

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5115610号
(P5115610)

(45) 発行日 平成25年1月9日(2013.1.9)

(24) 登録日 平成24年10月26日(2012.10.26)

(51) Int.Cl. F 1
GO 1 D 5/244 (2006.01) GO 1 D 5/244 J

請求項の数 7 (全 26 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-212909 (P2010-212909) (22) 出願日 平成22年9月23日 (2010. 9. 23) (65) 公開番号 特開2012-68114 (P2012-68114A) (43) 公開日 平成24年4月5日 (2012. 4. 5) 審査請求日 平成24年1月25日 (2012. 1. 25)</p>	<p>(73) 特許権者 000004260 株式会社デンソー 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 (74) 代理人 100093779 弁理士 服部 雅紀 (72) 発明者 佐藤 孝文 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内 (72) 発明者 瓜生 信彦 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内 審査官 井上 昌宏</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転角検出装置、および、これを用いた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】

被検出部の回転に応じて変化する回転磁界を感知し前記被検出部の回転角度に応じてインピーダンスが変化するセンサ素子により構成される複数のセンサ素子組を有する回路部と、

複数の前記センサ素子組から出力される出力信号を前記センサ素子組毎に取得する出力信号取得手段と、

前記出力信号取得手段により取得された前記出力信号に基づき、前記被検出部の補正前回転角度を算出する補正前回転角度算出手段と、

前記出力信号取得手段により取得された前記出力信号に基づき、前記出力信号間の位相ずれを補正するための位相補正值を算出する位相補正值算出手段と、

前記位相補正值算出手段により算出された前記位相補正值を記憶する記憶部と、

前記記憶部に記憶された前記位相補正值を取得し、取得された前記位相補正值に基づき、前記補正前回転角度算出手段により算出された前記補正前回転角度を補正する補正手段と、

を備え、

前記出力信号取得手段により取得される前記出力信号は、位相の異なる複数の信号である \cos 信号および \sin 信号を含み、

前記位相補正值算出手段は、前記 \cos 信号と前記 \sin 信号の加算値および減算値に基づいて前記位相補正值を算出することを特徴とする回転角検出装置。

10

20

【請求項 2】

前記出力信号取得手段により取得される前記出力信号は、4以上であることを特徴とする請求項1に記載の回転角検出装置。

【請求項 3】

前記出力信号取得手段により取得される前記出力信号は、+cos信号、-cos信号、+sin信号、および-sin信号を含むことを特徴とする請求項2に記載の回転角検出装置。

【請求項 4】

前記補正前回転角度算出手段は、前記+cos信号、前記-cos信号、前記+sin信号、および、前記-sin信号に基づいて前記補正前回転角度を算出し、

10

前記位相補正值算出手段は、前記+cos信号、前記-cos信号、前記+sin信号、および、前記-sin信号に基づいて前記位相補正值を算出することを特徴とする請求項3に記載の回転角検出装置。

【請求項 5】

前記補正前回転角度算出手段は、前記+cos信号または前記-cos信号に基づいて前記補正前回転角度を算出し、

前記位相補正值算出手段は、前記+cos信号または前記-cos信号に基づいて前記位相補正值を算出することを特徴とする請求項3または4に記載の回転角検出装置。

【請求項 6】

前記補正前回転角度算出手段は、前記+sin信号または前記-sin信号に基づいて前記補正前回転角度を算出し、

20

前記位相補正值算出手段は、前記+sin信号または前記-sin信号に基づいて前記位相補正值を算出することを特徴とする請求項3~5のいずれか一項に記載の回転角検出装置。

【請求項 7】

請求項1~6のいずれか一項に記載された回転角検出装置を用いた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】

【0001】

30

本発明は、回転部材の回転角度を検出する回転角検出装置、および、これを用いた電動パワーステアリング装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、回転部材の回転角度を検出する回転角検出装置が知られている。回転角検出装置では、センサ素子から出力される出力信号に基づいて回転角度を算出している。ところで、例えば出力信号がcos信号およびsin信号である場合、回転角度を高精度に検出するためには、センサ素子から出力されるcos信号とsin信号との位相差が90度であることが要求される。そのためには、cos信号を出力するセンサ素子の磁化方向と、sin信号を出力するセンサ素子の磁化方向とが、互いに90度ずれるように実装する必要がある。しかしながら、磁化方向は目視によって確認することができないため、磁化方向が正確に90度ずれるようにセンサ素子を実装することは困難である。そこで、特許文献1では、位相補正前回転角度から三角関数の近似式を減算することにより、センサ素子の実装ずれを補正し、高精度に回転角度を算出している。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第4194484号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0004】

しかしながら、特許文献1では、位相を補正するための三角関数の近似式を算出する際に、外部から正しい回転角度を測定する必要がある。したがって、特許文献1では、回転角度を測定するための外部装置が必須であった。また特許文献1では、回転角度の算出に用いる信号数が増えた場合、信号数の組み合わせの数だけ補正に用いる三角関数を記憶する必要があり、メモリ部の容量の増加が懸念される。

本発明は、上述の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、高精度に被検出部の回転角度を検出可能な回転角検出装置、および、これを用いた電動パワーステアリング装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

10

【0005】

請求項1に記載の回転角検出装置は、回路部と、出力信号取得手段と、補正前回転角度算出手段と、位相補正值算出手段と、記憶部と、補正手段と、を備える。回路部は、被検出部の回転に応じて変化する回転磁界を感知し被検出部の回転角度に応じてインピーダンスが変化するセンサ素子により構成される複数のセンサ素子組を有する。出力信号取得手段は、複数のセンサ素子組から出力される出力信号をセンサ素子組毎に取得する。すなわち、出力信号取得手段は、複数の出力信号を取得する。ここで、出力信号取得手段により取得される出力信号は、位相の異なる複数の信号である \cos 信号および \sin 信号を含んでいる。補正前回転角度算出手段は、出力信号取得手段により取得された出力信号に基づき、被検出部の補正前回転角度を算出する。位相補正值算出手段は、出力信号取得手段により取得された出力信号に基づき、出力信号間の位相ずれを補正するための位相補正值を算出する。記憶部は、位相補正值算出手段により算出された位相補正值を記憶する。補正手段は、記憶部に記憶された位相補正值を取得し、取得された位相補正值に基づき、補正前回転角度算出手段により算出された補正前回転角度を補正する。また、位相補正值算出手段は、 \cos 信号と \sin 信号の加算値および減算値に基づいて位相補正值を算出する。

20

【0006】

これにより、位相補正值に基づいて補正前回転角度を補正するので、高精度に被検出部の回転角度を算出することができる。また、出力信号取得手段により取得された出力信号に基づいて位相ずれを補正するための位相補正值を算出するので、外部からの正しい回転角度の測定が不要である。

30

なお、「位相の異なる信号」とは、出力信号間における位相差が所定の値、例えば90度、である信号のことをいう。また、「位相ずれ」とは、例えばセンサ素子の実装ずれ等に起因する出力信号間の位相差の上記所定の値からの「ずれ」のことをいう。

【0007】

請求項2に記載の発明では、出力信号取得手段により取得される出力信号は、4以上である。これにより、出力信号の一部に異常が生じた場合でも、被検出部の回転角度の検出を継続することができる。

【0008】

請求項3に記載の発明では、出力信号取得手段により取得される出力信号は、 $+\cos$ 信号、 $-\cos$ 信号、 $+\sin$ 信号、および、 $-\sin$ 信号を含む。なお、 $+\cos$ 信号および $-\cos$ 信号が「 \cos 信号」に対応し、 $+\sin$ 信号および $-\sin$ 信号が「 \sin 信号」に対応する。これにより、出力信号の一部に異常が生じた場合でも、 $+\cos$ 信号または $-\cos$ 信号のいずれか一方、および、 $+\sin$ 信号または $-\sin$ 信号のいずれか一方が正常であれば、被検出部の回転角度の検出を継続することができる。

40

【0009】

請求項4に記載の発明では、補正前回転角度算出手段は、 $+\cos$ 信号、 $-\cos$ 信号、 $+\sin$ 信号、および、 $-\sin$ 信号に基づいて補正前回転角度を算出する。また、位相補正值算出手段は、 $+\cos$ 信号、 $-\cos$ 信号、 $+\sin$ 信号、および、 $-\sin$ 信号に基づいて位相補正值を算出する。例えば $+\cos$ 信号から $-\cos$ 信号を減算し、+

50

\sin 信号から $-\sin$ 信号を減算し、センサ誤差等を消去した \cos 信号および \sin 信号に基づいて補正前回転角度および位相補正值を算出することができるので、より高精度に被検出部の回転角度を算出することができる。

【0010】

請求項5に記載の発明では、補正前回転角度算出手段は、 $+\cos$ 信号または $-\cos$ 信号に基づいて補正前回転角度を算出する。また、位相補正值算出手段は、 $+\cos$ 信号または $-\cos$ 信号に基づいて位相補正值を算出する。これにより、 $+\cos$ 信号または $-\cos$ 信号に異常が生じた場合でも、異常が生じていない $+\cos$ 信号または $-\cos$ 信号に基づいて補正前回転角度を算出し、異常が生じていない $+\cos$ 信号または $-\cos$ 信号に基づいて算出された位相補正值に基づいて補正前回転角度を補正することにより、高精度に被検出部の回転角度を算出することができる。

10

【0011】

請求項6に記載の発明では、補正前回転角度算出手段は、 $+\sin$ 信号または $-\sin$ 信号に基づいて補正前回転角度を算出する。また、位相補正值算出手段は、 $+\sin$ 信号または $-\sin$ 信号に基づいて位相補正值を算出する。これにより、 $+\sin$ 信号または $-\sin$ 信号に異常が生じた場合でも、異常が生じていない $+\sin$ 信号または $-\sin$ 信号に基づいて補正前回転角度を算出し、異常が生じていない $+\sin$ 信号または $-\sin$ 信号に基づいて算出された位相補正值に基づいて補正前回転角度を補正することにより、高精度に被検出部の回転角度を算出することができる。

20

【0012】

請求項7に記載の発明は、請求項1～6のいずれか一項に記載された回転角検出装置を用いた電動パワーステアリング装置である。これにより、電動パワーステアリング装置のモータ回転角を高精度に算出ことができ、電動パワーステアリング装置の駆動をより精度よく制御することができる。また例えば請求項2～6の構成を採用すれば、出力信号の一部に異常が生じた場合でも、出力信号間の位相ずれを補正して高精度に回転角度を算出し、電動パワーステアリング装置の駆動を継続することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の一実施形態によるステアリングシステムの構成を示す模式図である。

【図2】本発明の一実施形態によるモータの構成を示す模式的な断面図である。

30

【図3】本発明の一実施形態による回転角検出装置の回路構成を示す回路図である。

【図4】本発明の一実施形態による \cos 信号および \sin 信号を説明する説明図である。

【図5】本発明の一実施形態による位相補正值算出処理を説明するフローチャートである。

【図6】本発明の一実施形態による回転角検出処理を説明するフローチャートである。

【図7】本発明の一実施形態による回転角検出処理を説明するフローチャートである。

【図8】本発明の一実施形態による被検出部の回転角度の算出に係り、角度範囲の分割を説明する説明図であって、 \sin 信号および \cos 信号を説明する図である。

【図9】本発明の一実施形態による被検出部の回転角度の算出方法を説明する説明図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明による回転角検出装置を図面に基づいて説明する。

(一実施形態)

図1に示すように、本発明の一実施形態による回転角検出装置10は、車両のステアリング操作をアシストするための電動パワーステアリング装置1(以下、適宜「EPS」という。)に適用される。

【0015】

図1は、電動パワーステアリング装置1を備えたステアリングシステム90の全体構成

50

を示す図である。ステアリングホイール 9 1 に接続されたステアリングシャフト 9 2 には、ステアリングセンサ 9 4 およびトルクセンサ 9 5 が設けられている。ステアリングセンサ 9 4 は、ステアリングシャフト 9 2 の回転角を検出する。トルクセンサ 9 5 は、ステアリングホイール 9 1 に加えられた操舵トルクを検出する。ステアリングシャフト 9 2 の先端は、ギア 9 6 を介してラック軸 9 7 に連結されている。ラック軸 9 7 の両端には、タイロッド等を介して一对のタイヤ（ホイール）9 8 がそれぞれ連結されている。ステアリングシャフト 9 2 の回転運動は、ギア 9 6 によってラック軸 9 7 の直線運動に変換され、ラック軸 9 7 の直線運動変位に応じた角度分、左右のタイヤ 9 8 が転舵される。

【 0 0 1 6 】

電動パワーステアリング装置 1 は、補助操舵トルクを発生するモータ 8 0、モータ 8 0 の回転角度を検出する回転角検出装置 1 0、及び、モータ 8 0 の回転を減速してステアリングシャフト 9 2 に伝達するギア 8 9 等を備える。モータ 8 0 は、ギア 8 9 を正逆回転させる三相ブラシレスモータである。電動パワーステアリング装置 1 は、ステアリングホイール 9 1 の操舵方向および操舵トルクに応じた操舵補助トルクをステアリングシャフト 9 2 に伝達する。

【 0 0 1 7 】

モータ 8 0 の概略構成を、図 2 に示す。モータ 8 0 は、ステータ 8 1、ロータ 8 2、および、シャフト 8 3 等を有している。ロータ 8 2 は、シャフト 8 3 とともに回転する筒状の部材であり、その表面に永久磁石が貼り付けられ、磁極を有している。ステータ 8 1 は、その内部にロータ 8 2 を相対回転可能に収容している。ステータ 8 1 は、径内方向へ所定角度毎に突出する突出部を有し、この突出部にコイル 8 4 が巻回されている。コイル 8 4 への通電によって生じる磁界を受けて、ロータ 8 2 はシャフト 8 3 とともに回転する。ステータ 8 1、ロータ 8 2、シャフト 8 3、および、コイル 8 4 は、ハウジング 8 5 に収容される。シャフト 8 3 は、ハウジング 8 5 の両端から突出し、カバー 8 6 側の端部に被検出部 8 7 を有する。被検出部 8 7 は、円板状に形成される 2 極磁石であり、シャフト 8 3 と一体となって回転する。カバー 8 6 の被検出部 8 7 と対向する位置には、回転角検出装置 1 0 が設けられる。本実施形態では、回転角検出装置 1 0 は、カバー 8 6 の一箇所に設けられているが、複数箇所に設けるように構成してもよい。回転角検出装置 1 0 は、ロータ 8 2 およびシャフト 8 3 と一体となって回転する被検出部 8 7 の回転角度を検出する。

【 0 0 1 8 】

回転角検出装置 1 0 の回路構成を、図 3 に示す。図 3 に示すように、回転角検出装置 1 0 は、第 1 ブリッジ回路 1 1、第 2 ブリッジ回路 1 2、増幅部 4 0、マイコン 5 0 等を有している。なお、第 1 ブリッジ回路 1 1 および第 2 ブリッジ回路 1 2 が「回路部」に対応している。

第 1 ブリッジ回路 1 1 は、第 1 ハーフブリッジ 1 4 および第 2 ハーフブリッジ 1 5 を有する。第 1 ハーフブリッジ 1 4 は、2 つのセンサ素子 2 1、2 2 から構成される。センサ素子 2 1、2 2 の接続点である中点 3 1 は、増幅部 4 0 の第 1 オペアンプ 4 1 に接続する。第 2 ハーフブリッジ 1 5 は、2 つのセンサ素子 2 3、2 4 から構成される。センサ素子 2 3、2 4 の接続点である中点 3 2 は、増幅部 4 0 の第 2 オペアンプ 4 2 に接続する。

第 2 ブリッジ回路 1 2 は、第 3 ハーフブリッジ 1 6 および第 4 ハーフブリッジ 1 7 を有する。第 3 ハーフブリッジ 1 6 は、2 つのセンサ素子 2 5、2 6 から構成される。センサ素子 2 5、2 6 の接続点である中点 3 3 は、増幅部 4 0 の第 3 オペアンプ 4 3 に接続する。第 4 ハーフブリッジ 1 7 は、2 つのセンサ素子 2 7、2 8 から構成される。センサ素子 2 7、2 8 の接続点である中点 3 4 は、増幅部 4 0 の第 4 オペアンプ 4 4 に接続する。

【 0 0 1 9 】

本実施形態のセンサ素子 2 1 ~ 2 8 は、いずれも被検出部 8 7 の回転に応じて変化する回転磁界によりインピーダンスが変化する磁気抵抗素子である。磁気抵抗素子としては、例えば GMR 素子が好適に用いられる。

なお、ハーフブリッジ 1 4 ~ 1 7 のそれぞれが「センサ素子組」に対応している。本実

10

20

30

40

50

施形態では、1つの出力信号を出力するセンサ素子組を便宜上、「ハーフブリッジ」としているが、ブリッジ回路を構成するセンサ素子組は、2組に限定されることはなく、また、センサ素子組を構成するセンサ素子数も2つに限定されることはない。

【0020】

第1ハーフブリッジ14および第3ハーフブリッジ16と、第2ハーフブリッジ15および第4ハーフブリッジ17とは、その磁化方向が概ね90度ずれるようにセンサ素子21~28が実装されている。本実施形態では、第1ハーフブリッジ14の midpoint 31および第3ハーフブリッジ16の midpoint 33からはcos信号が出力され、第2ハーフブリッジ15の midpoint 32および第4ハーフブリッジ17の midpoint 34からはsin信号が出力される。

【0021】

cos信号を出力する第1ハーフブリッジ14およびsin信号を出力する第2ハーフブリッジ15からなる第1ブリッジ回路11と、cos信号を出力する第3ハーフブリッジ16およびsin信号を出力する第4ハーフブリッジ17からなる第2ブリッジ回路12とは、それぞれ別々の電源に接続されている。これにより、一方のブリッジ回路が故障したとしても、他方のブリッジ回路から出力されるcos信号およびsin信号を用いて被検出部87の回転角度の算出を継続することができる。

【0022】

増幅部40は、第1オペアンプ41、第2オペアンプ42、第3オペアンプ43、および第4オペアンプ44を有する。

第1オペアンプ41は、第1ハーフブリッジ14の midpoint 31から出力される信号を増幅し、+cos信号である出力信号 V_{x1} をマイコン50に出力する。第2オペアンプ42は、第2ハーフブリッジ15の midpoint 32から出力される信号を増幅し、+sin信号である出力信号 V_{y1} をマイコン50に出力する。第3オペアンプ43は、第3ハーフブリッジ16の midpoint 33から出力される信号を増幅し、-cos信号である出力信号 V_{x2} をマイコン50に出力する。第4オペアンプ44は、第4ハーフブリッジ17の midpoint 34から出力される信号を増幅し、-sin信号である出力信号 V_{y2} をマイコン50に出力する。

【0023】

回転角検出装置10の電源電圧 V_{cc} が5[V]である場合、増幅部40にて増幅され、マイコン50に出力される4つの出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} は、以下の式(1)~(4)で表される。

$$V_{x1} = \cos + 2.5 \quad \dots (1)$$

$$V_{x2} = -\cos + 2.5 \quad \dots (2)$$

$$V_{y1} = \sin + 2.5 \quad \dots (3)$$

$$V_{y2} = -\sin + 2.5 \quad \dots (4)$$

【0024】

以下、cos信号である出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} を、適宜「(+)cos信号 V_{x1} 」、「(-)cos信号 V_{x2} 」という。同様に、sin信号である出力信号 V_{y1} 、 V_{y2} を、適宜「(+)sin信号 V_{y1} 」、「(-)sin信号 V_{y2} 」という。

【0025】

マイコン50は、制御部51および記憶部としてのメモリ部52を有する。制御部51は、位相補正值算出処理、補正前回転角度算出処理、補正処理等の各種演算処理を実行する。メモリ部52は、制御部51にて算出された位相補正值等を記憶するためのものである。なお、本実施形態においては、ハーフブリッジ14~17のそれぞれの midpoint 31~34から出力される出力信号は、いずれも別個に増幅部40にて増幅された後に制御部51に入力されている。すなわち、本実施形態では、制御部51が出力信号を取得する前の段階において、出力信号同士の加算処理或いは差動増幅処理等がなされていない。

【0026】

ここで、cos信号およびsin信号について、図4に基づいて説明する。なお、図4中には、cos信号およびsin信号の1周期分を示した。

第1ハーフブリッジ14および第3ハーフブリッジ16の磁化方向と、第2ハーフブリ

10

20

30

40

50

リッジ 15 および第 4 ハーフブリッジ 17 の磁化方向とのなす角度が 90 度となるようにセンサ素子 21 ~ 28 が配置されているとき、第 1 ハーフブリッジ 14 および第 3 ハーフブリッジ 16 から出力される \cos 信号と、第 2 ハーフブリッジ 15 および第 4 ハーフブリッジ 17 から出力される \sin 信号との位相差は 90 度となる。しかしながら、磁化方向は目視で確認できないため、第 1 ハーフブリッジ 14 および第 3 ハーフブリッジ 16 の磁化方向と、第 2 ハーフブリッジ 15 および第 4 ハーフブリッジ 17 の磁化方向とのなす角度が正確に 90 度となるように実装することは困難である。そのため、実際には図 4 に示すように、 \cos 信号と \sin 信号との位相差は、 $90 \pm$ となる。以下、 \cos 信号を基準とし、 \cos 信号と \sin 信号との位相差から 90 度を減じた差分値 θ を、「位相ずれ」ということにする。具体的には、 \cos 信号と \sin 信号との位相差が 89 度である場合、位相ずれ θ は -1 度であり、 \cos 信号と \sin 信号との位相差が 91 度である場合、位相ずれ θ は +1 度であるといった具合である。

【0027】

本実施形態では、位相ずれ θ を補正するための位相補正值 θ_c を、出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} に基づいて算出している。

ここで、位相補正值 θ_c を算出する位相補正值算出処理を図 5 に示すフローチャートに基づいて説明する。位相補正值算出処理は、図 6 および図 7 に示す EPS 駆動時に実行される回転角検出処理に先立ち、例えばモータ 80 に回転角検出装置 10 を組み付けたときに実施される処理である。

【0028】

最初のステップ S11 (以下、「ステップ」を省略し、単に記号「S」で示す。)では、4 つの出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} を取得する。なお、ここで取得される出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} は、被検出部 87 の回転に伴って変化する信号であって、少なくとも 1 周期分が取得される。被検出部 87 は、コイル 84 への通電により回転させてもよいし、手動で回転させてもよい。また、 \cos 信号同士、 \sin 信号同士を減算した値である \cos 信号 V_x 、および \sin 信号 V_y を算出する。 \cos 信号同士、 \sin 信号同士を減算することにより、温度特性等によるセンサ誤差を消去することができる。 \cos 信号 V_x 、および \sin 信号 V_y は、以下の式 (5)、(6) で表される。

$$V_x = V_{x1} - V_{x2} = 2 \cos \theta \quad \dots (5)$$

$$V_y = V_{y1} - V_{y2} = 2 \sin \theta \quad \dots (6)$$

【0029】

S12 では、S11 で取得した出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} 、および、S11 で算出した \cos 信号 V_x 、 \sin 信号 V_y に基づき、位相ずれ θ を補正するための位相補正值 θ_c を算出する。本実施形態では、用いる信号の組み合わせが異なる 9 つの定数である位相補正值 $\theta_{c0} \sim \theta_{c8}$ が算出される。位相補正值 $\theta_{c0} \sim \theta_{c8}$ の算出方法については、後述する。なお、位相補正值 θ_c は、取得される信号数に応じ、信号の組み合わせごとに算出しておくことが望ましい。

S13 では、S12 で算出された位相補正值 $\theta_{c0} \sim \theta_{c8}$ をメモリ部 52 に記憶し、本処理を終了する。

【0030】

ここで、位相補正值 $\theta_{c0} \sim \theta_{c8}$ の算出方法について説明する。

< 位相補正值 θ_{c0} >

位相補正值 θ_{c0} は、センサ誤差等を消去した \cos 信号 V_x および \sin 信号 V_y に基づいて算出される。ここで、 \cos 信号 V_x を基準としたときの \cos 信号 V_x と \sin 信号 V_y の位相ずれを θ_0 とすると、 \cos 信号 V_x および \sin 信号 V_y は、以下のように表される。

$$V_x = 2 \cos \theta_0 \quad \dots (5)$$

$$V_y = 2 \sin (\theta_0 + \theta) \quad \dots (7)$$

【0031】

ここで、式 (5) に示す \cos 信号 V_x および式 (7) に示す \sin 信号 V_y を用いて位

10

20

30

40

50

相補正値 θ_0 を算出する方法を説明する。

まず、 \cos 信号 V_x から \sin 信号 V_y を減算した減算値 V_{s0} を算出する。減算値 V_{s0} は、以下の式 (8) のように表される。

$$\begin{aligned} V_{s0} &= V_x - V_y = 2 \cos \theta_0 - 2 \sin (\theta_0 + 90^\circ) \\ &= 2 \{ \cos \theta_0 + \cos (\theta_0 + 90^\circ) \} \quad \dots (8) \end{aligned}$$

上記式 (8) を和積の公式 (9) により変形すると、減算値 V_{s0} は、以下の式 (10) のように表される。

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \{ (A+B)/2 \} \cos \{ (A-B)/2 \} \quad \dots (9)$$

$$\begin{aligned} V_{s0} &= 2 \{ \cos \theta_0 + \cos (\theta_0 + 90^\circ) \} \\ &= 4 \cos \{ (\theta_0 + 90^\circ) / 2 \} \\ &\quad \times \cos [\{ \theta_0 - (\theta_0 + 90^\circ) \} / 2] \\ &= 4 \cos (\theta_0 + 45^\circ / 2) \cos \{ - (45^\circ + \theta_0 / 2) \} \\ &= 4 \cos (\theta_0 + 45^\circ / 2) \cos (45^\circ + \theta_0 / 2) \quad \dots (10) \end{aligned}$$

【0032】

また、 \cos 信号 V_x に \sin 信号 V_y を加算した加算値 V_{a0} を算出する。加算値 V_{a0} は、以下の式 (11) のように表される。

$$\begin{aligned} V_{a0} &= V_x + V_y = 2 \cos \theta_0 + 2 \sin (\theta_0 + 90^\circ) \\ &= 2 \{ \cos \theta_0 - \cos (\theta_0 + 90^\circ) \} \quad \dots (11) \end{aligned}$$

上記式 (11) を和積の公式 (12) により変形すると、加算値 V_{a0} は、以下の式 (13) のように表される。

$$\cos A - \cos B = -2 \sin \{ (A+B)/2 \} \sin \{ (A-B)/2 \} \quad \dots (12)$$

$$\begin{aligned} V_{a0} &= 2 \{ \cos \theta_0 - \cos (\theta_0 + 90^\circ) \} \\ &= -4 \sin \{ (\theta_0 + 90^\circ) / 2 \} \\ &\quad \times \sin [\{ \theta_0 - (\theta_0 + 90^\circ) \} / 2] \\ &= -4 \sin (\theta_0 + 45^\circ / 2) \sin \{ - (45^\circ + \theta_0 / 2) \} \\ &= 4 \sin (\theta_0 + 45^\circ / 2) \sin (45^\circ + \theta_0 / 2) \quad \dots (13) \end{aligned}$$

【0033】

また、減算値 V_{s0} の最大値 V_{s0max} 、および、加算値 V_{a0} の最大値 V_{a0max} は、以下の式 (14)、(15) のように表される。

$$V_{s0max} = 4 \cos \{ (45^\circ + \theta_0 / 2) \} \quad \dots (14)$$

$$V_{a0max} = 4 \sin \{ (45^\circ + \theta_0 / 2) \} \quad \dots (15)$$

なお、減算値 V_{s0} の最大値 V_{s0max} 、および、加算値 V_{a0} の最大値 V_{a0max} は、被検出部 87 を回転させることにより、定数として取得可能である。

【0034】

ここで、加算値 V_{a0} の最大値 V_{a0max} を減算値 V_{s0} の最大値 V_{s0max} で除した値の \arctan (以下、適宜「ATAN」という。) を位相補正値 θ_0 として算出すると、以下の式 (16) のように表される。

$$\begin{aligned} \theta_0 &= \text{ATAN} (V_{a0max} / V_{s0max}) \\ &= \text{ATAN} [4 \sin \{ (45^\circ + \theta_0 / 2) \} / 4 \cos \{ (45^\circ + \theta_0 / 2) \}] \\ &= 45^\circ + \theta_0 / 2 \quad \dots (16) \end{aligned}$$

【0035】

上述の通り、減算値 V_{s0} の最大値 V_{s0max} 、および、加算値 V_{a0} の最大値 V_{a0max} は、定数であるので、位相補正値 θ_0 も定数として算出される。

【0036】

ここまでは、 \cos 信号 V_x および \sin 信号 V_y を用いて位相補正値 θ_0 を算出する方法について説明したが、他の \cos 信号および \sin 信号を用いた場合についても、式 (8) ~ (16) にて説明したのと同様にして、位相補正値 $\theta_1 \sim \theta_8$ を求めることができる。以下、位相補正値 $\theta_1 \sim \theta_8$ について言及しておく。

10

20

30

40

50

【0037】

<位相補正值₁>

位相補正值₁は、 $-\cos$ 信号 V_{x2} および \sin 信号 V_y に基づいて算出される。ここで、 $-\cos$ 信号 V_{x2} を基準としたときの位相ずれを θ_1 とすると、 $-\cos$ 信号 V_{x2} および \sin 信号 V_y は、以下のように表される。なお、 $-\cos$ 信号 V_{x2} については、制御部51内でオフセット値を消去し、 $+\cos$ 信号に換算した値 $-V_{x2a}$ を用いる。

$$\begin{aligned} V_{x2a} &= -\cos \theta_1 \\ -V_{x2a} &= \cos \theta_1 \quad \dots (17) \\ V_y &= 2 \sin(\theta_1 + 45^\circ) \quad \dots (18) \end{aligned}$$

ここで、 \cos 信号 $-V_{x2a}$ から \sin 信号 V_y を減算した減算値 V_{s1} を算出する。なおここでは、 \cos 信号 $-V_{x2a}$ と \sin 信号 V_y との振幅を合わせるため、 \cos 信号 $-V_{x2a}$ を2倍しているが、 \sin 信号である V_y を1/2倍してもよい。以下の例でも同様である。

$$\begin{aligned} V_{s1} &= -2V_{x2a} - V_y = 2\cos \theta_1 - 2\sin(\theta_1 + 45^\circ) \\ &= 2\{\cos \theta_1 + \cos(\theta_1 + 90^\circ + 45^\circ)\} \quad \dots (19) \end{aligned}$$

上記式(19)を和積の公式にて変形すると、減算値 V_{s1} は、式(20)のように表される。

$$V_{s1} = 4\cos(\theta_1 + 45^\circ + 45^\circ/2)\cos(45^\circ + \theta_1/2) \quad \dots (20)$$

【0038】

また、振幅を合わせただけで、 \cos 信号 $-V_{x2a}$ に \sin 信号 V_y を加算した加算値 V_{a1} は、以下の式(21)のように表される。

$$\begin{aligned} V_{a1} &= -2V_{x2a} + V_y = 2\cos \theta_1 + 2\sin(\theta_1 + 45^\circ) \\ &= 2\{\cos \theta_1 - \cos(\theta_1 + 90^\circ + 45^\circ)\} \quad \dots (21) \end{aligned}$$

上記式(21)を和積の公式にて変形すると、加算値 V_{a1} は、式(22)のように表される。

$$V_{a1} = 4\sin(\theta_1 + 45^\circ + 45^\circ/2)\sin(45^\circ + \theta_1/2) \quad \dots (22)$$

【0039】

また、減算値 V_{s1} の最大値 V_{s1max} 、および、加算値 V_{a1} の最大値 V_{a1max} は、以下の式(23)、(24)のように表される。

$$V_{s1max} = 4\cos(45^\circ + 45^\circ/2) \quad \dots (23)$$

$$V_{a1max} = 4\sin(45^\circ + 45^\circ/2) \quad \dots (24)$$

加算値 V_{a1} の最大値 V_{a1max} を減算値 V_{s1} の最大値 V_{s1max} で除した値の \arctan を位相補正值 θ_1 として算出すると、以下の式(25)のように表される。

$$\theta_1 = \text{ATAN}(V_{a1max}/V_{s1max}) = 45^\circ + 45^\circ/2 \quad \dots (25)$$

【0040】

<位相補正值₂>

位相補正值₂は、 $+\cos$ 信号 V_{x1} および \sin 信号 V_y に基づいて算出される。ここで、 $+\cos$ 信号 V_{x1} を基準としたときの位相ずれを θ_2 とすると、 $+\cos$ 信号 V_{x1} および \sin 信号 V_y は、以下のように表される。なお、 $+\cos$ 信号 V_{x1} については、制御部51内でオフセット値を消去した値 V_{x1a} を用いる。

$$\begin{aligned} V_{x1a} &= \cos \theta_2 \quad \dots (26) \\ V_y &= 2\sin(\theta_2 + 45^\circ) \quad \dots (27) \end{aligned}$$

【0041】

ここで、振幅を合わせただけで、 $+\cos$ 信号 V_{x1a} から \sin 信号 V_y を減算した減算値 V_{s2} は、

$$\begin{aligned} V_{s2} &= 2V_{x1a} - V_y = 2\cos \theta_2 - 2\sin(\theta_2 + 45^\circ) \\ &= 2\{\cos \theta_2 + \cos(\theta_2 + 90^\circ + 45^\circ)\} \quad \dots (28) \end{aligned}$$

となる。上記式(28)を和積の公式にて変形すると、減算値 V_{s2} は、式(29)のように表される。

$$V_{s2} = 4\cos(\theta_2 + 45^\circ + 45^\circ/2)\cos(45^\circ + \theta_2/2) \quad \dots (29)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 4 2 】

また、振幅を合わせたうえで、 \cos 信号 V_{x1a} に \sin 信号 V_y を加算した加算値 V_{a2} は、

$$V_{a2} = 2 V_{x1a} + V_y = 2 \cos \theta + 2 \sin (\theta + 90^\circ) \\ = 2 \{ \cos \theta - \cos (\theta + 90^\circ) \} \quad \dots (30)$$

となる。上記式 (30) を和積の公式にて変形すると、加算値 V_{a2} は、式 (31) のように表される。

$$V_{a2} = 4 \sin (\theta + 45^\circ) \sin (45^\circ) \quad \dots (31)$$

【 0 0 4 3 】

また、減算値 V_{s2} の最大値 V_{s2max} 、および、加算値 V_{a2} の最大値 V_{a2max} は、以下の式 (32)、(33) のように表される。

$$V_{s2max} = 4 \cos (45^\circ) \quad \dots (32)$$

$$V_{a2max} = 4 \sin (45^\circ) \quad \dots (33)$$

加算値 V_{a2} の最大値 V_{a2max} を減算値 V_{s2} の最大値 V_{s2max} で除した値の \arctan を位相補正值 θ_2 として算出すると、以下の式 (34) のように表される。

$$\theta_2 = \text{ATAN} (V_{a2max} / V_{s2max}) = 45^\circ \quad \dots (34)$$

【 0 0 4 4 】

< 位相補正值 θ_3 >

位相補正值 θ_3 は、 \cos 信号 V_x および $-\sin$ 信号 V_{y2} に基づいて算出される。ここで、 \cos 信号 V_x を基準としたときの位相ずれを θ_3 とすると、 \cos 信号 V_x および $-\sin$ 信号 V_{y2} は、以下のように表される。なお、 $-\sin$ 信号 V_{y2} については、制御部 51 内でオフセット値を消去し、 $+\sin$ 信号に換算した値 $-V_{y2a}$ を用いる。

$$V_x = 2 \cos \theta \quad \dots (5)$$

$$V_{y2a} = -\sin (\theta + 90^\circ)$$

$$-V_{y2a} = \sin (\theta + 90^\circ) \quad \dots (35)$$

【 0 0 4 5 】

ここで、振幅を合わせたうえで、 \cos 信号 V_x から \sin 信号 $-V_{y2a}$ を減算した減算値 V_{s3} は、

$$V_{s3} = V_x - (-2 V_{y2a}) = 2 \cos \theta - 2 \sin (\theta + 90^\circ) \\ = 2 \{ \cos \theta + \cos (\theta + 90^\circ) \} \quad \dots (36)$$

となる。上記式 (36) を和積の公式にて変形すると、減算値 V_{s3} は、式 (37) のように表される。

$$V_{s3} = 4 \cos (\theta + 45^\circ) \cos (45^\circ) \quad \dots (37)$$

【 0 0 4 6 】

また、振幅を合わせたうえで、 \cos 信号 V_x に \sin 信号 $-V_{y2a}$ を加算した加算値 V_{a3} は、

$$V_{a3} = V_x + (-2 V_{y2a}) = 2 \cos \theta + 2 \sin (\theta + 90^\circ) \\ = 2 \{ \cos \theta - \cos (\theta + 90^\circ) \} \quad \dots (38)$$

となる。上記式 (38) を和積の公式にて変形すると、加算値 V_{a3} は、式 (39) のように表される。

$$V_{a3} = 4 \sin (\theta + 45^\circ) \sin (45^\circ) \quad \dots (39)$$

【 0 0 4 7 】

また、減算値 V_{s3} の最大値 V_{s3max} 、および、加算値 V_{a3} の最大値 V_{a3max} は、以下の式 (40)、(41) のように表される。

$$V_{s3max} = 4 \cos (45^\circ) \quad \dots (40)$$

$$V_{a3max} = 4 \sin (45^\circ) \quad \dots (41)$$

加算値 V_{a3} の最大値 V_{a3max} を減算値 V_{s3} の最大値 V_{s3max} で除した値の \arctan を位相補正值 θ_3 として算出すると、以下の式 (42) のように表される。

$$\theta_3 = \text{ATAN} (V_{a3max} / V_{s3max}) = 45^\circ \quad \dots (42)$$

【 0 0 4 8 】

10

20

30

40

50

< 位相補正值 θ_4 >

位相補正值 θ_4 は、 \cos 信号 V_x および $+\sin$ 信号 V_{y1} に基づいて算出される。ここで、 \cos 信号 V_x を基準としたときの位相ずれを θ_4 とすると、 \cos 信号 V_x および $+\sin$ 信号 V_{y1} は、以下のように表される。なお、 $+\sin$ 信号 V_{y1} については、制御部 51 内でオフセット値を消去した値 V_{y1a} を用いる。

$$V_x = 2 \cos \theta_4 \quad \dots (5)$$

$$V_{y1a} = \sin(\theta_4 + 90^\circ) \quad \dots (43)$$

【0049】

ここで、振幅を合わせたくえで、 \cos 信号 V_x から $+\sin$ 信号 V_{y1a} を減算した減算値 V_{s4} は、

$$\begin{aligned} V_{s4} &= V_x - 2 V_{y1a} = 2 \cos \theta_4 - 2 \sin(\theta_4 + 90^\circ) \\ &= 2 \{ \cos \theta_4 + \cos(\theta_4 + 90^\circ + 90^\circ) \} \quad \dots (44) \end{aligned}$$

となる。上記式 (44) を和積の公式にて変形すると、減算値 V_{s4} は、式 (45) のように表される。

$$V_{s4} = 4 \cos(\theta_4 + 45^\circ) \cos(45^\circ + \theta_4/2) \quad \dots (45)$$

【0050】

また、振幅を合わせたくえで、 \cos 信号 V_x に $+\sin$ 信号 V_{y1a} を加算した加算値 V_{a4} は、

$$\begin{aligned} V_{a4} &= V_x + 2 V_{y1a} = 2 \cos \theta_4 + 2 \sin(\theta_4 + 90^\circ) \\ &= 2 \{ \cos \theta_4 - \cos(\theta_4 + 90^\circ + 90^\circ) \} \quad \dots (46) \end{aligned}$$

となる。上記式 (46) を和積の公式にて変形すると、加算値 V_{a4} は、式 (47) のように表される。

$$V_{a4} = 4 \sin(\theta_4 + 45^\circ) \sin(45^\circ + \theta_4/2) \quad \dots (47)$$

【0051】

ここで、減算値 V_{s4} の最大値 V_{s4max} 、および、加算値 V_{a4} の最大値 V_{a4max} は、以下の式 (48)、(49) で表される。

$$V_{s4max} = 4 \cos(45^\circ + \theta_4/2) \quad \dots (48)$$

$$V_{a4max} = 4 \sin(45^\circ + \theta_4/2) \quad \dots (49)$$

加算値 V_{a4} の最大値 V_{a4max} を減算値 V_{s4} の最大値 V_{s4max} で除した値の \arctan を位相補正值 θ_4 として算出すると、以下の式 (50) のように表される。

$$\theta_4 = \text{ATAN}(V_{a4max} / V_{s4max}) = 45^\circ + \theta_4/2 \quad \dots (50)$$

【0052】

< 位相補正值 θ_5 >

位相補正值 θ_5 は、 $-\cos$ 信号 V_{x2} および $-\sin$ 信号 V_{y2} に基づいて算出される。ここで、 $-\cos$ 信号 V_{x2} を基準としたときの位相ずれを θ_5 とすると、 $-\cos$ 信号 V_{x2} および $-\sin$ 信号 V_{y2} は、以下のように表される。なお、 $-\cos$ 信号 V_{x2} および $-\sin$ 信号 V_{y2} については、制御部 51 内でオフセットを消去し、 $+\cos$ 信号または $+\sin$ 信号に換算した値 $-V_{x2a}$ 、 $-V_{y2a}$ を用いる。

$$\begin{aligned} V_{x2a} &= -\cos \theta_5 \\ -V_{x2a} &= \cos \theta_5 \quad \dots (51) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{y2a} &= -\sin(\theta_5 + 90^\circ) \\ -V_{y2a} &= \sin(\theta_5 + 90^\circ) \quad \dots (52) \end{aligned}$$

【0053】

ここで、 \cos 信号 $-V_{x2a}$ から \sin 信号 $-V_{y2a}$ を減算した減算値 V_{s5} は、

$$\begin{aligned} V_{s5} &= -V_{x2a} - (-V_{y2a}) = \cos \theta_5 - \sin(\theta_5 + 90^\circ) \\ &= \cos \theta_5 + \cos(\theta_5 + 90^\circ + 90^\circ) \quad \dots (53) \end{aligned}$$

となる。上記式 (53) を和積の公式にて変形すると、減算値 V_{s5} は、式 (54) のように表される。

$$V_{s5} = 2 \cos(\theta_5 + 45^\circ) \cos(45^\circ + \theta_5/2) \quad \dots (54)$$

【0054】

10

20

30

40

50

また、 \cos 信号 $-V_{x2a}$ に \sin 信号 $-V_{y2a}$ を加算した加算値 V_{a5} は、

$$\begin{aligned} V_{a5} &= -V_{x2a} + (-V_{y2a}) = \cos + \sin (+ \theta_5) \\ &= \cos - \cos (+ 90 + \theta_5) \quad \dots (55) \end{aligned}$$

となる。上記式 (55) を和積の公式にて変形すると、加算値 V_{a5} は、式 (56) のように表される。

$$V_{a5} = 2 \sin (\theta_5 + 45 + \theta_5 / 2) \sin (45 + \theta_5 / 2) \quad \dots (56)$$

【0055】

ここで、減算値 V_{s5} の最大値 V_{s5max} 、および、加算値 V_{a5} の最大値 V_{a5max} は、以下の式 (57)、(58) で表される。

$$V_{s5max} = 2 \cos (45 + \theta_5 / 2) \quad \dots (57)$$

$$V_{a5max} = 2 \sin (45 + \theta_5 / 2) \quad \dots (58)$$

加算値 V_{a5} の最大値 V_{a5max} を減算値 V_{s5} の最大値 V_{s5max} で除した値の \arctan を位相補正值 θ_5 として算出すると、以下の式 (58) のように表される。

$$\theta_5 = \text{ATAN} (V_{a5max} / V_{s5max}) = 45 + \theta_5 / 2 \quad \dots (59)$$

【0056】

< 位相補正值 θ_6 >

位相補正值 θ_6 は、 $-\cos$ 信号 V_{x2} および $+\sin$ 信号 V_{y1} に基づいて算出される。ここで、 $-\cos$ 信号 V_{x2} を基準としたときの位相ずれを θ_6 とすると、 $-\cos$ 信号 V_{x2} および $+\sin$ 信号 V_{y1} は、以下のように表される。なお、 $-\cos$ 信号 V_{x2} および $+\sin$ 信号 V_{y1} については制御部 51 内でオフセットを除去し、 $-\cos$ 信号 V_{x2} については $+\cos$ 信号に換算した値 $-V_{x2a}$ 、 V_{y1a} を用いる。

$$\begin{aligned} V_{x2a} &= -\cos \\ -V_{x2a} &= \cos \quad \dots (60) \end{aligned}$$

$$V_{y1a} = \sin (+ \theta_6) \quad \dots (61)$$

【0057】

ここで、 \cos 信号 $-V_{x2a}$ から $+\sin$ 信号 V_{y1a} を減算した減算値 V_{s6} は、

$$\begin{aligned} V_{s6} &= -V_{x2a} - V_{y1a} = \cos - \sin (+ \theta_6) \\ &= \cos + \cos (+ 90 + \theta_6) \quad \dots (62) \end{aligned}$$

となる。上記式 (62) を和積の公式にて変形すると、減算値 V_{s6} は、式 (63) のように表される。

$$V_{s6} = 2 \cos (\theta_6 + 45 + \theta_6 / 2) \cos (45 + \theta_6 / 2) \quad \dots (63)$$

【0058】

また、 \cos 信号 $-V_{x2a}$ に $+\sin$ 信号 V_{y1a} を加算した加算値 V_{a6} は、

$$\begin{aligned} V_{a6} &= -V_{x2a} + V_{y1a} = \cos + \sin (+ \theta_6) \\ &= \cos - \cos (+ 90 + \theta_6) \quad \dots (64) \end{aligned}$$

となる。上記式 (64) を和積の公式にて変形すると、加算値 V_{a6} は、式 (65) のように表される。

$$V_{a6} = 2 \sin (\theta_6 + 45 + \theta_6 / 2) \sin (45 + \theta_6 / 2) \quad \dots (65)$$

【0059】

ここで、減算値 V_{s6} の最大値 V_{s6max} 、および、加算値 V_{a6} の最大値 V_{a6max} は、以下の式 (66)、(67) のように表される。

$$V_{s6max} = 2 \cos (45 + \theta_6 / 2) \quad \dots (66)$$

$$V_{a6max} = 2 \sin (45 + \theta_6 / 2) \quad \dots (67)$$

加算値 V_{a6} の最大値 V_{a6max} を減算値 V_{s6} の最大値 V_{s6max} で除した値の \arctan を位相補正值 θ_6 として算出すると、以下の式 (68) のように表される。

$$\theta_6 = \text{ATAN} (V_{a6max} / V_{s6max}) = 45 + \theta_6 / 2 \quad \dots (68)$$

【0060】

< 位相補正值 θ_7 >

位相補正值 θ_7 は、 $+\cos$ 信号 V_{x1} および $-\sin$ 信号 V_{y2} に基づいて算出される。ここで、 $+\cos$ 信号 V_{x1} を基準としたときの位相ずれを θ_7 とすると、 $+\cos$ 信号 V_x

10

20

30

40

50

1および - sin 信号 V_{y2} は、以下のように表される。なお、+ cos 信号 V_{x1} および - sin 信号 V_{y2} については制御部 51 内でオフセットを除去し、- sin 信号 V_{y2} については + sin 信号に換算した値 V_{x1a} 、 $-V_{y2a}$ を用いる。

$$V_{x1a} = \cos \quad \dots (69)$$

$$V_{y2a} = -\sin(\quad + \quad 7)$$

$$-V_{y2a} = \sin(\quad + \quad 7) \quad \dots (70)$$

【0061】

ここで、+ cos 信号 V_{x1a} から sin 信号 $-V_{y2a}$ を減算した減算値 V_{s7} は、

$$\begin{aligned} V_{s7} &= V_{x1a} - (-V_{y2a}) = \cos - \sin(\quad + \quad 7) \\ &= \cos + \cos(\quad + 90 + \quad 7) \quad \dots (71) \end{aligned}$$

10

となる。上記式 (71) を和積の公式にて変形すると、減算値 V_{s7} は、式 (72) のように表される。

$$V_{s7} = 2 \cos(\quad + 45 + \quad 7/2) \cos(45 + \quad 7/2) \quad \dots (72)$$

【0062】

また、+ cos 信号 V_{x1a} に sin 信号 $-V_{y2a}$ を加算した加算値 V_{a7} は、

$$\begin{aligned} V_{a7} &= V_{x1a} + (-V_{y2a}) = \cos + \sin(\quad + \quad 7) \\ &= \cos - \cos(\quad + 90 + \quad 7) \quad \dots (73) \end{aligned}$$

となる。上記式 (73) を和積の公式にて変形すると、加算値 V_{a7} は、式 (74) のように表される。

$$V_{a7} = 2 \sin(\quad + 45 + \quad 7/2) \sin(45 + \quad 7/2) \quad \dots (74)$$

20

【0063】

ここで、減算値 V_{s7} の最大値 V_{s7max} 、および、加算値 V_{a7} の最大値 V_{a7max} は、以下の式 (75)、(76) で表される。

$$V_{s7max} = 2 \cos(45 + \quad 7/2) \quad \dots (75)$$

$$V_{a7max} = 2 \sin(45 + \quad 7/2) \quad \dots (76)$$

加算値 V_{a7} の最大値 V_{a7max} を減算値 V_{s7} の最大値 V_{s7max} で除した値の \arctan を位相補正值 $\quad 7$ として算出すると、以下の式 (77) のように表される。

$$\quad 7 = \text{ATAN}(V_{a7max} / V_{s7max}) = 45 + \quad 7/2 \quad \dots (77)$$

【0064】

< 位相補正值 $\quad 8$ >

30

位相補正值 $\quad 8$ は、+ cos 信号 V_{x1} および + sin 信号 V_{y1} に基づいて算出される。ここで、+ cos 信号 V_{x1} を基準としたときの位相ずれを $\quad 8$ とすると、+ cos 信号 V_{x1} および + sin 信号 V_{y1} は、以下のように表される。なお、+ cos 信号 V_{x1} および + sin 信号 V_{y1} については、制御部 51 内でオフセットを除去した値 V_{x1a} 、 V_{y1a} を用いる。

$$V_{x1a} = \cos \quad \dots (78)$$

$$V_{y1a} = \sin(\quad + \quad 8) \quad \dots (79)$$

【0065】

ここで、+ cos 信号 V_{x1a} から + sin 信号 V_{y1a} を減算した減算値 V_{s8} は、

$$\begin{aligned} V_{s8} &= V_{x1a} - V_{y1a} = \cos - \sin(\quad + \quad 8) \\ &= \cos + \cos(\quad + 90 + \quad 8) \quad \dots (80) \end{aligned}$$

40

となる。上記式 (80) を和積の公式にて変形すると、減算値 V_{s8} は、式 (81) のように表される。

$$V_{s8} = 2 \cos(\quad + 45 + \quad 8/2) \cos(45 + \quad 8/2) \quad \dots (81)$$

【0066】

また、+ cos 信号 V_{x1a} に + sin 信号 V_{y1a} を加算した加算値 V_{a8} は、

$$\begin{aligned} V_{a8} &= V_{x1a} + V_{y1a} = \cos + \sin(\quad + \quad 8) \\ &= \cos - \cos(\quad + 90 + \quad 8) \quad \dots (82) \end{aligned}$$

となる。上記式 (82) を和積の公式にて変形すると、加算値 V_{a8} は、式 (83) のように表される。

50

$$V_{a8} = 2 \sin(\theta + 45 + \theta_8 / 2) \sin(45 + \theta_8 / 2) \quad \dots (83)$$

【0067】

ここで、減算値 V_{s8} の最大値 V_{s8max} 、および、加算値 V_{a8} の最大値 V_{a8max} は、以下の式 (84)、(85) で表される。

$$V_{s8max} = 2 \cos(\theta + \theta_8 / 2) \quad \dots (84)$$

$$V_{a8max} = 2 \sin(\theta + \theta_8 / 2) \quad \dots (85)$$

加算値 V_{a8} の最大値 V_{a8max} を減算値 V_{s8} の最大値 V_{s8max} で除した値の \arctan を位相補正值 θ_8 として算出すると、以下の式 (86) のように表される。

$$\theta_8 = \text{ATAN}(V_{a8max} / V_{s8max}) = 45 + \theta_8 / 2 \quad \dots (86)$$

このように算出された位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ は、いずれも定数であり、算出された位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ は、メモリ部 52 に記憶される (図 5 中の S13)。

【0068】

次に、被検出部 87 の回転角度を検出する回転角検出処理を図 6 および図 7 に示すフローチャートに基づいて説明する。図 6 および図 7 に示す回転角検出処理は、EPS 動作時に所定の間隔、例えば $200 \mu s$ ごと、に制御部 51 にて実行される処理である。

図 6 中の S101 では、4 つの出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} を取得する。また、 \cos 信号同士、 \sin 信号同士を減算した値である \cos 信号 V_x 、および \sin 信号 V_y を算出する (式 (1) ~ 式 (6) 参照)。

【0069】

S102 では、S101 にて取得された 4 つの出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} に異常が生じているか判定するとともに、異常が生じている出力信号を特定する。異常が生じている出力信号の特定は、公知の方法で行うことができるが、例えば所定の上限値を上回った場合、または所定の下限値を下回った場合、当該出力信号に異常が生じていると特定することができる。

【0070】

S103 では、全ての出力信号が正常であるか否かを判断する。少なくとも 1 つの出力信号に異常が生じている場合 (S103: NO)、S106 へ移行する。全ての出力信号が正常である場合 (S103: YES)、S104 へ移行する。

S104 では、全ての出力信号が正常であるので、 \cos 信号 V_x および \sin 信号 V_y に基づいて補正前回転角度 θ_0 を算出する。

【0071】

ここで、補正前回転角度 θ_n の算出方法について説明する。補正前回転角度 θ_n は、図 6 および図 7 に示す回転角検出処理におけるステップにて、位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ に対応して算出される。具体的には、位相補正值 θ_0 の算出に用いた出力信号および当該出力信号を用いて算出された演算値から補正前回転角度 θ_0 が算出される、といった具合である。

まず、補正前回転角度 θ_n の算出に先立ち、位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ の算出に用いた減算値 V_{sn} 、加算値 V_{an} 、減算値 V_{sn} の最大値 V_{snmax} 、および、加算値 V_{an} の最大値 V_{anmax} を用い、振幅を合わせるべく、減算値 V_{sn} を減算値 V_{sn} の最大値 V_{snmax} で除した値 V_{sdn} 、および、加算値 V_{an} を加算値 V_{an} の最大値 V_{anmax} で除した値 V_{adn} を算出する。

$$V_{sdn} = V_{sn} / V_{snmax} = \cos(\theta + 45 + \theta_n / 2) \quad \dots (87)$$

$$V_{adn} = V_{an} / V_{anmax} = \sin(\theta + 45 + \theta_n / 2) \quad \dots (88)$$

なお、 V_{sdn} および V_{adn} は、具体的には、 V_{sd0} が V_{s0} を V_{s0max} で除して算出され、 V_{ad0} が V_{a0} を V_{a0max} で除して算出される、といった具合であり、本実施形態では $n = 0 \sim 8$ である。

【0072】

次に、 V_{sdn} および V_{adn} を用いて算出される \arctan である角度 θ_n から補正前回転角度 θ_n を算出する方法について、図 8 および図 9 に基づいて説明する。図 8 は、補正前回転角度 θ_n の算出に係る角度範囲の分割を説明する図であって、 \sin 信号および \cos 信号を説明する図である。図 8 における \sin 信号は V_{adn} であり、 \cos 信号は V_{sdn} である。図 9 は、角度 θ_n に基づいて補正前回転角度 θ_n を算出する算出方法を説明する

10

20

30

40

50

図である。

補正前回転角度 θ_n は、 V_{sdn} および V_{adn} を用いて算出される \arctan である角度 θ_n (ただし $n = 0 \sim 8$) に基づいて算出される。角度 θ_n は、式 (89)、(90) のように表される。

$$\theta_n = \text{ATAN}(V_{adn} / V_{sdn}) \quad \dots (89)$$

$$\theta_n = \text{ATAN}(V_{sdn} / V_{adn}) \quad \dots (90)$$

【0073】

式 (89) および式 (90) に示したように、角度 θ_n は、 \sin 信号である V_{adn} を \cos 信号である V_{sdn} で除した値 (以下、「 \tan 値」という。)、または、 \cos 信号である V_{sdn} を \sin 信号である V_{adn} で除した値 (以下、「 \cot 値」という。) の \arctan として算出される。 V_{adn} および V_{sdn} は、0 となる角度があるため、0 で除することを避けるため、 \sin 信号である V_{adn} が 0 となる角度を含む角度範囲においては、 \cos 信号で除する \tan 値に基づいて角度 θ_n を算出し、 \cos 信号である V_{sdn} が 0 となる角度を含む角度範囲においては、 \sin 信号で除する \cot 値に基づいて角度 θ_n を算出する。なお、 V_{adn} または V_{sdn} が - 信号である場合、例えば - 1 等に乗じることにより、+ 信号に変換してから \tan 値および \cot 値を算出する。

また、補正前回転角度 θ_n を $0 \sim 360$ 度とすると、異なる補正前回転角度 θ_n で \tan 値または \cot 値が同じになる場合があるので、 V_{adn} の絶対値と V_{sdn} の絶対値との大小関係、 V_{adn} の符号、および V_{sdn} の符号に基づき、補正前回転角度 θ_n の角度範囲を特定したうえで、 \tan 値または \cot 値の \arctan に基づき、補正前回転角度 θ_n を算出する。

具体的には、図 8 および図 9 に示すように、 V_{adn} の絶対値と V_{sdn} の絶対値との大小関係、 V_{adn} の符号、および V_{sdn} の符号に基づき、補正前回転角度 θ_n の $0 \sim 360$ 度を 8 つの角度範囲であるエリア 1 ~ エリア 8 のどこに該当するかを特定する。そして、 V_{adn} の絶対値と V_{sdn} の絶対値とを比較し、絶対値の大きい方が分母となるように \tan 値または \cot 値を用い、 \tan 値または \cot 値の \arctan である角度 θ_n を算出する。なお、図 9 中の「の算出方法」においては、の算出に係り、 \tan 値または \cot 値のどちらを用いて \arctan を求めているかを示している。補正前回転角度 θ_n の角度範囲が特定されているので、図 9 に示すように、基準となる 0 度 (= 360 度)、 90 度、 180 度、または 270 度に算出された角度 θ_n を加算または減算することにより、補正前回転角度 θ_n を算出する。

また、補正前回転角度 θ_n は、以下の式 (91) のように表される。

$$\theta_n = \arctan(V_{adn} / V_{sdn}) + 45 + \theta_n / 2 \quad \dots (91)$$

【0074】

図 6 に戻り、上述の S104 では、 V_{ad0} および V_{sd0} に基づく \tan 値または \cot 値の \arctan である角度 θ_0 から算出される補正前回転角度 θ_0 は、以下の式 (92) のように表される。

$$\theta_0 = \arctan(V_{ad0} / V_{sd0}) + 45 + \theta_0 / 2 \quad \dots (92)$$

S105 では、 \cos 信号 V_x および \sin 信号 V_y に基づいて算出され、メモリ部 52 に記憶されている位相補正值 θ_0 を取得する。そして取得した位相補正值 θ_0 に基づき、S104 で算出した補正前回転角度 θ_0 を補正する。具体的には、補正前回転角度 θ_0 から位相補正值 θ_0 を減算することにより、式 (93) に示すように、被検出部 87 の回転角度を算出することができる。

$$\theta_0 - \theta_0 = (\arctan(V_{ad0} / V_{sd0}) + 45 + \theta_0 / 2) - (\arctan(V_{ad0} / V_{sd0}) + 45 + \theta_0 / 2) = \dots (93)$$

【0075】

少なくとも 1 つの出力信号に異常が生じている場合 (S103: NO) に移行する S106 では、+ \cos 信号 V_{x1} のみに異常が生じているか否かを判断する。+ \cos 信号 V_{x1} に異常が生じていない場合、または、+ \cos 信号 V_{x1} の異常に加え他の出力信号にも異常が生じている場合 (S106: NO)、S109 へ移行する。+ \cos 信号 V_{x1} のみに異常が生じている場合 (S106: YES)、S107 へ移行する。

【 0 0 7 6 】

S 1 0 7 では、+ c o s 信号 V_{x1} のみに異常が生じているので、異常が生じていない - c o s 信号 V_{x2} 、および、s i n 信号同士を減算してセンサ誤差等を消去した s i n 信号 V_y に基づいて補正前回転角度 θ_1 を算出する。 V_{ad1} および V_{sd1} に基づく t a n 値または c o t 値の a r c t a n である角度 θ_1 から算出される補正前回転角度 θ_1 は、以下の式 (9 4) のように表される。

$$\theta_1 = \arctan \left(\frac{V_{sd1}}{V_{ad1}} \right) \quad \dots (9 4)$$

【 0 0 7 7 】

S 1 0 8 では、- c o s 信号 V_{x2} および s i n 信号 V_y に基づいて算出され、メモリ部 5 2 に記憶されている位相補正值 θ_1 を取得する。そして取得した位相補正值 θ_1 に基づき、S 1 0 7 で算出した補正前回転角度 θ_1 を補正する。具体的には、補正前回転角度 θ_1 から位相補正值 θ_1 を減算することにより、式 (9 5) に示すように、被検出部 8 7 の回転角度 θ を算出することができる。

$$\theta = \theta_1 - \theta_1 = \left(\arctan \left(\frac{V_{sd1}}{V_{ad1}} \right) - \arctan \left(\frac{V_{sd1}}{V_{ad1}} \right) \right) = \dots (9 5)$$

【 0 0 7 8 】

+ c o s 信号 V_{x1} に異常が生じていない場合、または、+ c o s 信号 V_{x1} の異常に加え他の出力信号にも異常が生じている場合 (S 1 0 6 : N O) に移行する S 1 0 9 では、- c o s 信号 V_{x2} のみに異常が生じているか否かを判断する。- c o s 信号 V_{x2} に異常が生じていない場合、または、- c o s 信号 V_{x2} の異常に加え他の出力信号にも異常が生じている場合 (S 1 0 9 : N O)、S 1 1 2 へ移行する。- c o s 信号 V_{x2} のみに異常が生じている場合 (S 1 0 9 : Y E S)、S 1 1 0 へ移行する。

【 0 0 7 9 】

S 1 1 0 では、- c o s 信号 V_{x2} のみに異常が生じているので、異常が生じていない + c o s 信号 V_{x1} 、および、s i n 信号同士を減算してセンサ誤差等を消去した s i n 信号 V_y に基づいて補正前回転角度 θ_2 を算出する。 V_{ad2} および V_{sd2} に基づく t a n 値または c o t 値の a r c t a n である角度 θ_2 から算出される補正前回転角度 θ_2 は、以下の式 (9 6) のように表される。

$$\theta_2 = \arctan \left(\frac{V_{sd2}}{V_{ad2}} \right) \quad \dots (9 6)$$

【 0 0 8 0 】

S 1 1 1 では、+ c o s 信号 V_{x1} および s i n 信号 V_y に基づいて算出され、メモリ部 5 2 に記憶されている位相補正值 θ_2 を取得する。そして取得した位相補正值 θ_2 に基づき、S 1 1 0 で算出した補正前回転角度 θ_2 を補正する。具体的には、補正前回転角度 θ_2 から位相補正值 θ_2 を減算することにより、式 (9 7) に示すように、被検出部 8 7 の回転角度 θ を算出することができる。

$$\theta = \theta_2 - \theta_2 = \left(\arctan \left(\frac{V_{sd2}}{V_{ad2}} \right) - \arctan \left(\frac{V_{sd2}}{V_{ad2}} \right) \right) = \dots (9 7)$$

【 0 0 8 1 】

- c o s 信号 V_{x2} に異常が生じていない場合、または、- c o s 信号 V_{x2} の異常に加え他の出力信号にも異常が生じている場合 (S 1 0 9 : N O) に移行する S 1 1 2 では、+ s i n 信号 V_{y1} のみに異常が生じているか否かを判断する。+ s i n 信号 V_{y1} に異常が生じていない場合、または、+ s i n 信号 V_{y1} の異常に加え他の出力信号にも異常が生じている場合 (S 1 1 2 : N O)、S 1 1 5 へ移行する。+ s i n 信号 V_{y1} のみに異常が生じている場合 (S 1 1 2 : Y E S)、S 1 1 3 へ移行する。

【 0 0 8 2 】

S 1 1 3 では、+ s i n 信号 V_{y1} のみに異常が生じているので、異常が生じていない - s i n 信号 V_{y2} 、および、c o s 信号同士を減算してセンサ誤差等を消去した c o s 信号 V_x に基づいて補正前回転角度 θ_3 を算出する。 V_{ad3} および V_{sd3} に基づく t a n 値または c o t 値の a r c t a n である角度 θ_3 から算出される補正前回転角度 θ_3 は、以下の式 (9 8) のように表される。

$$\theta_3 = \arctan \left(\frac{V_{sd3}}{V_{ad3}} \right) \quad \dots (9 8)$$

【 0 0 8 3 】

10

20

30

40

50

S 1 1 4では、 \cos 信号 V_x および $-\sin$ 信号 V_{y2} に基づいて算出され、メモリ部52に記憶されている位相補正值 θ_3 を取得する。そして取得した位相補正值 θ_3 に基づき、S 1 1 3で算出した補正前回転角度 θ_3 を補正する。具体的には、補正前回転角度 θ_3 から位相補正值 θ_3 を減算することにより、式(99)に示すように、被検出部87の回転角度 θ_3 を算出することができる。

$$\theta_3 - \theta_3 = (\theta_3 + 45^\circ + \theta_3 / 2) - (45^\circ + \theta_3 / 2) = \dots \quad (99)$$

【0084】

$+\sin$ 信号 V_{y1} に異常が生じていない場合、または、 $+\sin$ 信号 V_{y1} の異常に加え他の出力信号にも異常が生じている場合(S 1 1 2 : NO)に移行するS 1 1 5では、 $-\sin$ 信号 V_{y2} のみに異常が生じているか否かを判断する。 $-\sin$ 信号 V_{y2} に異常が生じていない場合、または、 $-\sin$ 信号 V_{y2} の異常に加え他の出力信号にも異常が生じている場合(S 1 1 5 : NO)、図7中のS 1 1 8へ移行する。なお、このS 1 1 5にて否定判断される場合、少なくとも2つの出力信号に異常が生じている。 $-\sin$ 信号 V_{y2} のみに異常が生じている場合(S 1 1 5 : YES)、S 1 1 6へ移行する。

10

【0085】

S 1 1 6では、 $-\sin$ 信号 V_{y2} のみに異常が生じているので、異常が生じていない $+\sin$ 信号 V_{y1} 、および、 \cos 信号同士を減算してセンサ誤差等を消去した \cos 信号 V_x に基づいて補正前回転角度 θ_4 を算出する。 V_{ad4} および V_{sd4} に基づく \tan 値または \cot 値の \arctan である角度 θ_4 から算出される補正前回転角度 θ_4 は、以下の式(100)のように表される。

20

$$\theta_4 = \theta_4 + 45^\circ + \theta_4 / 2 \quad \dots \quad (100)$$

【0086】

S 1 1 7では、 \cos 信号 V_x および $+\sin$ 信号 V_{y1} に基づいて算出され、メモリ部52に記憶されている位相補正值 θ_4 を取得する。そして取得した位相補正值 θ_4 に基づき、S 1 1 6で算出した補正前回転角度 θ_4 を補正する。具体的には、補正前回転角度 θ_4 から位相補正值 θ_4 を減算することにより、式(101)に示すように、被検出部87の回転角度 θ_4 を算出することができる。

$$\theta_4 - \theta_4 = (\theta_4 + 45^\circ + \theta_4 / 2) - (45^\circ + \theta_4 / 2) = \dots \quad (101)$$

【0087】

図5に示すように、少なくとも2つの出力信号に異常が生じている場合(S 1 0 3 : NO、S 1 0 6 : NO、S 1 0 9 : NO、S 1 1 2 : NO、かつS 1 1 5 : NO)に移行するS 1 1 8では、出力信号 V_{x1} 、 V_{y1} のみに異常が生じているか否かを判断する。出力信号 V_{x1} 、 V_{y1} 以外の出力信号に異常が生じている場合(S 1 1 8 : NO)、S 1 2 1へ移行する。出力信号 V_{x1} 、 V_{y1} のみに異常が生じている場合(S 1 1 8 : YES)、S 1 1 9へ移行する。

30

【0088】

S 1 1 9では、異常が生じていない $-\cos$ 信号 V_{x2} および $-\sin$ 信号 V_{y2} に基づいて補正前回転角度 θ_5 を算出する。 V_{ad5} および V_{sd5} に基づく \tan 値または \cot 値の \arctan である角度 θ_5 から算出される補正前回転角度 θ_5 は、以下の式(102)のように表される。

40

$$\theta_5 = \theta_5 + 45^\circ + \theta_5 / 2 \quad \dots \quad (102)$$

【0089】

S 1 2 0では、 $-\cos$ 信号 V_{x2} および $-\sin$ 信号 V_{y2} に基づいて算出され、メモリ部52に記憶されている位相補正值 θ_5 を取得する。そして取得した位相補正值 θ_5 に基づき、S 1 1 9で算出した補正前回転角度 θ_5 を補正する。具体的には、補正前回転角度 θ_5 から位相補正值 θ_5 を減算することにより、式(103)に示すように、被検出部87の回転角度 θ_5 を算出することができる。

$$\theta_5 - \theta_5 = (\theta_5 + 45^\circ + \theta_5 / 2) - (45^\circ + \theta_5 / 2) = \dots \quad (103)$$

【0090】

出力信号 V_{x1} 、 V_{y1} 以外の出力信号に異常が生じている場合(S 1 1 8 : NO)に移行

50

する S 1 2 1 では、出力信号 V_{x1} 、 V_{y2} のみに異常が生じているか否かを判断する。出力信号 V_{x1} 、 V_{y2} 以外の出力信号に異常が生じている場合 (S 1 2 1 : N O)、S 1 2 4 へ移行する。出力信号 V_{x1} 、 V_{y2} のみに異常が生じている場合 (S 1 2 1 : Y E S)、S 1 2 2 へ移行する。

【 0 0 9 1 】

S 1 2 2 では、異常が生じていない - c o s 信号 V_{x2} および + s i n 信号 V_{y1} に基づいて補正前回転角度 θ_6 を算出する。 V_{ad6} および V_{sd6} に基づく t a n 値または c o t 値の a r c t a n である角度 θ_6 から算出される補正前回転角度 θ_6 は、以下の式 (1 0 4) のように表される。

$$\theta_6 = \arctan \left(\frac{V_{sd6}}{V_{ad6}} \right) \quad \dots (1 0 4)$$

10

【 0 0 9 2 】

S 1 2 3 では、- c o s 信号 V_{x2} および + s i n 信号 V_{y1} に基づいて算出され、メモリ部 5 2 に記憶されている位相補正值 θ_6 を取得する。そして取得した位相補正值 θ_6 に基づき、S 1 2 2 で算出した補正前回転角度 θ_6 を補正する。具体的には、補正前回転角度 θ_6 から位相補正值 θ_6 を減算することにより、式 (1 0 5) に示すように、被検出部 8 7 の回転角度 θ_6 を算出することができる。

$$\theta_6 - \theta_6 = \left(\arctan \left(\frac{V_{sd6}}{V_{ad6}} \right) \right) - \left(\arctan \left(\frac{V_{sd6}}{V_{ad6}} \right) \right) = 0 \quad \dots (1 0 5)$$

【 0 0 9 3 】

出力信号 V_{x1} 、 V_{y2} 以外の出力信号に異常が生じている場合 (S 1 2 1 : N O) に移行する S 1 2 4 では、出力信号 V_{x2} 、 V_{y1} のみに異常が生じているか否かを判断する。出力信号 V_{x2} 、 V_{y1} 以外の出力信号に異常が生じている場合 (S 1 2 4 : N O)、S 1 2 7 へ移行する。出力信号 V_{x2} 、 V_{y1} のみに異常が生じている場合 (S 1 2 4 : Y E S)、S 1 2 5 へ移行する。

20

【 0 0 9 4 】

S 1 2 5 では、異常が生じていない + c o s 信号 V_{x1} および - s i n 信号 V_{y2} に基づいて補正前回転角度 θ_7 を算出する。 V_{ad7} および V_{sd7} に基づく t a n 値または c o t 値の a r c t a n である角度 θ_7 から算出される補正前回転角度 θ_7 は、以下の式 (1 0 6) のように表される。

$$\theta_7 = \arctan \left(\frac{V_{sd7}}{V_{ad7}} \right) \quad \dots (1 0 6)$$

【 0 0 9 5 】

S 1 2 6 では、+ c o s 信号 V_{x1} および - s i n 信号 V_{y2} に基づいて算出され、メモリ部 5 2 に記憶されている位相補正值 θ_7 を取得する。そして、取得した位相補正值 θ_7 に基づき、S 1 2 5 で算出した補正前回転角度 θ_7 を補正する。具体的には、補正前回転角度 θ_7 から位相補正值 θ_7 を減算することにより、式 (1 0 7) に示すように、被検出部 8 7 の回転角度 θ_7 を算出することができる。

$$\theta_7 - \theta_7 = \left(\arctan \left(\frac{V_{sd7}}{V_{ad7}} \right) \right) - \left(\arctan \left(\frac{V_{sd7}}{V_{ad7}} \right) \right) = 0 \quad \dots (1 0 7)$$

30

【 0 0 9 6 】

出力信号 V_{x2} 、 V_{y1} 以外の出力信号に異常が生じている場合 (S 1 2 4 : N O) に移行する S 1 2 7 では、出力信号 V_{x2} 、 V_{y2} のみに異常が生じているか否かを判断する。出力信号 V_{x2} 、 V_{y2} 以外の出力信号に異常が生じている場合 (S 1 2 7 : N O)、S 1 3 0 へ移行する。出力信号 V_{x2} 、 V_{y2} のみに異常が生じている場合 (S 1 2 7 : Y E S)、S 1 2 8 へ移行する。

40

【 0 0 9 7 】

S 1 2 8 では、異常が生じていない + c o s 信号 V_{x1} および + s i n 信号 V_{y1} に基づいて補正前回転角度 θ_8 を算出する。 V_{ad8} および V_{sd8} に基づく t a n 値または c o t 値の a r c t a n である角度 θ_8 から算出される補正前回転角度 θ_8 は、以下の式 (1 0 8) のように表される。

$$\theta_8 = \arctan \left(\frac{V_{sd8}}{V_{ad8}} \right) \quad \dots (1 0 8)$$

【 0 0 9 8 】

S 1 2 9 では、+ c o s 信号 V_{x1} および + s i n 信号 V_{y1} に基づいて算出され、メモリ

50

部 5 2 に記憶されている位相補正值 θ_8 を取得する。そして、取得した位相補正值 θ_8 に基づき、S 1 2 8 で算出した補正前回転角度 θ_8 を補正する。具体的には、補正前回転角度 θ_8 から位相補正值 θ_8 を減算することにより、式 (1 0 9) に示すように、被検出部 8 7 の回転角度 θ を算出することができる。

$$\theta - \theta_8 = (\theta + 45 + \theta_8 / 2) - (45 + \theta_8 / 2) = \dots (1 0 9)$$

【 0 0 9 9 】

出力信号 V_{x2} 、 V_{y2} 以外の出力信号に異常が生じている場合 (S 1 2 7 : N O) に移行する S 1 3 0 では、全ての \cos 信号、全ての \sin 信号、または全ての \cos 信号および \sin 信号に異常が生じているので、角度検出を終了する。

なお、S 1 0 5、S 1 0 8、S 1 1 1、S 1 1 4、S 1 1 7、S 1 2 0、S 1 2 3、S 1 2 6、または S 1 2 9 で算出された回転角度 θ は、モータ 8 0 の駆動制御に用いられる。

【 0 1 0 0 】

以上詳述したように、回転角検出装置 1 0 の制御部 5 1 は、ハーフブリッジ 1 4 ~ 1 7 の中点から出力される出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} を、ハーフブリッジ 1 4 ~ 1 7 毎に取得する (図 5 中の S 1 1 および図 6 中の S 1 0 1)。取得される出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} と、 V_{y1} 、 V_{y2} とは、位相が異なっている。制御部 5 1 は、出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} に基づき、被検出部 8 7 の補正前回転角度 $\theta_0 \sim \theta_8$ を算出する (図 6 中の S 1 0 4、S 1 0 7、S 1 1 0、S 1 1 3、S 1 1 6、図 7 中の S 1 1 9、S 1 2 2、S 1 2 5、S 1 2 8)。制御部 5 1 は、出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} に基づき、位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ を算出する (図 5 中の S 1 2)。算出された位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ は、メモリ部 5 2 に記憶される (S 1 3)。そして制御部 5 1 は、メモリ部 5 2 に記憶された位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ を取得し、取得された位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ に基づき、補正前回転角度 $\theta_0 \sim \theta_8$ を補正し、被検出部 8 7 の回転角度 θ を算出する (図 6 中の S 1 0 5、S 1 0 8、S 1 1 1、S 1 1 4、S 1 1 7、図 7 中の S 1 2 0、S 1 2 3、S 1 2 6、S 1 2 9)。これにより、位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ に基づいて補正前回転角度 $\theta_0 \sim \theta_8$ を補正するので、センサ素子 2 1 ~ 2 8 の実装ずれ等があっても、高精度に被検出部 8 7 の回転角度 θ を算出することができる。また、取得された出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} に基づいて位相補正值 $\theta_0 \sim \theta_8$ を算出するので、外部からの正しい回転角度の測定が不要である。

【 0 1 0 1 】

また、本実施形態の出力信号は、 \cos 信号と \sin 信号とを含んでいる。また、4 つの出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} が取得される。これにより、出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} の一部に異常が生じた場合でも、被検出部 8 7 の回転角度 θ の検出を継続することができる。さらにまた、出力信号 V_{x1} が $+\cos$ 信号であり、出力信号 V_{x2} が $-\cos$ 信号であり、出力信号 V_{y1} が $+\sin$ 信号であり、出力信号 V_{y2} が $-\sin$ 信号である。これにより、出力信号の一部に異常が生じた場合でも、 $+\cos$ 信号 V_{x1} または $-\cos$ 信号 V_{x2} のいずれか一方、および、 $+\sin$ 信号 V_{y1} または $-\sin$ 信号 V_{y2} のいずれか一方が正常であれば、被検出部 8 7 の回転角度 θ の検出を継続することができる。

【 0 1 0 2 】

本実施形態では、全ての出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} が正常である場合 (S 1 0 3 : Y E S)、 $+\cos$ 信号 V_{x1} および $-\cos$ 信号 V_{x2} から算出される \cos 信号 V_x と、 $+\sin$ 信号 V_{y1} および $-\sin$ 信号 V_{y2} から算出される \sin 信号 V_y とに基づいて補正前回転角度 θ_0 を算出する (S 1 0 4)。また、制御部 5 1 は、 $+\cos$ 信号 V_{x1} および $-\cos$ 信号 V_{x2} から算出される \cos 信号 V_x と、 $+\sin$ 信号 V_{y1} および $-\sin$ 信号 V_{y2} から算出される \sin 信号 V_y とに基づいて位相補正值 θ_0 を算出する。そして、位相補正值 θ_0 に基づいて補正前回転角度 θ_0 を補正し、被検出部 8 7 の回転角度 θ を算出する (S 1 0 5)。これにより、センサ誤差等を消去した \cos 信号 V_x および \sin 信号 V_y に基づいて補正前回転角度 θ_0 および位相補正值 θ_0 を算出することができるので、より高精度に被検出部 8 7 の回転角度 θ を算出することができる。

【 0 1 0 3 】

+ cos 信号 V_{x1} のみに異常が生じている場合 (S106: YES)、- cos 信号 V_{x2} に基づいて補正前回転角度 θ_1 を算出し (S107)、- cos 信号 V_{x2} に基づいて算出された位相補正值 ϕ_1 に基づいて補正前回転角度 θ_1 を補正し、被検出部 87 の回転角度を算出する (S108)。

また、- cos 信号 V_{x2} のみに異常が生じている場合 (S109: YES)、+ cos 信号 V_{x1} に基づいて補正前回転角度 θ_2 を算出し (S110)、+ cos 信号 V_{x1} に基づいて算出された位相補正值 ϕ_2 に基づいて補正前回転角度 θ_2 を補正し、被検出部 87 の回転角度を算出する (S111)。

これにより、+ cos 信号または - cos 信号に異常が生じている場合でも、異常が生じていない + cos 信号または - cos 信号に基づいて算出された補正前回転角度および位相補正值に基づき、高精度に被検出部 87 の回転角度を算出することができる。

【0104】

+ sin 信号 V_{y1} のみに異常が生じている場合 (S112: YES)、- sin 信号 V_{y2} に基づいて補正前回転角度 θ_3 を算出し (S113)、- sin 信号 V_{y2} に基づいて算出された位相補正值 ϕ_3 に基づいて補正前回転角度 θ_3 を補正し、被検出部 87 の回転角度を算出する (S114)。

また、- sin 信号 V_{y2} のみに異常が生じている場合 (S115: YES)、+ sin 信号 V_{y1} に基づいて補正前回転角度 θ_4 を算出し (S116)、+ sin 信号 V_{y1} に基づいて算出された位相補正值 ϕ_4 に基づいて補正前回転角度 θ_4 を補正し、被検出部 87 の回転角度を算出する (S117)。

これにより、+ sin 信号 V_{y1} または - sin 信号 V_{y2} に異常が生じている場合でも、異常が生じていない + sin 信号 V_{y1} または - sin 信号 V_{y2} に基づいて算出された補正前回転角度および位相補正值に基づき、高精度に被検出部 87 の回転角度を算出することができる。

【0105】

+ cos 信号 V_{x1} および + sin 信号 V_{y1} に異常が生じている場合 (S118: YES)、- cos 信号 V_{x2} および - sin 信号 V_{y2} に基づいて補正前回転角度 θ_5 を算出し (S119)、- cos 信号 V_{x2} および - sin 信号 V_{y2} に基づいて算出された位相補正值 ϕ_5 に基づいて補正前回転角度 θ_5 を補正し、被検出部 87 の回転角度を算出する (S120)。

+ cos 信号 V_{x1} および - sin 信号 V_{y2} に異常が生じている場合 (S121: YES)、- cos 信号 V_{x2} および + sin 信号 V_{y1} に基づいて補正前回転角度 θ_6 を算出し (S122)、- cos 信号 V_{x2} および + sin 信号 V_{y1} に基づいて算出された位相補正值 ϕ_6 に基づいて補正前回転角度 θ_6 を補正し、被検出部 87 の回転角度を算出する (S123)。

【0106】

また、- cos 信号 V_{x2} および + sin 信号 V_{y1} に異常が生じている場合 (S124: YES)、+ cos 信号 V_{x1} および - sin 信号 V_{y2} に基づいて補正前回転角度 θ_7 を算出し (S125)、+ cos 信号 V_{x1} および - sin 信号 V_{y2} に基づいて算出された位相補正值 ϕ_7 に基づいて補正前回転角度 θ_7 を補正し、被検出部 87 の回転角度を算出する (S126)。

- cos 信号 V_{x2} および - sin 信号 V_{y2} に異常が生じている場合 (S127: YES)、+ cos 信号 V_{x1} および + sin 信号 V_{y1} に基づいて補正前回転角度 θ_8 を算出し (S128)、+ cos 信号 V_{x1} および + sin 信号 V_{y1} に基づいて算出された位相補正值 ϕ_8 に基づいて補正前回転角度 θ_8 を補正し、被検出部 87 の回転角度を算出する (S129)。

これにより、+ cos 信号 V_{x1} または - cos 信号 V_{x2} 、および、+ sin 信号 V_{y1} または - sin 信号 V_{y2} に異常が生じている場合でも、異常が生じていない + cos 信号 V_{x1} または - cos 信号 V_{x2} 、および、+ sin 信号 V_{y1} または - sin 信号 V_{y2} に基づいて算出された補正前回転角度および位相補正值に基づき、高精度に被検出部 87 の回転角

10

20

30

40

50

度を算出することができる。

【0107】

また、本実施形態では、被検出部87の回転角度を、位相ずれを とすると、補正前回転角度 は、以下の通りである。

$$= + 45 + / 2$$

また、位相補正值 は、以下の通りである。

$$= 45 + / 2$$

これにより、例えば補正前回転角度 から位相補正值 を減算することにより、被検出部87の回転角度 を簡素な式で算出することができる。また、位相補正值 は、定数であるので、位相補正值 をメモリ部52等に記憶する場合、位相補正值が関数である場合と比較して、当該メモリ部52における容量を低減することができる。

10

【0108】

本実施形態の回転角検出装置10は、電動パワーステアリング装置1に用いられる。これにより、電動パワーステアリング装置1のモータ80の回転角度を高精度に算出することができ、電動パワーステアリング装置1の駆動をより精度よく制御することができる。また、出力信号 V_{x1} 、 V_{x2} 、 V_{y1} 、 V_{y2} に異常が生じた場合であっても、出力信号間の位相ずれを補正して高精度に回転角度を算出し、電動パワーステアリング装置1の駆動を継続することができる。

【0109】

本実施形態では、制御部51が「出力信号取得手段」、「補正前回転角度算出手段」、「位相補正值算出手段」、「補正手段」を構成し、メモリ部52が「記憶部」を構成する。また、図5中のS11および図6中のS101が「出力信号取得手段」の機能としての処理に相当し、図6中のS104、S107、S110、S113、S116、図7中のS119、S122、S125、S128が「補正前回転角度算出手段」の機能としての処理に相当し、図5中のS12が「位相補正值算出手段」の機能としての処理に相当し、図6中のS105、S108、S111、S114、S117、図7中のS120、S123、S126、S129が「補正手段」の機能としての処理に相当する。

20

【0110】

(他の実施形態)

(ア)上記実施形態では、+cos信号 V_{x1} のみに異常が生じている場合(S106: YES)、-cos信号 V_{x2} およびsin信号 V_y から算出される補正前回転角度 θ_1 および位相補正值 ϕ_1 に基づいて回転角度 を算出した。他の実施形態では、-cos信号 V_{x2} および-sin信号 V_{y2} から算出される補正前回転角度 θ_5 および位相補正值 ϕ_5 に基づいて回転角度 を算出してもよいし、-cos信号 V_{x2} および+sin信号 V_{y1} から算出される補正前回転角度 θ_6 および位相補正值 ϕ_6 に基づいて回転角度 を算出してもよい。

30

同様に、-cos信号 V_{x2} のみに異常が生じている場合(S109: YES)、+cos信号 V_{x1} および-sin信号 V_{y2} から算出される補正前回転角度 θ_7 および位相補正值 ϕ_7 に基づいて回転角度 を算出してもよいし、+cos信号 V_{x1} および+sin信号 V_{y1} から算出される補正前回転角度 θ_8 および位相補正值 ϕ_8 に基づいて回転角度 を算出してもよい。

40

すなわち、+cos信号または-cos信号に異常が生じている場合、+sin信号、-sin信号、または+sin信号および-sin信号と、異常が生じていない+cos信号または-cos信号とに基づいて補正前回転角度および位相補正值を算出し、算出された補正前回転角度および位相補正值に基づき、被検出部の回転角度を算出する、ということである。

【0111】

また、+sin信号 V_{y1} のみに異常が生じている場合(S112: YES)、-cos信号 V_{x2} および-sin信号 V_{y2} から算出される補正前回転角度 θ_5 および位相補正值 ϕ_5 に基づいて回転角度 を算出してもよいし、+cos信号 V_{x1} および-sin信号 V_{y2} から算出される補正前回転角度 θ_7 および位相補正值 ϕ_7 に基づいて回転角度 を算出して

50

もよい。

さらにまた、 $- \sin$ 信号 V_{y2} のみに異常が生じている場合 (S 1 1 5 : Y E S)、 $- \cos$ 信号 V_{x2} および $+ \sin$ 信号 V_{y1} から算出される補正前回転角度 θ_6 および位相補正值 ϕ_6 に基づいて回転角度 θ を算出してもよいし、 $+ \cos$ 信号 V_{x1} および $+ \sin$ 信号 V_{y1} から算出される補正前回転角度 θ_8 および位相補正值 ϕ_8 に基づいて回転角度 θ を算出してもよい。

すなわち、 $+ \sin$ 信号または $- \sin$ 信号に異常が生じている場合、 $+ \cos$ 信号、 $- \cos$ 信号、または $+ \cos$ 信号および $- \cos$ 信号と、異常が生じていない $+ \sin$ 信号または $- \sin$ 信号に基づいて補正前回転角度および位相補正值を算出し、算出された補正前回転角度および位相補正值に基づき、被検出部の回転角度を算出する、ということである。

10

【 0 1 1 2 】

また、上記実施形態では、 \cos 信号および \sin 信号の全てが正常である場合、 \cos 信号同士を減算した \cos 信号、および、 \sin 信号同士を減算した \sin 信号に基づいて補正前回転角度および位相補正值を算出した。他の実施形態では、 \cos 信号および \sin 信号の全てが正常である場合、どのような \cos 信号と \sin 信号との組み合わせを用いて補正前回転角度および位相補正值を算出してもよい。

また、補正前回転角度および位相補正值の算出方法は、上記実施形態にて説明した方法に限らない。

【 0 1 1 3 】

(イ) 上記実施形態では、 \cos 信号を基準として位相ずれを補正するための位相補正值を算出したが、他の実施形態では、 \sin 信号を基準として位相ずれを補正するための位相補正值を算出してもよい。なお、出力信号は \cos 信号および \sin 信号に限らず、位相の異なる複数の出力信号としてもよい。その場合、1つの出力信号を基準とし、他の出力信号の位相ずれを補正するための位相補正值を算出すればよい。

20

【 0 1 1 4 】

(ウ) 上記実施形態では、 \cos 信号および \sin 信号の振幅が 1 であり、増幅部 4 0 において加算されるオフセット値は 2 . 5 であった。他の実施形態では、マイコン 5 0 にて出力信号を取得可能な範囲において、振幅およびオフセット値は適宜設定することができる。

30

また、上記実施形態では、取得される $+ \cos$ 信号、 $- \cos$ 信号、 $+ \sin$ 信号、および $- \sin$ 信号の振幅は等しかったが、他の実施形態では、取得される信号の振幅は、出力信号毎に異なってもよい。この場合、それぞれの出力信号の振幅がわかっているならば、制御部において演算処理を行い、振幅を補正することにより、上記実施形態と同様にして補正前回転角度および位相補正值を算出し、被検出部の回転角度を算出することができる。

【 0 1 1 5 】

(エ) 上記実施形態では、回転角検出装置は増幅部を備えていたが、他の実施形態では、増幅部を省き、それぞれのハーフブリッジから出力される出力信号がそのままマイコン 5 0 によって取得されるように構成してもよい。

40

(オ) 上記実施形態では、2つのブリッジ回路が別々の電源に接続されていたが、他の実施形態では、2つのブリッジ回路が同一の電源に接続されていてもよい。また、一方のブリッジ回路から取得される出力信号が $+ \cos$ 信号および $- \cos$ 信号であり、他方のブリッジ回路から取得される出力信号が $+ \sin$ 信号および $- \sin$ 信号であってもよい。

【 0 1 1 6 】

(カ) 上記実施形態では、ブリッジ回路は 2 つであったが、他の実施形態では、ブリッジ回路は 2 つに限らず、1 つであってもよいし、3 つ以上であってもよい。また、ハーフブリッジから出力され、マイコンにて取得される出力信号は、少なくとも 2 つの位相の異なる出力信号があれば、いくつであってもよい。さらにまた、1つのハーフブリッジから

50

複数の出力信号を取得してもよい。

【0117】

(キ) 上記実施形態では、回転角検出装置を電動パワーステアリング装置に用いたが、これに限らず、他の分野へ適用することはもちろん可能である。

以上、本発明は、上記実施形態になんら限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の形態で実施可能である。

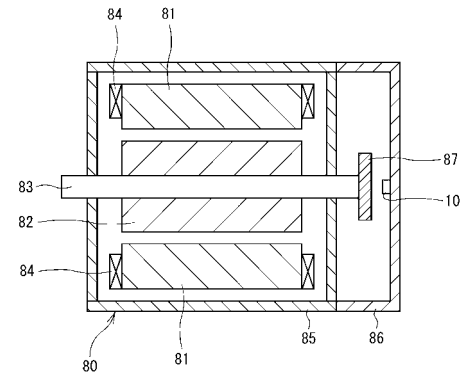
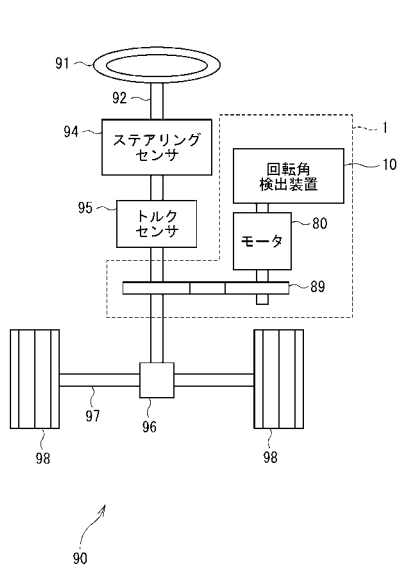
【符号の説明】

【0118】

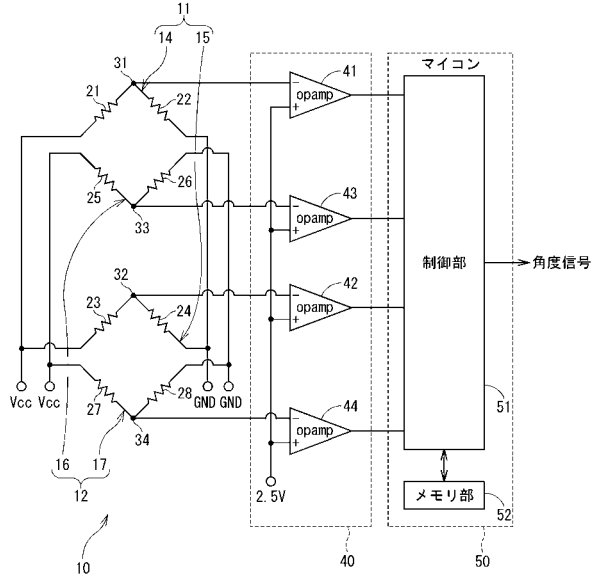
- 1・・・電動パワーステアリング装置
- 10・・・回転角検出装置 10
- 11・・・第1ブリッジ回路(回路部)
- 12・・・第2ブリッジ回路(回路部)
- 14～17・・・ハーフブリッジ(センサ素子組)
- 21～28・・・センサ素子
- 31～34・・・ハーフブリッジの midpoint、
- 40・・・増幅部
- 50・・・マイコン
- 51・・・制御部(出力信号取得手段、補正前回転角度算出手段、位相補正值算出手段、補正手段)
- 52・・・メモリ部(記憶部) 20
- 80・・・モータ
- 87・・・被検出部
- 90・・・ステアリングシステム

【図1】

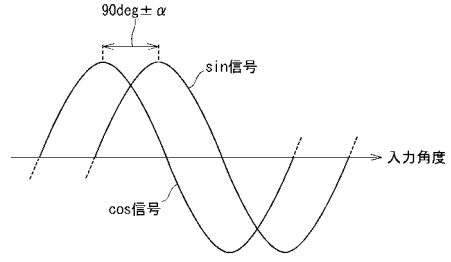
【図2】



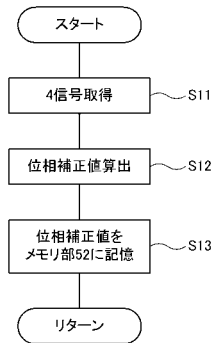
【図3】



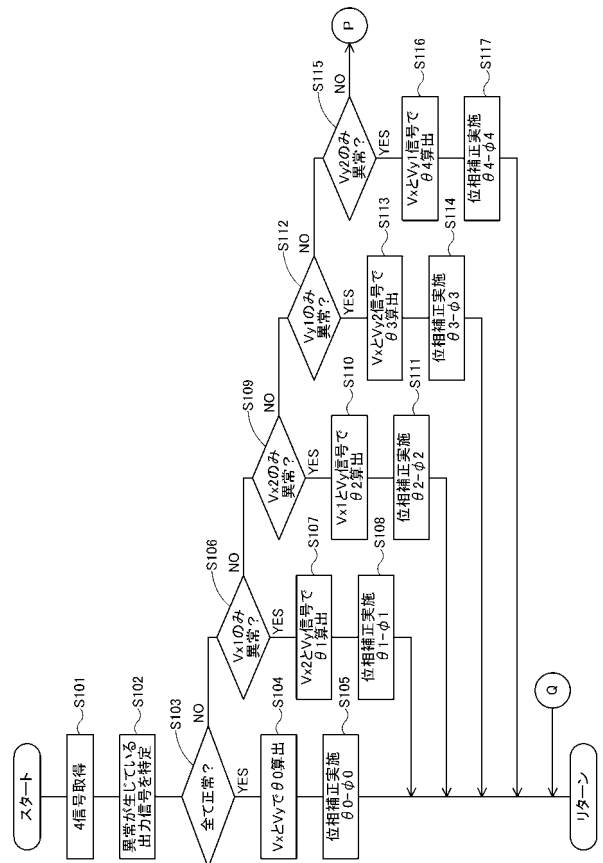
【図4】



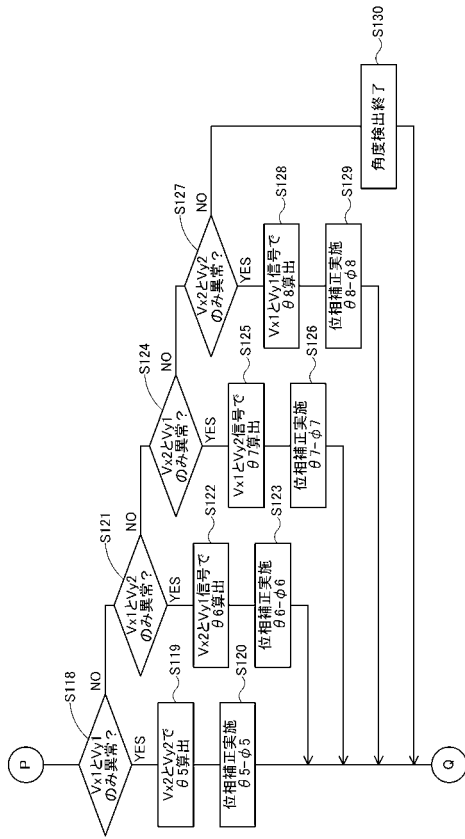
【図5】



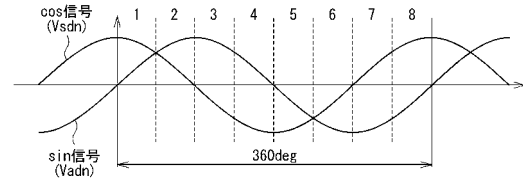
【図6】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

エリア	θ_n	$ V_{adn} $ 、 $ V_{sdn} $ の関係	V_{adn} の符号	V_{sdn} の符号	γ_n の算出方法	θ_n の算出方法
1	$0 \leq \theta_n \leq 45$	$ V_{adn} \leq V_{sdn} $	$>=0$	$>=0$	tan	γ_n
2	$45 < \theta_n \leq 90$	$ V_{adn} > V_{sdn} $	$>=0$	$>=0$	cot	$90 - \gamma_n$
3	$90 < \theta_n \leq 135$	$ V_{adn} > V_{sdn} $	$>=0$	<0	cot	$90 + \gamma_n$
4	$135 < \theta_n \leq 180$	$ V_{adn} \leq V_{sdn} $	$>=0$	<0	tan	$180 - \gamma_n$
5	$180 < \theta_n \leq 225$	$ V_{adn} \leq V_{sdn} $	<0	<0	tan	$180 + \gamma_n$
6	$225 < \theta_n \leq 270$	$ V_{adn} > V_{sdn} $	<0	<0	cot	$270 - \gamma_n$
7	$270 < \theta_n \leq 315$	$ V_{adn} > V_{sdn} $	<0	$>=0$	cot	$270 + \gamma_n$
8	$315 < \theta_n < 360$	$ V_{adn} \leq V_{sdn} $	<0	$>=0$	tan	$360 - \gamma_n$

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-194861(JP,A)
特開2008-128962(JP,A)
国際公開第1998/021553(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01D5/00~5/252、5/39~5/62
G01B7/00~7/34