr1)$  および  $(C( ) - C\_corr1)$  に基づいて、以下の式に従って、回転角度信号  $r$  を算出する。

【 0 1 6 6 】

【数 5 9】

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{S(\theta) - S\_corr2}{C(\theta) - C\_corr2} \right) \quad (59)$$

50

【0167】

図9は、実施の形態3の補正值算出部352の内部構成を示すブロック図である。以下、補正值算出部352の各要素および動作について説明する。

【0168】

まず、加算器352aは、1演算周期前の回転角度信号  $\theta_{chr\_old}$  に  $\omega \cdot t$  を加算した値  $r\_corr$  を出力する。ここで、 $t$  は、回転角度算出部355が回転角度信号  $r$  を算出する演算周期である。また、 $\omega$  は、モータの回転角速度である。この  $\omega$  は、 $\omega = (r - r\_old) / t$  によって求めることができる。あるいは、公知技術である回転速度センサレス制御等を流用することによって  $\omega$  を推定してもよい。

【0169】

なお、加算器352aによって  $\omega \cdot t$  を加算するのは、補正值算出部352に入力される回転角度信号  $\theta_{chr\_old}$  が、現在の回転角度信号  $r$  よりも1演算周期遅れているためである。 $\theta_{chr\_old}$  に  $\omega \cdot t$  を加算することによって、 $r\_corr$  は、現在の  $r$  にほぼ一致する値となる。

【0170】

次に、ゲイン352bは、加算器352aの出力  $r\_corr$  を2倍した値  $r\_corr \times 2$  を出力する。

【0171】

余弦算出器352cは、ゲイン352bの出力  $r\_corr \times 2$  の余弦値  $\cos(2 \cdot r\_corr)$  を出力する。

【0172】

正弦算出器352dは、ゲイン352bの出力  $r\_corr \times 2$  の正弦値  $\sin(2 \cdot r\_corr)$  を出力する。

【0173】

乗算器352eは、 $a2\_cal$  と余弦算出器352cの出力とを乗算した値  $Y1$  を出力する。すなわち、 $Y1$  は以下のように表される。

【0174】

【数60】

$$Y1 = a2\_cal \cdot \cos(2 \cdot \theta_{r\_corr}) \quad (60)$$

【0175】

乗算器352fは、 $b2\_cal$  と正弦算出器352dの出力とを乗算した値  $Y2$  を出力する。すなわち、 $Y2$  は、以下のように表される。

【0176】

【数61】

$$Y2 = b2\_cal \cdot \sin(2 \cdot \theta_{r\_corr}) \quad (61)$$

【0177】

加算器352gは、乗算器352eの出力  $Y1$  と乗算器352fの出力  $Y2$  とを加算した値  $Y1 + Y2$  を出力する。

【0178】

加算器352hは、 $a0\_cal$  と加算器352gの出力  $Y1 + Y2$  とを加算した値  $C\_corr2$  を出力する。 $C\_corr2$  は、余弦信号  $C(\ )$  の補正值であり、以下のように表される。

【0179】

【数62】

$$\begin{aligned} C\_corr2 &= a0\_cal + Y1 + Y2 \\ &= a0\_cal + a2\_cal \cdot \cos(2 \cdot \theta_{r\_corr}) + b2\_cal \cdot \sin(2 \cdot \theta_{r\_corr}) \end{aligned} \quad (62)$$

10

20

30

40

50

【 0 1 8 0 】

乗算器 3 5 2 i は、 $c2\_cal$  と余弦算出器 3 5 2 c の出力とを乗算した値  $Y3$  を出力する。すなわち、 $Y3$  は以下のように表される。

【 0 1 8 1 】

【数 6 3】

$$Y3 = c2\_cal \cdot \cos(2 \cdot \theta_{r\_corr}) \quad (63)$$

【 0 1 8 2 】

乗算器 3 5 2 j は、 $d2\_cal$  と正弦算出器 3 5 2 d の出力とを乗算した値  $Y4$  を出力する。すなわち、 $Y4$  は以下のように表される。

【 0 1 8 3 】

【数 6 4】

$$Y4 = d2\_cal \cdot \sin(2 \cdot \theta_{r\_corr}) \quad (64)$$

【 0 1 8 4 】

加算器 3 5 2 k は、乗算器 3 5 2 i の出力  $Y3$  と乗算器 3 5 2 j の出力  $Y4$  とを加算した値  $Y3 + Y4$  を出力する。

【 0 1 8 5 】

加算器 3 5 2 l は、 $c0\_cal$  と加算器 3 5 2 k の出力  $Y3 + Y4$  とを加算した値  $S\_corr2$  を出力する。 $S\_corr2$  は、正弦信号  $C(\quad)$  の補正值であり、以下のように表される。

【 0 1 8 6 】

【数 6 5】

$$\begin{aligned} S\_corr2 &= c0\_cal + Y3 + Y4 \\ &= c0\_cal + c2\_cal \cdot \cos(2 \cdot \theta_{r\_corr}) + d2\_cal \cdot \sin(2 \cdot \theta_{r\_corr}) \end{aligned} \quad (65)$$

【 0 1 8 7 】

以下、上記の回転角度検出装置 3 5 0 において、回転角度誤差が抑制される理由について、詳細に説明する。

【 0 1 8 8 】

まず、余弦信号  $C(\quad)$  および正弦信号  $S(\quad)$  が、それぞれ以下のように表されるとする。なお、これらの式 (66)、式 (67) は、実施の形態 1 で示した式 (11)、式 (12) と同じものである。

【 0 1 8 9 】

【数 6 6】

$$C(\theta) = a0 + \cos(\theta) + a2 \cdot \cos(2\theta) + b2 \cdot \sin(2\theta) \quad (66)$$

【数 6 7】

$$S(\theta) = c0 + \sin(\theta) + c2 \cdot \cos(2\theta) + d2 \cdot \sin(2\theta) \quad (67)$$

【 0 1 9 0 】

また、実施の形態 1 で説明したように、 $a0\_cal = a0$ 、 $c0\_cal = c0$ 、 $a1\_cal = a1$ 、 $b1\_cal = b1$ 、 $c1\_cal = c1$ 、 $d1\_cal = d1$  である。

【 0 1 9 1 】

また、上述したように、 $r\_corr = r$  となり、また回転角度信号  $r$  がモータの実際の回転角度 に一致するとすれば、余弦信号  $C(\quad)$  の補正值  $C\_corr2$  および正弦信号  $S(\quad)$  の補正值  $S\_corr2$  は、それぞれ以下ようになる。

【 0 1 9 2 】

10

20

30

40

50

【数 6 8】

$$C\_corr2 = a0 + a2 \cdot \cos(2\theta) + b2 \cdot \sin(2\theta) \quad (68)$$

【数 6 9】

$$S\_corr2 = c0 + c2 \cdot \cos(2\theta) + d2 \cdot \sin(2\theta) \quad (69)$$

【0 1 9 3】

したがって、余弦信号 C ( ) と補正值 C\_corr2 との差分、および正弦信号 S ( ) と補正值 S\_corr2 との差分は、それぞれ以下ようになる。

【0 1 9 4】

【数 7 0】

$$C(\theta) - C\_corr2 = \cos(\theta) \quad (70)$$

【数 7 1】

$$S(\theta) - S\_corr2 = \sin(\theta) \quad (71)$$

【0 1 9 5】

次に、式 ( 5 9 ) に従って、回転角度信号  $r$  を算出すると、以下ようになる。

【0 1 9 6】

【数 7 2】

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{S(\theta) - S\_corr2}{C(\theta) - C\_corr2} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)} \right) = \theta \quad (72)$$

【0 1 9 7】

したがって、回転角度算出部 3 5 5 によって算出される回転角度信号  $r$  は、モータの実際の回転角度 と完全に一致する。

【0 1 9 8】

先述した実施の形態 1 では、余弦信号 C ( ) および正弦信号 S ( ) が、それぞれ式 ( 1 1 )、式 ( 1 2 ) で与えられる場合、式 ( 1 6 ) で示されたように、3 f の回転角度誤差を抑制することができなかった。

【0 1 9 9】

これに対して、本実施の形態 3 では、余弦信号 C ( ) および正弦信号 S ( ) が、それぞれ式 ( 6 6 )、式 ( 6 7 ) で与えられる場合、1 f の回転角度誤差を零にするだけでなく、3 f の回転角度誤差も零にすることができる。

【0 2 0 0】

以上説明したように、本実施の形態 3 の補正值算出部は、回転角度算出部から遅延部を介して入力される 1 演算周期前の回転角度信号にさらに基づいて、補正值を算出する。

【0 2 0 1】

実施の形態 4

図 1 0 は、本発明の実施の形態 4 に係る回転角度検出装置 4 5 0 を含む、回転角度検出システム 4 0 0 の構成を示すブロック図である。

【0 2 0 2】

実施の形態 4 に係る回転角度検出装置 4 5 0 では、 $M + N = 2$  を満たす 0 以上の各整数 M、N について、正弦信号の M 乗と余弦信号の N 乗との積に対して、ローパスフィルタを適用した結果に基づいて、正弦信号および余弦信号に含まれる  $M + N - 1 = 1$  次成分の係数を同定する。

【0 2 0 3】

回転角度検出装置 4 5 0 は、正弦信号 S ( ) と余弦信号 C ( ) との積に基づいて中間信号 T M P 1 を生成する中間信号生成部 4 6 1 と、乗算部 4 6 2 と、加算部 4 6 3 と、回転角度算出部 4 5 5 とを含んでいる。

10

20

30

40

50

## 【0204】

図11に示されるように、中間信号生成部461は、乗算器461aと、ローパスフィルタ(LPF)461bと、乗算器461cとを含んでいる。

## 【0205】

乗算器461aは、正弦信号 $S(\quad)$ と余弦信号 $C(\quad)$ との積 $S(\quad) \cdot C(\quad)$ を算出する。すなわち、 $M + N = 2$ である。

## 【0206】

ローパスフィルタ461bのカットオフ周波数は、正弦信号 $S(\quad)$ および余弦信号 $C(\quad)$ の基本波の周波数の2倍以上の周波数成分を除去する値に設定されている。したがって、ローパスフィルタ461bの出力 $X_{461b}$ は、乗算器461aの出力 $S(\quad) \cdot C(\quad)$ から、これに含まれる正弦信号 $S(\quad)$ および余弦信号 $C(\quad)$ の基本波の周波数の2倍以上の周波数成分が除去された信号になる。

## 【0207】

乗算器461cは、ローパスフィルタ461bの出力 $X_{461b}$ に、 $-2 / (K \cdot K) = -2 / (K^2)$ を乗算する。したがって、乗算器461cの出力、すなわち中間信号生成部461の出力 $TMP1 = (-2 / (K^2)) \cdot X_{461b}$ である。ここで、 $K$ は、正弦信号 $S(\quad)$ または余弦信号 $C(\quad)$ の振幅である。

## 【0208】

なお、 $K$ の求め方としては、事前にオフラインで計測した振幅値を $K$ に設定することができる。あるいは、特許文献1に記載されているように、正弦信号 $S(\quad)$ または余弦信号 $C(\quad)$ の山の値および谷の値を読み込むことによって、オンラインで算出することもできる。

## 【0209】

図10に戻って、中間信号生成部461によって生成された中間信号 $TMP1$ は、乗算部462に入力される。乗算部462では、中間信号 $TMP1$ に正弦信号 $S(\quad)$ が乗算される。したがって、乗算部462の出力 $OUT1 = TMP1 \cdot S(\quad)$ である。

## 【0210】

乗算部462の出力 $OUT1$ は、加算部463に入力される。加算部463では、余弦信号 $C(S)$ と $OUT1$ とが加算される。したがって、加算部463の出力 $C\_corr3(\quad) = C(\quad) + OUT1$ である。

## 【0211】

加算部463の出力 $C\_corr3(\quad) = C(\quad) + OUT1$ は、回転角度算出部455に入力される。また、回転角度算出部455には、正弦信号 $S(\quad)$ も入力される。

## 【0212】

回転角度算出部455は、加算部463の出力 $C\_corr3(\quad) = C(\quad) + OUT1$ および正弦信号 $S(\quad)$ に基づいて、以下の式に従って、回転角度信号 $r$ を算出する。

## 【0213】

## 【数73】

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{S(\theta)}{C\_corr3(\theta)} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{S(\theta)}{C(\theta) + OUT1} \right) \quad (73)$$

## 【0214】

以下、上記の回転角度検出装置450において、回転角度誤差が抑制される理由について、詳細に説明する。

## 【0215】

まず、正弦信号 $S(\quad)$ および余弦信号 $C(\quad)$ が、それぞれ以下のように表されるものとする。

## 【0216】

## 【数74】

$$S(\theta) = K \sin(\theta) \quad (74)$$

10

20

30

40

50

## 【数 7 5】

$$C(\theta) = K \cos(\theta + \alpha) \quad (75)$$

## 【0 2 1 7】

すなわち、正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  との位相差は、 $\quad / 2 + \quad$  [rad] である。そして、余弦信号  $C(\quad)$  に含まれる  $\quad$  によって、正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  との直交性が低下しているものとする。

## 【0 2 1 8】

ここで、正弦信号と余弦信号との直交性について補足説明する。正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  との位相差が 90 度に一致する場合、正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  とは直交している、あるいは直交性があると定義する。一方、正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  との位相差が 90 度に一致しない場合、正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  とは直交していない、あるいは直交性がないと定義する。また、直交性が高いとは、正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  との位相差が 90 度に近いことを意味し、直交性が低いとは、正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  との位相差が 90 度から離れていることを意味する。

10

## 【0 2 1 9】

これらの正弦信号  $S(\quad)$  および余弦信号  $C(\quad)$  がそのまま回転角度算出部 4 5 5 に入力された場合、上記の OUT 1 が 0 であると仮定すると、回転角度信号  $r$  には、モータの実際の回転角度  $\quad$  に対して、 $2f$  の回転角度誤差が生じることになる。この  $2f$  の回転角度誤差を抑制することが、本実施の形態 4 の目的である。

20

## 【0 2 2 0】

ここで、式 (7 5) を展開すると、以下のようになる。

## 【0 2 2 1】

## 【数 7 6】

$$C(\theta) = K \cos(\theta) \cos(\alpha) - K \sin(\theta) \sin(\alpha) \quad (76)$$

## 【0 2 2 2】

ここで、 $\quad$  が十分に小さいと仮定すると、 $\cos(\quad) \approx 1$  と近似できる。したがって、式 (7 5) は以下のように変形することができる。

30

## 【0 2 2 3】

## 【数 7 7】

$$C(\theta) = K \cos(\theta) - K \sin(\theta) \sin(\alpha) \quad (77)$$

## 【0 2 2 4】

この式 (7 7) から、右辺第 2 項を消去することができれば、正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  との直交性が改善されることになる。

## 【0 2 2 5】

回転角度検出装置 4 5 0 における中間信号生成部 4 6 1 および乗算部 4 6 2 の目的は、式 (7 7) の右辺第 2 項を抽出することにある。先述したように、中間信号生成部 4 6 1 では、乗算器 4 6 1 a によって正弦信号  $S(\quad)$  と余弦信号  $C(\quad)$  との積  $S(\quad) \cdot C(\quad)$  が算出される。ここで、 $S(\quad) \cdot C(\quad)$  を展開すると、以下のようになる。

40

## 【0 2 2 6】

## 【数 7 8】

$$S(\theta) \cdot C(\theta)$$

$$= K \sin(\theta) \cdot K \cos(\theta + \alpha)$$

$$= -\frac{1}{2} K^2 \sin(\alpha) + \frac{1}{2} K^2 \sin(2\theta) \sin(\alpha) + \frac{1}{2} K^2 \cos(2\theta) \sin(\alpha) \quad (78)$$

50

## 【 0 2 2 7 】

式 ( 7 8 ) において、右辺第 1 項は で定まる直流項である。また、右辺第 2 項および第 3 項は、正弦信号  $S ( )$  および余弦信号  $( )$  の基本波の周波数の 2 倍の周波数で振動する  $\sin ( 2 )$  および  $\cos ( 2 )$  を含んでいる。

## 【 0 2 2 8 】

式 ( 7 8 ) の信号をローパスフィルタ 4 6 1 b に通すと、式 ( 7 8 ) の右辺第 2 項および第 3 項が除去されるため、その出力  $X_{461b}$  は、以下ようになる。

## 【 0 2 2 9 】

## 【数 7 9】

$$X_{461b} = -\frac{1}{2}K^2\sin(\alpha) \quad (79)$$

10

## 【 0 2 3 0 】

式 ( 7 9 ) の信号を乗算器 4 6 1 c に通すと、その出力  $TMP1$  は、以下ようになる。

## 【 0 2 3 1 】

## 【数 8 0】

$$TMP1 = \sin(\alpha) \quad (80)$$

## 【 0 2 3 2 】

式 ( 8 0 ) の中間信号  $TMP1$  を回転角度検出装置 4 5 0 の乗算部 4 6 2 に通すと、その出力  $OUT1$  は、以下ようになる。

20

## 【 0 2 3 3 】

## 【数 8 1】

$$OUT1 = \sin(\alpha) \cdot K\sin(\theta) \quad (81)$$

## 【 0 2 3 4 】

式 ( 8 1 ) の - 1 倍は、式 ( 7 7 ) の右辺第 2 項に一致することがわかる。

## 【 0 2 3 5 】

回転角度検出装置 4 5 0 の加算部 4 6 3 では、以下の演算が実施される。

## 【 0 2 3 6 】

## 【数 8 2】

$$\begin{aligned} C_{corr3}(\theta) &= C(\theta) + OUT1 \\ &= K\cos(\theta + \alpha) + \sin(\alpha)K\sin(\theta) \\ &= K\cos(\theta) \end{aligned} \quad (82)$$

30

## 【 0 2 3 7 】

先述したように、式 ( 7 4 ) の正弦信号  $S ( )$  と式 ( 7 5 ) の余弦信号  $C ( )$  とは直交していなかったが、上記の演算によって、式 ( 7 7 ) の右辺第 2 項が除去される。その結果、回転角度算出部 4 5 5 には、式 ( 7 4 ) の正弦信号  $S ( )$  と、これに直交する式 ( 8 2 ) の信号とが入力されることになる。

40

## 【 0 2 3 8 】

回転角度算出部 4 5 5 では、以下の演算が実施され、 $2f$  の回転角度誤差が抑制される。

## 【 0 2 3 9 】

## 【数 8 3】

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{S(\theta)}{C_{corr3}(\theta)} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{K\sin(\theta)}{K\cos(\theta)} \right) \quad (83)$$

## 【 0 2 4 0 】

なお、上記の回転角度検出装置 4 5 0 の構成は、正弦信号  $S ( )$  と余弦信号  $C ( )$  と

50

の積  $S(\ ) \cdot C(\ )$  に基づいて中間信号  $TMP1$  を生成し、中間信号  $TMP1$  に正弦信号  $S(\ )$  を乗算し、この乗算結果  $OUT1$  と余弦信号  $C(\ )$  とを加算するものであった。

【0241】

しかしながら、本実施の形態4の構成は、これに限定されるものではない。例えば、正弦信号  $S(\ )$  および余弦信号  $C(\ )$  を、それぞれ以下のように表すこともできる。

【0242】

【数84】

$$S(\theta) = K\sin(\theta + \alpha) \quad (84)$$

10

【数85】

$$C(\theta) = K\cos(\theta) \quad (85)$$

【0243】

この場合、回転角度検出装置450の構成は、正弦信号  $S(\ )$  と余弦信号  $C(\ )$  との積  $S(\ ) \cdot C(\ )$  に基づいて中間信号  $TMP1$  を生成し、中間信号  $TMP1$  に余弦信号  $C(\ )$  を乗算し、この乗算結果  $OUT1$  を正弦信号  $S(\ )$  から減算するものとすることができる。

【0244】

以上をまとめると、本発明の実施の形態4に係る回転角度検出装置は、回転体の回転角度に基づく正弦信号と余弦信号との積に基づいて、中間信号を生成する中間信号生成部と、中間信号に正弦信号および余弦信号のいずれか一方を乗算する乗算部と、正弦信号および余弦信号のいずれか他方と乗算部の出力とを加算するか、または正弦信号および余弦信号のいずれか他方から乗算部の出力を減算する、加減算部と、正弦信号および余弦信号のいずれか一方並びに加減算部の出力に基づいて、回転体の回転角度を算出する回転角度算出部とを備えている。

20

【0245】

また、中間信号生成部は、正弦信号と余弦信号との積を算出する乗算器と、乗算器の出力から、正弦信号および余弦信号の基本波の周波数の2倍以上の周波数成分を除去するローパスフィルタとを含んでいる。

30

【0246】

実施の形態5

図12は、本発明の実施の形態5に係る電動パワーステアリング装置500の構成を示すブロック図である。

【0247】

実施の形態5に係る電動パワーステアリング装置500は、実施の形態1に係る回転角度検出システム100から出力される回転角度信号  $r$  に基づいて、車両のステアリング系の操舵トルクを補助するアシストトルクを発生させる。

【0248】

電動パワーステアリング装置500は、回転角度検出システム100と、ハンドル501と、前輪502と、ギア503と、トルク検出器504と、電圧指令生成装置506と、交流モータ507とを備えている。

40

【0249】

交流モータ507は、ギア503を介して、ステアリング系の操舵トルクを補助するアシストトルクを発生させる。

【0250】

回転角度検出システム100は、交流モータ507の回転角度を検出して、回転角度信号  $r$  を出力する。

【0251】

車両の運転手は、ハンドル501を操作することによって、前輪502の操舵を行う。

50

## 【0252】

トルク検出器504は、ステアリング系の操舵トルク $T_s$ を検出する。

## 【0253】

電圧指令生成装置506は、トルク検出器504によって検出される操舵トルク $T_s$ と、回転角度検出システム100から出力される回転角度信号 $r$ とに基づいて、交流モータ507に印加する駆動電圧 $V$ を決定する。

## 【0254】

詳細には、まず、電圧指令生成装置506は、操舵トルク $T_s$ に基づいて、交流モータ507の電流指令値を算出する。次に、電圧指令生成装置506は、電流指令値と回転角度信号 $r$ に基づいて、電圧指令値を算出する。最後に、電圧指令生成装置506は、電圧指令値に基づいて、インバータ等の電力変換器を制御することによって、交流モータ507に印加する駆動電圧 $V$ を決定する。

## 【0255】

上記の制御を実現するためには、例えば、交流モータ507に流れる電流を検出する電流センサを別途設け、電流指令値と電流センサの検出値との偏差に基づいて、電圧指令値を演算する等の公知技術を用いればよい。

## 【0256】

一般に、電動パワーステアリング装置においては、交流モータ507の回転角度の検出精度が重要である。

## 【0257】

例えば、回転角度検出システム100から出力される回転角度信号 $r$ と交流モータ507の実際の回転角度 $\theta$ との間に、 $2f$ の回転角度誤差が生じたと仮定する。この場合、電圧指令生成装置506は、 $2f$ の回転角度誤差を含む駆動電圧 $V$ を交流モータに印加してしまう。その結果、交流モータ507の発生させるトルクに $2f$ の回転角度誤差の成分が混入してしまい、リップル、振動、異音等が発生する。

## 【0258】

したがって、電動パワーステアリング装置においては、回転角度検出システム100から出力される回転角度信号 $r$ の精度が非常に重要である。本実施の形態5では、実施の形態1に係る回転角度検出システム100を用いることによって、回転角度信号 $r$ を高精度に算出することができる。

## 【0259】

なお、実施の形態1に係る回転角度検出システム100の代わりに、実施の形態2~4に係る回転角度検出システムを用いても、本実施の形態5と同等またはそれ以上の効果を得ることができる。

## 【0260】

また、上記の実施の形態1~5では、モータの回転角度を検出する手段として、レゾルバを用いていた。しかしながら、実施の形態1~5の適用可能な範囲は、これに限定されるものではない。モータの回転角度に対応する正弦信号および余弦信号を出力する他の検出手段、例えば、MRセンサ、エンコーダ等に対しても、実施の形態1~5を同様に適用することができる。

## 【0261】

また、上述した実施の形態1~5に係る回転角度検出装置における各機能は、処理回路によって実現される。各機能を実現する処理回路は、専用のハードウェアであってもよく、メモリに格納されるプログラムを実行するプロセッサであってもよい。図13は、本発明の実施の形態1~5に係る回転角度検出装置の各機能を専用のハードウェアである処理回路1000で実現する場合を示した構成図である。また、図14は、本発明の実施の形態1~5に係る回転角度検出装置の各機能をプロセッサ2001およびメモリ2002を備えた処理回路2000により実現する場合を示した構成図である。

## 【0262】

処理回路が専用のハードウェアである場合、処理回路1000は、例えば、単一路、複

10

20

30

40

50

合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、またはこれらを組み合わせたものが該当する。回転角度検出装置の各部の機能それぞれを個別の処理回路1000で実現してもよいし、各部の機能をまとめて処理回路1000で実現してもよい。

【0263】

一方、処理回路がプロセッサ2001の場合、回転角度検出装置の各部の機能は、ソフトウェア、ファームウェア、またはソフトウェアとファームウェアとの組み合わせにより実現される。ソフトウェアおよびファームウェアは、プログラムとして記述され、メモリ2002に格納される。プロセッサ2001は、メモリ2002に記憶されたプログラムを読み出して実行することにより、各部の機能を実現する。すなわち、回転角度検出装置は、処理回路2000により実行されるときに、上述した各制御が結果的に実行されることになるプログラムを格納するためのメモリ2002を備える。

10

【0264】

これらのプログラムは、上述した各部の手順あるいは方法をコンピュータに実行させるものであるともいえる。ここで、メモリ2002とは、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory)等の、不揮発性または揮発性の半導体メモリが該当する。また、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、DVD等も、メモリ2002に該当する。

20

【0265】

なお、上述した各部の機能について、一部を専用のハードウェアで実現し、一部をソフトウェアまたはファームウェアで実現するようにしてもよい。

【0266】

このように、処理回路は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはこれらの組み合わせによって、上述した各部の機能を実現することができる。

【符号の説明】

30

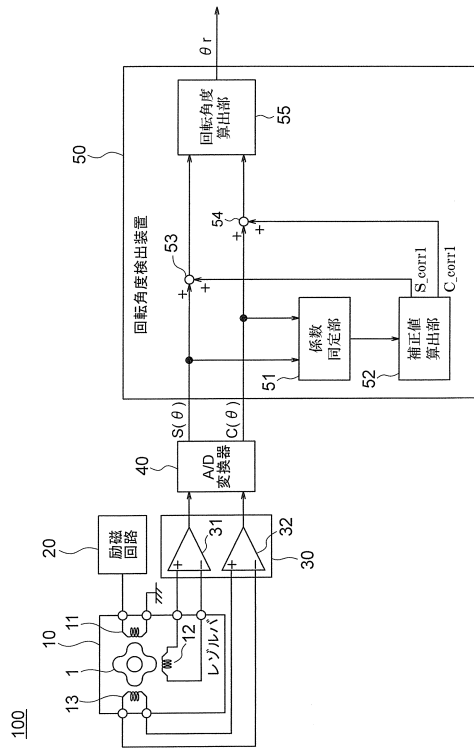
【0267】

50, 250, 350, 450 回転角度検出装置、51, 251 係数同定部、52, 252, 352 補正值算出部、55, 255, 355, 455 回転角度算出部、360 遅延部、461 中間信号生成部、462 乗算部、463 加算部(加減算部)、500 電動パワーステアリング装置、507 交流モータ(回転体)、S( ) 正弦信号、C( ) 余弦信号、r 回転角度信号。

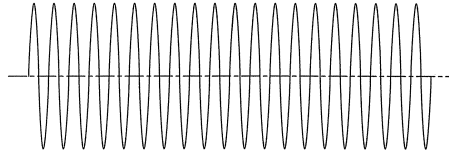
40

50

【図面】  
【図 1】



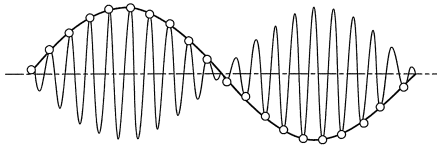
【図 2】



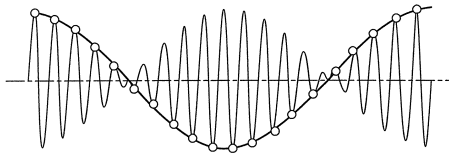
10

20

【図 3】



【図 4】

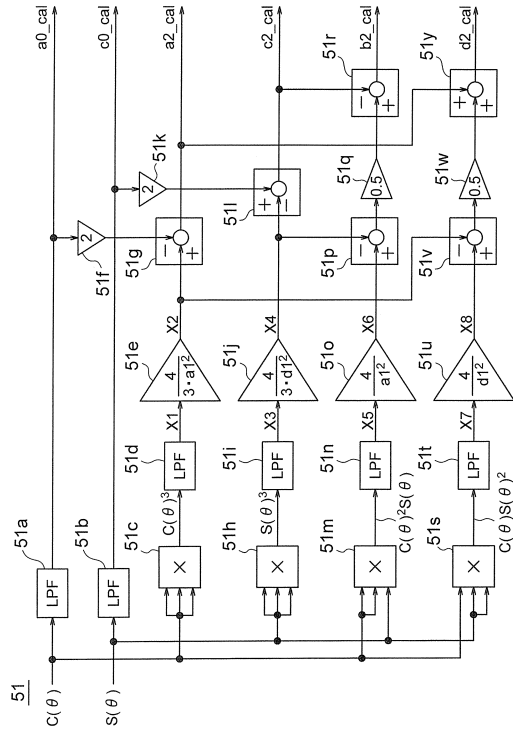


30

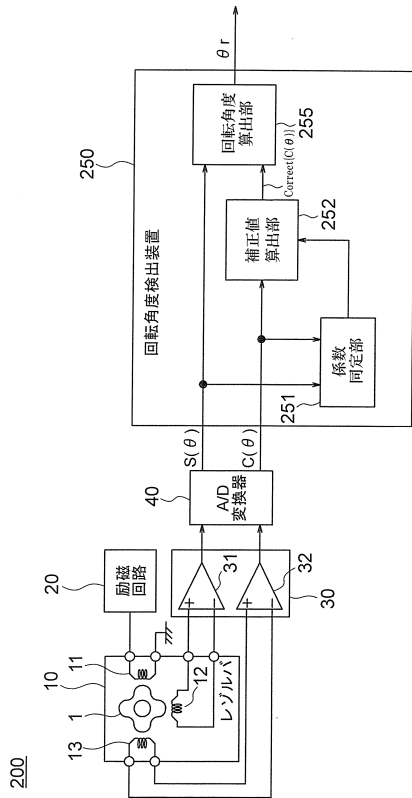
40

50

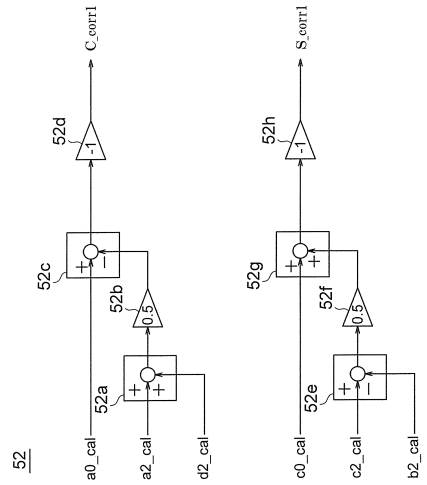
【図 5】



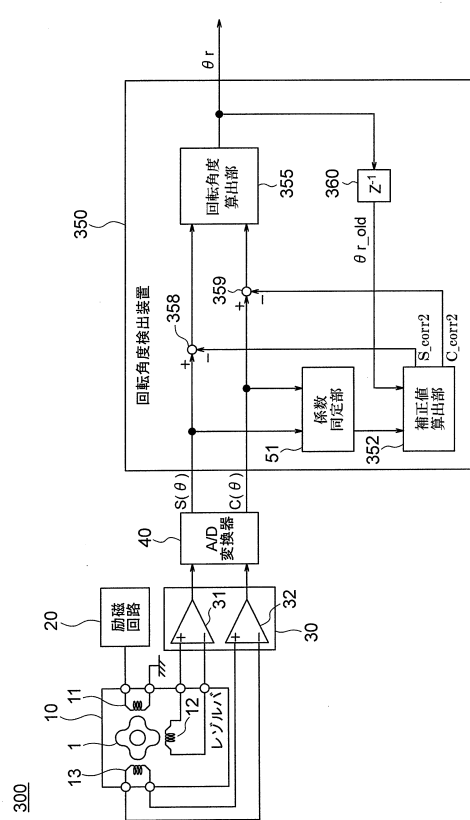
【図 7】



【図 6】



【図 8】



10

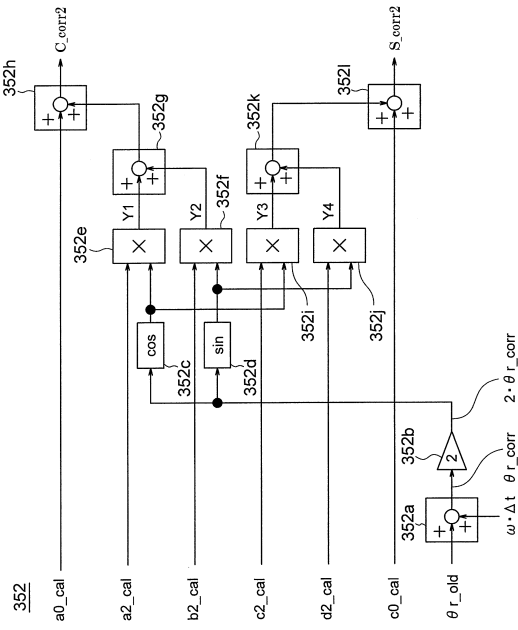
20

30

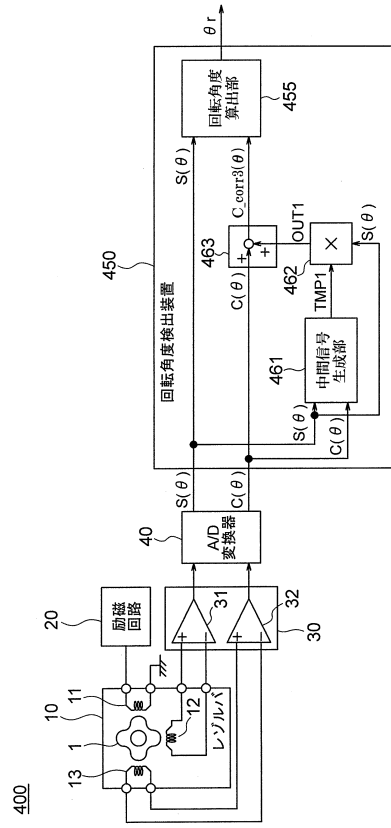
40

50

【図 9】



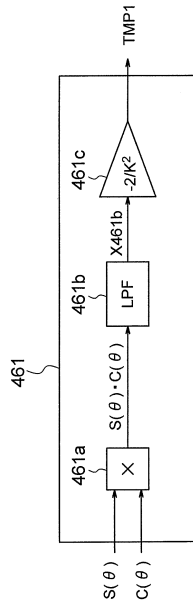
【図 10】



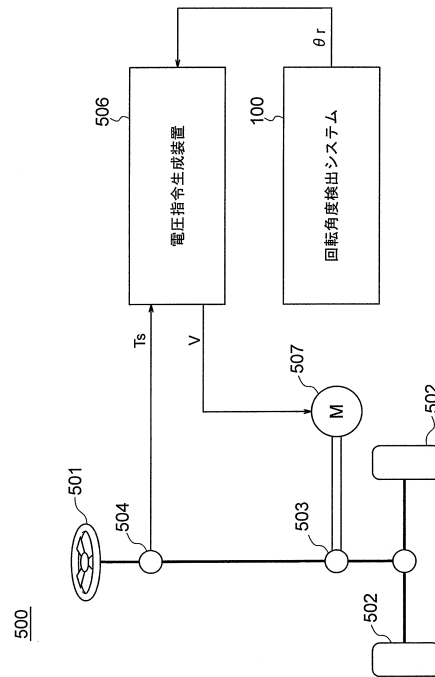
10

20

【図 11】



【図 12】

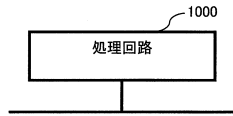


30

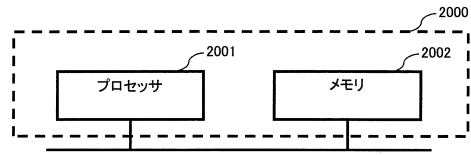
40

50

【図 13】



【図 14】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

三菱電機株式会社内

(72)発明者 古川 晃

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 吉田 久

- (56)参考文献 特開2017-32394(JP,A)  
特開2013-205366(JP,A)  
特開2014-32105(JP,A)  
国際公開第2017/090146(WO,A1)  
特開昭59-148812(JP,A)  
特開2013-101023(JP,A)  
米国特許出願公開第2004/0019446(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
G01D 5/00 - 5/38  
G01B 7/00 - 7/34  
B62D 6/00、5/04、  
119/00