

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6210284号
(P6210284)

(45) 発行日 平成29年10月11日(2017.10.11)

(24) 登録日 平成29年9月22日(2017.9.22)

(51) Int.Cl.

G 0 1 D 5/244 (2006.01)

F 1

G 0 1 D 5/244

K

請求項の数 1 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2013-192761 (P2013-192761)
 (22) 出願日 平成25年9月18日 (2013.9.18)
 (65) 公開番号 特開2015-59790 (P2015-59790A)
 (43) 公開日 平成27年3月30日 (2015.3.30)
 審査請求日 平成28年8月9日 (2016.8.9)

(73) 特許権者 000001247
 株式会社ジェイテクト
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 (74) 代理人 100087701
 弁理士 稲岡 耕作
 (74) 代理人 100101328
 弁理士 川崎 実夫
 (74) 代理人 100086391
 弁理士 香山 秀幸
 (72) 発明者 薩藤 創
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 株式会社ジェイテクト内
 (72) 発明者 狩集 裕二
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 株式会社ジェイテクト内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】回転角検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転体の回転に応じて、互いに位相差 θ を有する第1および第2の正弦波信号 V_1 , V_2 をそれぞれ出力する第1および第2の磁気センサを含み、前記位相差 θ が電気角の $\frac{1}{2} \theta$ [deg] であり、これらの磁気センサの出力信号 V_1 , V_2 に基づいて前記回転体の回転角を検出する回転角検出装置であって、

前記第1の正弦波信号 V_1 と前記第2の正弦波信号 V_2 とに基づいて、前記回転体の回転角 θ を演算する手段と、

前記第1の正弦波信号 V_1 と前記第2の正弦波信号 V_2 と前記位相差 θ とに基づいて、前記両磁気センサが正常であるかまたは前記両磁気センサのうちの少なくとも一方が故障しているかを判定する判定手段とを含み、

前記判定手段は、予め設定された下限値を L ($L < 0$) とし、予め設定された上限値を U ($U > 0$) とすると、次式(a)を満たしているときには前記両磁気センサが正常であると判定し、次式(a)を満たしていないときには前記両磁気センサのうちの少なくとも一方が故障していると判定するように構成されている、回転角検出装置。

$$L \leq X_{1,2} \leq U \quad \dots (a)$$

$$X_{1,2} = V_1^2 + V_2^2 - 2 \{ 1 - 2 \sin^2 (\theta / 2) \} V_1 \cdot V_2 - 1$$

$$+ \{ 1 - 2 \sin^2 (\theta / 2) \}^2$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、回転体の回転角を検出する回転角検出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電動パワーステアリング装置などに使用されるブラシレスモータは、ロータの回転角度に合わせてステータ巻線に電流を通電することによって制御される。そこで、たとえば、図5に示す回転角検出装置が知られている。回転角検出装置は、2つの磁極N, Sを有する磁石を含むロータ102と、ロータ102の回転中心軸を中心として電気角の90[deg]の角度間隔をおいて配置された2つの磁気センサ111, 112とを含む。各磁気センサ111, 112は、互いに90[deg]の位相差を有する正弦波信号を出力する。回転角検出装置は、これらの2つの正弦波信号に基づいてロータ102の回転角を検出する。10

【0003】

図5に矢印で示す方向をロータ102の正方向の回転方向とする。そして、ロータ102が正方向に回転されるとロータ102の回転角が大きくなり、ロータ102が逆方向に回転されると、ロータ102の回転角が小さくなるものとする。各磁気センサ111, 112からは、図6に示すように、互いに90[deg]の位相差を有する正弦波信号が出力される。ロータ102の回転角 θ に対して、一方の磁気センサ111から $V_1 = V_1 \cdot \sin(\theta)$ の出力信号 V_1 が出力されるとすると、他方の磁気センサ112からは、 $V_2 = V_2 \cdot \sin(\theta + 90^\circ) = V_2 \cdot \cos(\theta)$ の出力信号 V_2 が出力される。 V_1 , V_2 は、それぞれ振幅を表している。20

【0004】

これらの振幅 V_1 , V_2 が互いに等しい値であるとみなすか、あるいは両振幅が所定の規定値となるように両信号 V_1 , V_2 を正規化したとすると、一方の出力信号 V_1 は $V_1 = V_1 \cdot \sin(\theta)$ と表され、他方の出力信号 V_2 は $V_2 = V_2 \cdot \cos(\theta)$ と表される。さらに、 $V_1 = 1$ とすると、一方の出力信号 V_1 は $V_1 = \sin(\theta)$ で表され、他方の出力信号 V_2 は $V_2 = \cos(\theta)$ で表される。そこで、説明を簡単にするために、磁気センサ111, 112の出力信号 V_1 , V_2 を $V_1 = \sin(\theta)$, $V_2 = \sin(\theta + 90^\circ) = \cos(\theta)$ で表すことにする。

【0005】

ロータの回転角 θ は、両出力信号 V_1 , V_2 を用いて、たとえば、次式(1)に基づいて求めることができる。30

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1}(\sin(\theta) / \cos(\theta)) \\ &= \tan^{-1}(\sin(\theta) / \sin(\theta + 90^\circ)) \\ &= \tan^{-1}(V_1 / V_2) \dots (1) \end{aligned}$$

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2013-61346号公報

【特許文献2】特開2010-101746号公報

【特許文献3】特開2007-322197号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

前述したような従来の回転角検出装置においては、両磁気センサ111, 112の出力信号の少なくとも一方が故障した場合には、ロータ102の回転角 θ を検出できなくなる。そこで、 $\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta) = 1$ の関係($V_1^2 + V_2^2 = 1$ の関係)を利用して、次式(2)に基づいて、両磁気センサ111, 112が正常であるか否かを判別している。

$$\text{下限値 } V_1^2 + V_2^2 \leq \text{上限値} \dots (2)$$

下限値は、例えば0.9に設定され、上限値は例えば1.1に設定される。前記式(2)を満たしている場合には、両磁気センサ111, 112は正常であると判定され、前記式40

(2)を満たしていない場合には、両磁気センサ 111, 112 のうちの少なくとも一方が故障していると判定される。

【0008】

2つの磁気センサが電気角の 90 [deg] 以外の角度間隔をおいて配置された場合にも、それらの角度間隔が電気角の 180 [deg] でなければ、それらの2つの磁気センサの出力信号に基づいて、回転体の回転角を検出することが可能である。そのような場合には、前記式(2)によって、両磁気センサが正常であるか否かを判定することはできない。

この発明の目的は、2つの磁気センサが電気角の 120 [deg] の角度間隔をおいて配置されている場合において、それらの磁気センサが正常であるか否かを判定することができる回転角検出装置を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

請求項1記載の発明は、回転体の回転に応じて、互いに位相差 を有する第1および第2の正弦波信号 V_1, V_2 をそれぞれ出力する第1および第2の磁気センサ(11, 12)を含み、前記位相差 が電気角の 120 [deg] であり、これらの磁気センサの出力信号 V_1, V_2 に基づいて前記回転体の回転角を検出する回転角検出装置(1)であって、前記第1の正弦波信号 V_1 と前記第2の正弦波信号 V_2 とに基づいて、前記回転体の回転角 を演算する手段(20)と、前記第1の正弦波信号 V_1 と前記第2の正弦波信号 V_2 と前記位相差 とに基づいて、前記両磁気センサが正常であるかまたは前記両磁気センサのうちの少なくとも一方が故障しているかを判定する判定手段(20)とを含み、前記判定手段は、予め設定された下限値を L ($L < 0$) とし、予め設定された上限値を U ($U > 0$) とすると、次式(a)を満たしているときには前記両磁気センサが正常であると判定し、次式(a)を満たしていないときには前記両磁気センサのうちの少なくとも一方が故障していると判定するように構成されている、回転角検出装置である。

20

【0010】

$$\begin{aligned} L & X_{12} U \dots (a) \\ X_{12} &= V_1^2 + V_2^2 - 2 \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \} V_1 \cdot V_2 - 1 \\ &+ \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \}^2 \end{aligned}$$

なお、括弧内の英数字は、後述の実施形態における対応構成要素等を表すが、むろん、この発明の範囲は当該実施形態に限定されない。

30

【0011】

この発明によれば、2つの磁気センサが電気角の 120 [deg] の角度間隔をおいて配置されている場合において、それらの磁気センサが正常であるか否かを判定することができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、この発明の一実施形態に係る回転角検出装置の構成を示す模式図である。

【図2】図2は、第1の磁気センサ、第2の磁気センサおよび第3の磁気センサの出力信号の波形を示す模式図である。

40

【図3】磁気センサの故障検出方法の基本的な考え方について説明するための模式図である。

【図4A】図4Aは、回転角演算装置の動作の一例を説明するためのフローチャートである。

【図4B】図4Bは、回転角演算装置の動作の一例を説明するためのフローチャートである。

【図4C】図4Cは、回転角演算装置の動作の一例を説明するためのフローチャートである。

【図5】図5は、従来の回転角検出装置による回転角演算方法を説明するための模式図で

50

ある。

【図6】図6は、第1の磁気センサおよび第2の磁気センサの出力信号の波形を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下では、この発明をブラシレスモータのロータの回転角を検出するための回転角検出装置に適用した場合の実施形態について、添付図面を参照して詳細に説明する。

図1は、この発明の一実施形態に係る回転角検出装置の構成を示す模式図である。

この回転角検出装置1は、たとえば、電動パワーステアリング装置のブラシレスモータのロータの回転角を検出するために用いることができる。回転角検出装置1は、たとえば、ブラシレスモータの回転に応じて回転する検出用ロータ2（以下、「ロータ2」という）を有している。ロータ2は、2つの磁極N, S（1組の磁極対）を有する磁石を含んでいる。

【0014】

ロータ2の周囲には、3つの磁気センサ11, 12, 13が、ロータ2の周方向に間隔をあいて配置されている。これら3つの磁気センサ11, 12, 13を、それぞれ第1の磁気センサ11、第2の磁気センサ12および第3の磁気センサ13という場合がある。磁気センサとしては、たとえば、ホール素子、磁気抵抗素子（MR素子）等、磁界の作用により電気的特性が変化する特性を有する素子を備えたものを用いることができる。

【0015】

3つの磁気センサ11, 12, 13は、ロータ2の中心軸を中心した同心円上に配置されている。また、この実施形態では、隣り合う2つの磁気センサの角度間隔を電気角で表した場合、3つの磁気センサ11, 12, 13は等角度間隔をあいて配置されている。第1の磁気センサ11と第2の磁気センサ12とは、ロータ2の回転中心軸を中心として、

（は電気角）[deg]の角度間隔をあいて配置されている。第1の磁気センサ11と第3の磁気センサ13とは、ロータ2の回転中心軸を中心として、[deg]より大きな（は電気角）[deg]の角度間隔をあいて配置されている。この実施形態では、は120[deg]に設定され、は240[deg]に設定されている。したがって、この実施形態では、第2の磁気センサ12と第3の磁気センサ13との間の角度間隔および第3磁気センサ13と第1磁気センサ11との間の角度間隔は、（=120）[deg]である。

【0016】

図1に示すロータ2の基準位置Pと第1の磁気センサ11との間の角度間隔をロータ2の回転角（ロータ回転角）と定義する。また、図1の矢印の方向を正転方向とする。そして、ロータ2が正方向に回転されるとロータ回転角が大きくなり、ロータ2が逆方向に回転されると、ロータ回転角が小さくなるものとする。第1の磁気センサ11からは、 $V_1 = 1 \cdot \sin(\theta + \phi_1)$ の出力信号 V_1 が出力される。第2の磁気センサ12からは、 $V_2 = 2 \cdot \sin(\theta + \phi_2) = 2 \cdot \sin(\theta + 120)$ の出力信号 V_2 が出力される。第3の磁気センサ13からは、 $V_3 = 3 \cdot \sin(\theta + \phi_3) = 3 \cdot \sin(\theta + 240)$ の出力信号 V_3 が出力される。 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 は、それぞれ振幅を表している。

【0017】

これらの振幅 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 が互いに等しい値であるとみなすか、あるいは各振幅が所定の規定値となるように各信号 V_1, V_2, V_3 を正規化したとすると、各信号 V_1, V_2, V_3 は、それぞれ、 $\sin(\theta + \phi_1)$ 、 $\sin(\theta + \phi_2)$ および $\sin(\theta + \phi_3)$ と表される。ここで、 $\phi = 1$ とすると、各信号 V_1, V_2, V_3 は、それぞれ、 $\sin(\theta + 120)$ および $\sin(\theta + 240)$ と表される。そこで、以下の説明においては、説明を簡単にするために、各磁気センサ11, 12, 13の出力信号 V_1, V_2, V_3 を、それぞれ $V_1 = \sin(\theta + 120)$ 、 $V_2 = \sin(\theta + 240)$ および $V_3 = \sin(\theta + 360)$ と表することにする。

【0018】

10

20

30

40

50

図2に、各磁気センサ11, 12, 13の出力信号 V_1 , V_2 , V_3 の波形を示す。以下において、出力信号 V_1 を第1の出力信号といい、出力信号 V_2 を第2の出力信号といい、出力信号 V_3 を第3の出力信号という場合がある。

この実施形態では、第1の出力信号 V_1 と第2の出力信号 V_2 との位相差、第2の出力信号 V_2 と第3の出力信号 V_3 との位相差および第3の出力信号 V_3 と第1の出力信号 V_1 との位相差は、120 [deg] である。つまり、この実施形態では、隣り合う2つの磁気センサの出力信号の位相差が120 (= 360 / 磁気センサの総数) [deg] となるように、隣り合う2つの磁気センサの角度間隔が設定されている。

【0019】

各磁気センサ11, 12, 13の出力信号 V_1 , V_2 , V_3 は、回転角演算装置20に入力される。回転角演算装置20は、各磁気センサ11, 12, 13の出力信号 V_1 , V_2 , V_3 に基づいて、ロータ2の回転角を演算する。回転角演算装置20は、たとえば、マイクロコンピュータから構成され、CPU(中央演算処理装置)およびメモリ(ROM, RAM等)を含んでいる。回転角演算装置20は、各磁気センサ11, 12, 13の故障を検出する機能と、正常な2つの磁気センサの出力信号に基づいてロータ2の回転角を演算する機能とを備えている。

【0020】

図3を参照して、磁気センサの故障を検出する機能について説明する。

回転角演算装置20は、隣り合う2つの磁気センサの出力信号に基づいて、それらの磁気センサが正常であるか否かを判定する機能を備えている。第1の磁気センサ11の出力信号 V_1 と第2の磁気センサ12の出力信号 V_2 に基づいて、それらの磁気センサが正常であるか否かを判定する場合について説明する。

【0021】

ロータ2の回転中心軸と第1の磁気センサ11とを結ぶ直線の長さをAとし、ロータ2の回転中心軸と第2の磁気センサ12とを結ぶ直線の長さをBとし、第1の磁気センサ11と第2の磁気センサ12とを結ぶ直線の長さをCとする。

ロータ2の回転角度の基準位置Pと第1の磁気センサ11との角度間隔を α_1 (この実施形態では、ロータ回転角に相当する)とし、ロータ2の回転角度の基準位置Pと第2の磁気センサ12との角度間隔を α_2 とすると、 $V_1 = \sin \alpha_1$ となり、 $V_2 = \sin \alpha_2 = \sin(\alpha_1 + \alpha_2)$ となる。

【0022】

余弦定理により、次式(3)が成り立つ。

$$A^2 + B^2 - 2AB \cos(\alpha_2 - \alpha_1) = C^2 \quad \dots(3)$$

両磁気センサ11, 12は、ロータ2の中心軸を中心した同心円上に配置されているので、 $A = B$ である。また、直線A, B, Cを3辺とする三角形は、二等辺三角形であるので、 $C = 2A \sin(\alpha_2 / 2)$ である。

【0023】

前記式(3)に、 $A = B$ および $C = 2A \sin(\alpha_2 / 2)$ を代入すると、次式(4)が得られる。

$$(\cos \alpha_2 \cos \alpha_1 + \sin \alpha_2 \sin \alpha_1) = 1 - 2 \sin^2(\alpha_2 / 2) \quad \dots(4)$$

前記式(4)を変形すると、次式(5)が得られる。

$$\cos \alpha_2 \cos \alpha_1 = \{1 - 2 \sin^2(\alpha_2 / 2)\} - \sin \alpha_2 \sin \alpha_1 \quad \dots(5)$$

前記式(5)の両辺を二乗すると、次式(6)が得られる。

【0024】

$$\begin{aligned} (\cos \alpha_2 \cos \alpha_1)^2 &= \{1 - 2 \sin^2(\alpha_2 / 2)\}^2 \\ &\quad - 2 \{1 - 2 \sin^2(\alpha_2 / 2)\} \sin \alpha_2 \sin \alpha_1 \\ &\quad + (\sin \alpha_2 \sin \alpha_1)^2 \end{aligned} \quad \dots(6)$$

前記式(6)に、 $\cos^2 \alpha_1 = 1 - \sin^2 \alpha_1$ および $\cos^2 \alpha_2 = 1 - \sin^2 \alpha_2$ を代入すると、次式(7)が得られる。

【0025】

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned} & \sin_1^2 + \sin_2^2 - 2 \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \} \sin_1 \sin_2 \\ & = 1 - \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \}^2 \end{aligned} \quad \dots (7)$$

前記式(7)に、 $\sin_1 = V_1$ および、 $\sin_2 = V_2$ を代入すると、次式(8)が得られる。

$$\begin{aligned} & V_1^2 + V_2^2 - 2 \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \} V_1 \cdot V_2 \\ & = 1 - \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \}^2 \end{aligned} \quad \dots (8)$$

そこで、予め設定された下限値を L ($L < 0$) とし、予め設定された上限値を U ($U > 0$) とすると、次式(9)に基づいて、両磁気センサ 11, 12 が正常であるか否かを判定することができる。

【0026】

$$\begin{aligned} & L \leq X_{12} \leq U \dots (9) \\ & X_{12} = V_1^2 + V_2^2 - 2 \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \} V_1 \cdot V_2 \\ & \quad - 1 + \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \}^2 \end{aligned}$$

前記式(9)を満たしている場合には、両磁気センサ 11, 12 が正常であると判定される。一方、前記式(9)を満たしていない場合には、両磁気センサ 11, 12 のうちの少なくとも一方が故障していると判定される。

【0027】

第2の磁気センサ 12 の出力信号 V_2 と第3の磁気センサ 13 の出力信号 V_3 とに基づいて、それらの磁気センサが正常であるか否かを判定する場合には、次式(10)に基づいて、両磁気センサ 11, 12 が正常であるか否かを判定することができる。

$$\begin{aligned} & L \leq X_{23} \leq U \dots (10) \\ & X_{23} = V_2^2 + V_3^2 - 2 \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \} V_2 \cdot V_3 \\ & \quad - 1 + \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \}^2 \end{aligned}$$

第1の磁気センサ 11 の出力信号 V_1 と第3の磁気センサ 13 の出力信号 V_3 とに基づいて、それらの磁気センサが正常であるか否かを判定する場合には、次式(11)に基づいて、両磁気センサ 11, 12 が正常であるか否かを判定することができる。

【0028】

$$\begin{aligned} & L \leq X_{31} \leq U \dots (11) \\ & X_{31} = V_3^2 + V_1^2 - 2 \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \} V_3 \cdot V_1 \\ & \quad - 1 + \{ 1 - 2 \sin^2 (\pi/2) \}^2 \end{aligned}$$

この実施形態では、 π は 1.20 [deg] であるので、前記式(9), (10), (11)における X_{12}, X_{23}, X_{31} は、それぞれ次式(12), (13), (14)で表される。

【0029】

$$X_{12} = V_1^2 + V_2^2 + V_1 \cdot V_2 - 0.75 \dots (12)$$

$$X_{23} = V_2^2 + V_3^2 + V_2 \cdot V_3 - 0.75 \dots (13)$$

$$X_{31} = V_3^2 + V_1^2 + V_3 \cdot V_1 - 0.75 \dots (14)$$

この場合、下限値 L および上限値は、たとえば、次式(15), (16)で表される。

$$L = -0.75 \times (1/100) \dots (15)$$

$$U = 0.75 \times (1/100) \dots (16)$$

前記式(15), (16)において、 π は、予め設定される値であり、例えれば 5 に設定される。

【0030】

同心円上に 3 個以上の N 個の磁気センサが間隔をおいて配置され、隣り合う 2 つの磁気センサの出力信号間の位相差が $360/N$ [deg] となるように隣り合う磁気センサの角度間隔が設定されている場合の故障判定方法について説明する。このような場合には、隣り合う 2 つの磁気センサのうちの一方の磁気センサの出力信号を V_a とし、他方の磁気センサの出力信号を V_b とし、予め設定された下限値を L ($L < 0$) とし、予め設定された上限値を U ($U > 0$) とすると、次式(17)に基づいて、両磁気センサが正常であるか否かを判定することができる。

【0031】

$$L \leq X_{ab} \leq U \dots (17)$$

$$X_{ab} = V_a^2 + V_b^2 - 2 \{ 1 - 2 \sin^2 (180/N) \} V_a \cdot V_b \\ - 1 + \{ 1 - 2 \sin^2 (180/N) \}^2$$

次に、ロータ回転角を演算する機能について説明する。回転角演算装置20は、第1の出力信号 V_1 と第2の出力信号 V_2 とに基づいてロータ回転角 θ を演算する機能と、第1の出力信号 V_1 と第3の磁出力信号 V_3 とに基づいてロータ回転角 θ を演算する機能と、第2の出力信号 V_2 と第3の出力信号 V_3 とに基づいてロータ回転角 θ を演算する機能とを備えている。

【0032】

まず、第1の出力信号 V_1 と第2の出力信号 V_2 とに基づいてロータ回転角 θ を演算する機能について説明する。前述したように、 $V_1 = \sin \theta$ であり、 $V_2 = \sin(\theta + \alpha)$ である。 $\sin(\theta + \alpha)$ は、加法定理により、次式(18)に示すよう展開することができる。

$$\sin(\theta + \alpha) = \sin \theta \cdot \cos \alpha + \cos \theta \cdot \sin \alpha \quad \dots (18)$$

前記式(18)により、次式(19)を得ることができる。

【0033】

$$\cos \theta = \{ \sin(\theta + \alpha) - \sin \theta \cdot \cos \alpha \} / \sin \alpha \\ = (V_2 - V_1 \cdot \cos \alpha) / \sin \alpha \quad \dots (19)$$

ロータ回転角 θ は、次式(20)に基づいて演算することができる。

$$\theta = \tan^{-1} (\sin \alpha / \cos \alpha) \\ = \tan^{-1} \{ V_1 \cdot \sin \alpha / (V_2 - V_1 \cdot \cos \alpha) \} \quad \dots (20)$$

なお、この実施形態の場合には、 $\alpha = 120$ [deg] である。

【0034】

次に、第1の出力信号 V_1 と第3の出力信号 V_3 とに基づいてロータ回転角 θ を演算する機能について説明する。前述したように、 $V_1 = \sin \theta$ であり、 $V_3 = \sin(\theta + \alpha)$ である。 $\sin(\theta + \alpha)$ は、加法定理により、次式(21)に示すよう展開することができる。

$$\sin(\theta + \alpha) = \sin \theta \cdot \cos \alpha + \cos \theta \cdot \sin \alpha \quad \dots (21)$$

前記式(21)により、次式(22)を得ることができます。

【0035】

$$\cos \theta = \{ \sin(\theta + \alpha) - \sin \theta \cdot \cos \alpha \} / \sin \alpha \\ = (V_3 - V_1 \cdot \cos \alpha) / \sin \alpha \quad \dots (22)$$

ロータ回転角 θ は、次式(23)に基づいて演算することができる。

$$\theta = \tan^{-1} (\sin \alpha / \cos \alpha) \\ = \tan^{-1} \{ V_1 \cdot \sin \alpha / (V_3 - V_1 \cdot \cos \alpha) \} \quad \dots (23)$$

なお、この実施形態の場合には、 $\alpha = 240$ [deg] である。

【0036】

次に、第2の出力信号 V_2 と第3の出力信号 V_3 とに基づいてロータ回転角 θ を演算する機能について説明する。 $\alpha = (\theta + \alpha)$ とすると、 $V_2 = \sin \theta$ で表され、 $V_3 = \sin(\theta + \alpha)$ で表される。 $\sin(\theta + \alpha)$ は、加法定理により、次式(24)に示すよう展開することができる。

$$\sin(\theta + \alpha) = \sin \theta \cdot \cos \alpha + \cos \theta \cdot \sin \alpha \quad \dots (24)$$

前記式(24)により、次式(25)を得ることができます。

【0037】

$$\cos \theta = \{ \sin(\theta + \alpha) - \sin \theta \cdot \cos \alpha \} / \sin \alpha \\ = (V_3 - V_2 \cdot \cos \alpha) / \sin \alpha \quad \dots (25)$$

ロータ回転角 θ は、次式(26)に基づいて演算することができる。

$$\theta = - \tan^{-1} (\sin \alpha / \cos \alpha) \\ = [\tan^{-1} \{ V_2 \cdot \sin \alpha / (V_3 - V_2 \cdot \cos \alpha) \}] - \quad \dots (26)$$

なお、この実施形態の場合には、 $\alpha = 120$ [deg] である。

【0038】

図4A、図4Bおよび図4Cは、回転角演算装置20の動作の一例を説明するためのフ

10

20

40

50

ローチャートである。図4 A、図4 Bおよび図4 Cに示される処理は、所定の演算周期毎に繰り返し実行される。

まず、回転角演算装置20によって使用されるフラグについて説明する。回転角演算不能フラグF0は、3つの磁気センサ11, 12, 13のうちの2個以上の磁気センサが故障していることを記憶するためのフラグであり、2個以上の磁気センサが故障していると判定されたときにセット(F0 = 1)される。

【0039】

第1故障フラグF1は、第1の磁気センサ11が故障していることを記憶するためのフラグであり、第1の磁気センサ11が故障していると判定されたときにセット(F1 = 1)される。第2故障フラグF2は、第2の磁気センサ12が故障していることを記憶するためのフラグであり、第2の磁気センサ12が故障していると判定されたときにセット(F2 = 1)される。第3故障フラグF3は、第3の磁気センサ13が故障していることを記憶するためのフラグであり、第3の磁気センサ13が故障していると判定されたときにセット(F3 = 1)される。なお、回転角演算装置20の電源がオンされたときには、全てのフラグF0, F1, F2, F3は、リセット(F0 = F1 = F2 = F3 = 0)される。

【0040】

図4 Aを参照して、回転角演算装置20は、まず、各磁気センサ11, 12, 13の出力信号V1, V2, V3を取得する(ステップS1)。そして、回転角演算不能フラグF0がセット(F0 = 1)されているか否かを判別する(ステップS2)。回転角演算不能フラグF0がリセット(F0 = 0)されている場合には(ステップS2: NO)、回転角演算装置20は、前記式(12), (13), (14)に基づいて、X12, X23, X31をそれぞれ演算する(ステップS3, S4, S5)。

【0041】

次に、回転角演算装置20は、第1故障フラグF1がセットされているか否かを判別する(ステップS6)。第1故障フラグF1がリセット(F1 = 0)されている場合には(ステップS6: NO)、回転角演算装置20は、第2故障フラグF2がセットされているか否かを判別する(ステップS7)。第2故障フラグF2がリセット(F2 = 0)されている場合には(ステップS7: NO)、回転角演算装置20は、前記ステップS3で演算されたX12が、L X12 Uの条件を満たしているか否かを判別する(ステップS8)。

【0042】

L X12 Uの条件を満たしている場合には(ステップS8: YES)、回転角演算装置20は、第1および第2の磁気センサ11, 12は正常であると判定し、前記ステップS5で演算されたX31が、L X31 Uの条件を満たしているか否かを判別する(ステップS9)。L X31 Uの条件を満たしている場合には(ステップS9: YES)、回転角演算装置20は、第1および第3の磁気センサ11, 13は正常であると判定し、ステップS10に移行する。ステップS10では、回転角演算装置20は、第1の出力信号V1と第2の出力信号V2とを用い、前記式(20)に基づいて回転角を演算する。そして、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。なお、ステップS10において、回転角演算装置20は、前記式(23)または前記式(26)に基づいて、回転角を演算してもよい。

【0043】

前記ステップS9において、L X31 Uの条件を満たしていないと判別された場合には(ステップS9: NO)、図4 Bに示すように、回転角演算装置20は、第3の磁気センサ13が故障していると判定し、第3故障フラグF3をセット(F3 = 1)する(ステップS11)。そして、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。

前記ステップS8(図4 A参照)において、L X12 Uの条件を満たしていないと判別された場合には(ステップS8: NO)、図4 Bに示すように、回転角演算装置20は、第3故障フラグF3がセット(F3 = 1)されているか否かを判別する(ステップS

10

20

30

40

50

12)。第3故障フラグF3がリセット(F3=0)されている場合には(ステップS12:NO)、回転角演算装置20は、前記ステップS4で演算された $X_{2,3}$ が、 $L_{X_{2,3}}$ Uの条件を満たしているか否かを判別する(ステップS13)。

【0044】

$L_{X_{2,3}}$ Uの条件を満たしている場合には(ステップS13:YES)、回転角演算装置20は、第1の磁気センサ11が故障していると判定し、第1故障フラグF1をセット(F1=1)する(ステップS14)。また、回転角演算装置20は、第2の出力信号V2と第3の出力信号V3とを用い、前記式(26)に基づいて回転角 θ を演算する(ステップS15)。そして、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。

【0045】

前記ステップS13において、 $L_{X_{2,3}}$ Uの条件を満たしていないと判別された場合には(ステップS13:NO)、回転角演算装置20は、第2の磁気センサ12が故障していると判定し、第2故障フラグF2をセット(F2=1)する(ステップS16)。そして、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。

前記ステップS12において、第3故障フラグF3がセット(F3=1)されていると判別された場合には(ステップS12:YES)、回転角演算装置20は、2以上の磁気センサが故障していると判定し、回転角演算不能フラグF0をセット(F0=1)する(ステップS17)。そして、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。

【0046】

前記ステップS7(図4A参照)において、第2故障フラグF2がセット(F2=1)されていると判別された場合には(ステップS7:YES)、図4Cに示すように、回転角演算装置20は、前記ステップS5で演算された $X_{3,1}$ が、 $L_{X_{3,1}}$ Uの条件を満たしているか否かを判別する(ステップS18)。 $L_{X_{3,1}}$ Uの条件を満たしている場合には(ステップS18:YES)、回転角演算装置20は、第1の出力信号V1と第3の出力信号V3とを用い、前記式(23)に基づいて回転角 θ を演算する(ステップS19)。そして、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。

【0047】

前記ステップS18において、 $L_{X_{3,1}}$ Uの条件を満たしていないと判別された場合には(ステップS18:NO)、回転角演算装置20は、2以上の磁気センサが故障していると判定し、回転角演算不能フラグF0をセット(F0=1)する(ステップS20)。そして、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。

前記ステップS6(図4A参照)において、第1故障フラグF1がセット(F1=1)されていると判別された場合には(ステップS6:YES)、図4Cに示すように、回転角演算装置20は、前記ステップS4で演算された $X_{2,3}$ が、 $L_{X_{2,3}}$ Uの条件を満たしているか否かを判別する(ステップS21)。 $L_{X_{2,3}}$ Uの条件を満たしている場合には(ステップS21:YES)、回転角演算装置20は、第2の出力信号V2と第3の出力信号V3とを用い、前記式(26)に基づいて回転角 θ を演算する(ステップS22)。そして、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。

【0048】

前記ステップS21において、 $L_{X_{2,3}}$ Uの条件を満たしていないと判別された場合には(ステップS21:NO)、回転角演算装置20は、2以上の磁気センサが故障していると判定し、回転角演算不能フラグF0をセット(F0=1)する(ステップS23)。そして、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。

前記ステップS2(図4A参照)において回転角演算不能フラグF0がセット(F0=1)されていると判別された場合には(ステップS2:YES)、回転角演算装置20は、今演算周期での処理を終了する。

【0049】

前記実施形態では、隣り合う2つの磁気センサの角度間隔が電気角の90[deg]以外の角度であっても、それらの2つの磁気センサが正常であるかまたはそれらの少なくとも一方の磁気センサが故障しているかを判別することができる。

また、前記実施形態では、3つの磁気センサ11, 12, 13のうち、いずれか1つが故障した場合でも、他の正常な2つの磁気センサの出力信号に基づいて、ロータ2の回転角を演算することができる。

【0050】

以上、この発明の一実施形態について説明したが、この発明はさらに他の形態で実施することもできる。前述の実施形態では、隣り合う磁気センサの角度間隔は、電気角で120 [deg] であるが、90 [deg] および180 [deg] 以外の角度であれば、120 [deg] 以外の角度であってもよい。また、隣り合う磁気センサの角度間隔は、全て同じでなくてもよい。また、前述の実施形態では、磁気センサは3個設けられているが、磁気センサは2個または4個以上設けられていてもよい。

10

【0051】

また、前記実施形態では、第1、第2および第3の出力信号V₁、V₂およびV₃は、それぞれsin 、sin(+) およびsin(+) で表されているが、第1、第2および第3の出力信号V₁、V₂およびV₃が、cos 、cos(+) およびcos(+) で表されるような場合にも、この発明を適用することができる。

また、前記実施形態では、ロータ2には磁極対が1組設けられているが、磁極対が2組以上設けられていてもよい。

【0052】

また、この発明は、プラシレスモータのロータ以外の回転体の回転角を検出する場合にも、適用することができる。

20

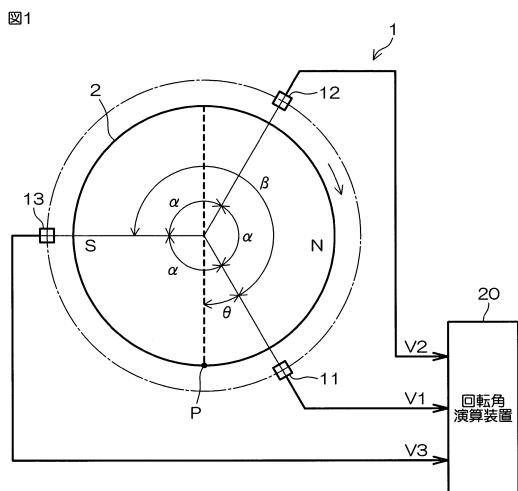
その他、特許請求の範囲に記載された事項の範囲で種々の設計変更を施すことが可能である。

【符号の説明】

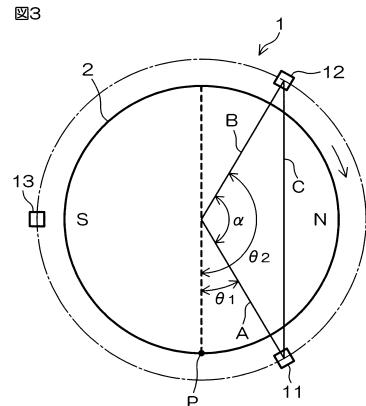
【0053】

1 ... 回転角検出装置、2 ... ロータ、11, 12, 13 ... 磁気センサ、20 ... 回転角演算装置

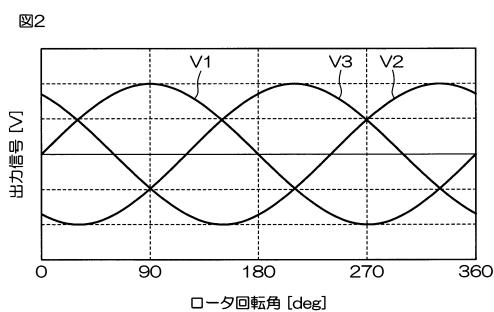
【図1】



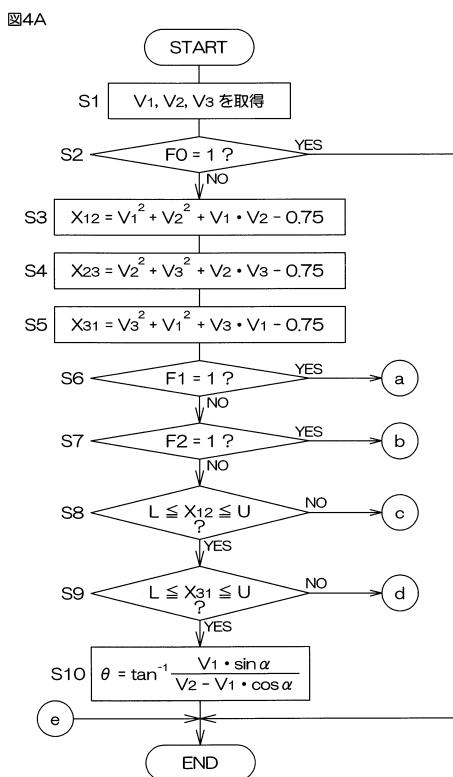
【図3】



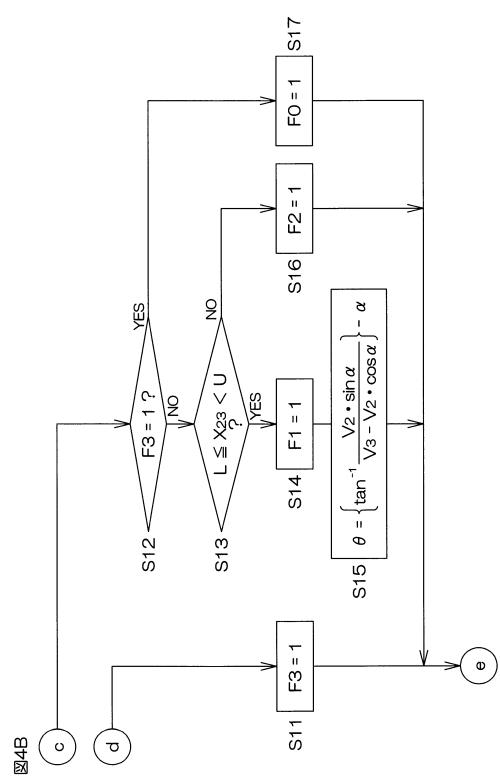
【図2】



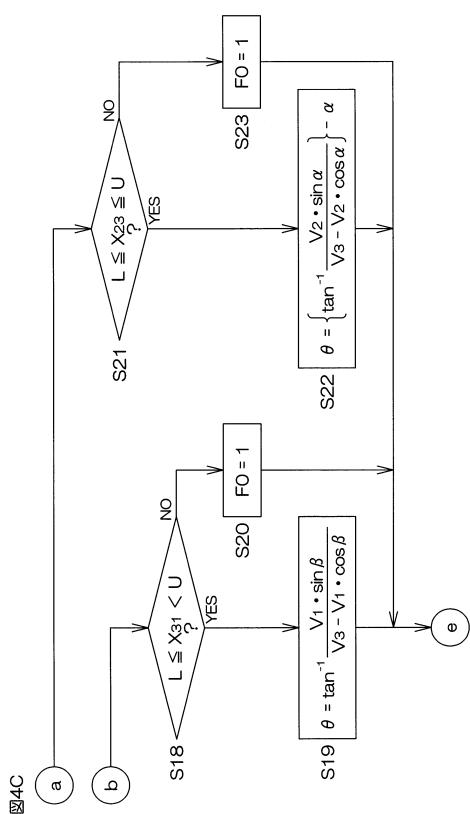
【図4 A】



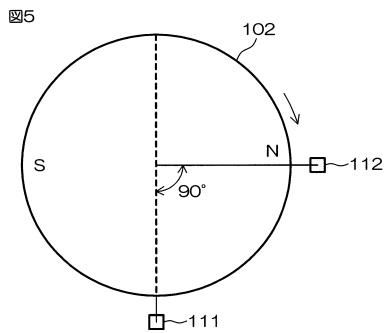
【図4 B】



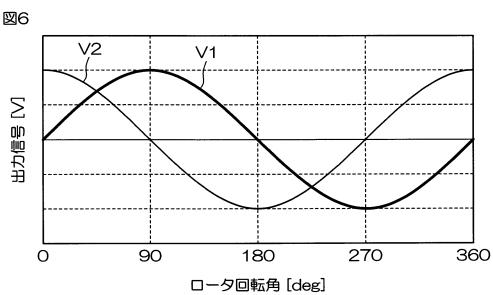
【図4C】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

審査官 吉田 久

(56)参考文献 特開2012-149909(JP,A)
特開2009-202774(JP,A)
特開2010-78367(JP,A)
特開平10-285999(JP,A)
特開2007-139739(JP,A)
特開2010-48760(JP,A)
米国特許出願公開第2007/0073511(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 01 D 5 / 00 - 5 / 38
G 01 B 7 / 00 - 7 / 34
B 6 2 D 5 / 00 - 5 / 32