

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7459233号
(P7459233)

(45)発行日 令和6年4月1日(2024.4.1)

(24)登録日 令和6年3月22日(2024.3.22)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 D 5/20 (2006.01) G 0 1 D 5/20 1 1 0 Q

G 0 1 D 5/20 1 1 0 H

請求項の数 2 (全15頁)

(21)出願番号	特願2022-513793(P2022-513793)	(73)特許権者	000006013
(86)(22)出願日	令和2年4月9日(2020.4.9)		三菱電機株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/015954		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(87)国際公開番号	WO2021/205596	(74)代理人	110002941
(87)国際公開日	令和3年10月14日(2021.10.14)		弁理士法人ばるも特許事務所
審査請求日	令和4年8月24日(2022.8.24)	(72)発明者	池田 紘子
			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
		(72)発明者	藤倉 昇平
			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
		(72)発明者	森 辰也
			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
		(72)発明者	池田 憲司

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 冗長レゾルバ及び冗長レゾルバを搭載し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】

Nx(Nxは自然数)個の突極を有する回転子、前記回転子と対向し前記回転子の全周に渡ってNs(Nsは3以上の整数)個配置されたティースを有する固定子、前記ティースに巻回された励磁巻線及び2相の出力巻線、を有し、Ns個のティースのうちNsm(Nsmは2以上の整数)個のティースに巻回された励磁巻線及び2相の出力巻線を主系統とし、Ns-Nsm個のティースに巻回された励磁巻線及び2相の出力巻線を副系統とし、前記主系統に対応するティース数Nsmが前記副系統に対応するティース数Ns-Nsmより多く構成されたレゾルバ本体、

前記励磁巻線に電圧を印加する励磁回路、
前記主系統における2相の出力巻線の電圧を入力し前記主系統における角度を演算する主系統角度演算部、
前記副系統における2相の出力巻線の電圧を入力し前記副系統における角度を演算する副系統角度演算部、
前記主系統角度演算部と前記副系統角度演算部とを接続し、前記主系統および前記副系統がいずれも正常な場合は、前記主系統角度演算部で演算された主系統検出角度を回転電機の制御装置に出力し、前記主系統が故障している場合は、前記副系統角度演算部で演算された副系統検出角度を前記回転電機の制御装置に出力し、前記副系統が故障している場合は、前記主系統検出角度を前記回転電機の制御装置に出力する角度演算部通信器、を備え、

前記主系統のティースに巻かれる励磁巻線と前記副系統に巻かれる励磁巻線は巻方向が正方向と負方向が交互に配置されて連続しており、

前記励磁回路は、前記主系統に対応する前記励磁巻線に電圧を印加する主系統励磁回路および前記副系統に対応する前記励磁巻線に電圧を印加する副系統励磁回路から構成され、前記主系統励磁回路が前記励磁巻線に供給する交流電圧の主系統励磁周波数と、前記副系統励磁回路が前記励磁巻線に供給する交流電圧の副系統励磁周波数とが異なる周波数であり、

前記主系統角度演算部は、前記主系統の励磁信号の周期の2倍でサンプルした値に基づいて前記主系統の励磁信号のピークに加算された前記副系統の励磁信号周波数の成分を除去することにより前記主系統の励磁信号の成分を抽出し、

10

前記副系統角度演算部は、前記副系統の励磁信号の周期の2倍でサンプルした値に基づいて前記副系統の励磁信号のピークに加算された前記主系統の励磁信号周波数の成分を除去することにより前記副系統の励磁信号の成分を抽出することを特徴とする冗長レゾルバ。

【請求項2】

請求項1に記載の冗長レゾルバを搭載し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】

本願は、冗長レゾルバ及び冗長レゾルバを搭載した電動パワーステアリング装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

回転子と固定子の空隙におけるパーミアンスの変化を利用したレゾルバにおいて、異なる励磁回路に接続された2組の励磁巻線を有する多重系のレゾルバ、いわゆる冗長レゾルバが知られている。

【0003】

例えば、特許文献1においては、2つの励磁巻線を有する冗長レゾルバにおいて、軸方向寸法を小さくするために、一つのレゾルバ固定子を周方向に分割し、第一系統、第二系統とすることで冗長化したものが開示されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第4147930号

【文献】特開2009-222435号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1では、第一系統および第二系統を構成するティースの数が、レゾルバステータの全ティース数の半数であるため、一重系のレゾルバと比較して角度検出精度が悪化するという課題があった。

40

【0006】

このような冗長レゾルバにおける角度検出精度の悪化を抑制するために、2つのレゾルバを軸線方向に2段積みし、一方のレゾルバには第一出力巻線のみを巻回し、他方のレゾルバには第二出力巻線のみを巻回したものが開示されている（例えば、特許文献2参照）。

しかし、特許文献2では、2つのレゾルバを、シャフトを介して2段積みしているため、一系統レゾルバに比べ、軸線方向寸法が2倍に増大するという課題があった。

【0007】

本願は、上記の課題を解決するための技術を開示するものであり、大型化することなく、主系統の角度検出精度が高い冗長レゾルバを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 0 8 】

本願に開示される冗長レゾルバは、

N_x (N_x は自然数)個の突極を有する回転子、回転子と対向し回転子の全周に渡って N_s (N_s は3以上の整数)個配置されたティースを有する固定子、ティースに巻回された励磁巻線及び2相の出力巻線を有し、 N_s 個のティースのうち N_{sm} (N_{sm} は2以上の整数)個のティースに巻回された励磁巻線及び2相の出力巻線を主系統とし、 $N_s - N_{sm}$ 個のティースに巻回された励磁巻線及び2相の出力巻線を副系統とし、前記主系統に対応するティース数 N_{sm} が前記副系統に対応するティース数 $N_s - N_{sm}$ より多く構成されたレゾルバ本体、

励磁巻線に電圧を印加する励磁回路、

主系統における2相の出力巻線の電圧を入力し主系統における角度を演算する主系統角度演算部、

副系統における2相の出力巻線の電圧を入力し副系統における角度を演算する副系統角度演算部、

主系統角度演算部と前記副系統角度演算部とを接続し、主系統および副系統がいずれも正常な場合は、主系統角度演算部で演算された主系統検出角度を回転電機の制御装置に出力し、主系統が故障している場合は、副系統角度演算部で演算された副系統検出角度を回転電機の制御装置に出力し、副系統が故障している場合は、主系統検出角度を回転電機の制御装置に出力する角度演算部通信器、

を備え、

前記主系統のティースに巻かれる励磁巻線と前記副系統に巻かれる励磁巻線は巻方向が正方向と負方向が交互に配置されて連続しており、

励磁回路は、主系統に対応する励磁巻線に電圧を印加する主系統励磁回路および副系統に対応する励磁巻線に電圧を印加する副系統励磁回路から構成され、主系統励磁回路が励磁巻線に供給する交流電圧の主系統励磁周波数と、副系統励磁回路が励磁巻線に供給する交流電圧の副系統励磁周波数とが異なる周波数であり、

主系統角度演算部は、主系統の励磁信号の周期の2倍でサンプルした値に基づいて主系統の励磁信号のピークに加算された副系統の励磁信号周波数の成分を除去することにより主系統の励磁信号の成分を抽出し、

副系統角度演算部は、副系統の励磁信号の周期の2倍でサンプルした値に基づいて副系統の励磁信号のピークに加算された主系統の励磁信号周波数の成分を除去することにより副系統の励磁信号の成分を抽出することを特徴とするものである。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 9 】

本願に開示される冗長レゾルバによれば、主系統を構成するステータのティース数を全ティース数の半数より多くすることで、大型化することなく、角度検出精度が向上する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 0 】

【 図 1 】 実施の形態1に係る冗長レゾルバを回転電機に取り付けた例を示す図である。

【 図 2 】 制御回路のハードウェア構成の一例を示す図である。

【 図 3 】 実施の形態1に係る冗長レゾルバの構成を示す図である。

【 図 4 】 実施の形態1に係る冗長レゾルバのレゾルバ本体の断面図である。

【 図 5 】 実施の形態1に係る冗長レゾルバの固定子の断面図である。

【 図 6 】 実施の形態1に係る冗長レゾルバの励磁巻線の巻数を示す図である。

【 図 7 】 実施の形態1に係る冗長レゾルバの出力巻線の巻数を示す図である。

【 図 8 】 実施の形態1に係る冗長レゾルバと比較例との角度検出精度を示す図である。

【 図 9 】 実施の形態1に係る冗長レゾルバの主系統のティースの数と角度検出精度の関係を示す図である。

【 図 1 0 】 実施の形態2に係る冗長レゾルバの構成を示す図である。

【 図 1 1 】 実施の形態2に係る冗長レゾルバの主系統の励磁信号および副系統の励磁信号

10

20

30

40

50

を示す図である。

【図 1 2】実施の形態 2 に係る冗長レゾルバの主系統の出力信号波形を示す図である。

【図 1 3】実施の形態 2 に係る冗長レゾルバの副系統の出力信号波形を示す図である。

【図 1 4】実施の形態 3 に係る電動パワーステアリング装置の概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本実施の形態について図を参照して説明する。なお、各図中、同一符号は、同一または相当する部分を示すものとする。

実施の形態 1 .

励磁同期

10

以下、実施の形態 1 に係る冗長レゾルバについて説明する。

図 1 は、本実施の形態 1 に係る冗長レゾルバ 1 を回転電機に取り付けた例を示す図である。なお、回転電機 2 のシャフト 3 に取り付けられた例を示すが、その他、種々の装置の回転部（回転体）の回転軸であれば、取り付け対象は回転電機に限るものではない。

【0012】

図 1 において、冗長レゾルバ 1 は回転電機 2 の回転軸であるシャフト 3 に取り付けられている。冗長レゾルバ 1 は、センサであるレゾルバ本体 4 とそれを制御する制御回路 5 とを具備する。レゾルバ本体 4 は、一对の固定子 4 1 と回転子 4 2 とを備え、固定子 4 1 には巻線 4 3 が巻回されている。回転子 4 2 はシャフト 3 を介して回転電機 2 の回転部と接続されている。制御回路 5 は、巻線 4 3 のうち後述する励磁巻線に交流電圧を印加して励磁する励磁回路 5 1 と巻線 4 3 のうち後述する出力巻線の信号波形から回転角度を演算する角度演算部 5 2 とを備える。図 3 で後述するように、励磁回路 5 1 および角度演算部 5 2 は、主系統と副系統に励磁回路 5 1 1、5 1 2、角度演算部 5 2 1、5 2 2 を備える。

20

【0013】

制御回路 5 のマイコンのハードウェアの一例を図 2 に示す。プロセッサ 5 0 0 と記憶装置 5 1 0 から構成され、図示していないが、記憶装置 5 1 0 はランダムアクセスメモリ等の揮発性記憶装置と、フラッシュメモリ等の不揮発性の補助記憶装置とを具備する。また、フラッシュメモリの代わりにハードディスクの補助記憶装置を具備してもよい。プロセッサ 5 0 0 は、記憶装置 5 1 0 から入力されたプログラムを実行することにより、例えば、角度演算部 5 2 での角度演算を行う。この場合、補助記憶装置から揮発性記憶装置を介してプロセッサ 5 0 0 にプログラムが入力される。また、プロセッサ 5 0 0 は、演算結果等のデータを記憶装置 5 1 0 の揮発性記憶装置に出力してもよいし、揮発性記憶装置を介して補助記憶装置にデータを保存してもよい。

30

なお、制御回路 5 内のハードウェアはマイコンでなくてもよく、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、簡単な論理回路、またはリレーなどでもよい。

【0014】

図 3 は、本実施の形態 1 に係る冗長レゾルバ 1 の構成を示す図である。図において冗長レゾルバ 1 は主系統 1 0 1 のレゾルバと副系統 1 0 2 のレゾルバとを備えている。主系統 1 0 1 のレゾルバ及び副系統 1 0 2 のレゾルバは、巻線 4 3 の構成として、第一出力巻線 S a、第二出力巻線 S b、励磁巻線 R を有している。第一出力巻線 S a 及び第二出力巻線 S b は角度演算部 5 2 1、5 2 2 にそれぞれ接続され、励磁巻線 R は励磁回路 5 1 1、5 1 2 にそれぞれ接続されている。主系統 1 0 1 の角度演算部 5 2 1 および副系統 1 0 2 の角度演算部 5 2 2 は角度演算部通信器 6 により接続されている。角度演算部通信器 6 には、主系統検出角度 θ_m と副系統検出角度 θ_s が入力され、主系統 1 0 1 および副系統 1 0 2 がいずれも正常な場合は主系統検出角度 θ_m を、例えば制御装置 1 3 (図 1 4 参照) へ出力する。

40

【0015】

角度演算部通信器 6 には、主系統検出角度 θ_m と副系統検出角度 θ_s が入力され、主系

50

統 1 0 1 が故障している場合には、副系統検出角度 θ_s を制御装置 1 3 へ出力する。また、副系統 1 0 2 が故障している場合には、主系統検出角度 θ_m を制御装置 1 3 へ出力する。同様に、主系統 1 0 1 の励磁回路 5 1 1 と副系統 1 0 2 の励磁回路 5 1 2 は励磁回路通信器 7 により接続されている。励磁回路通信器 7 では、主系統 1 0 1 の励磁回路 5 1 1 および副系統 1 0 2 の励磁回路 5 1 2 から出力される主系統励磁信号および副系統励磁信号の位相を一致させ、主系統 1 0 1 と副系統 1 0 2 との間の磁気干渉を回避している。このように、角度演算部 5 2 1、5 2 2 及び励磁回路 5 1 1、5 1 2 は各系統に設けられ、冗長性を確保している。

【 0 0 1 6 】

図 4 は、図 1 中、X—X 線のレゾルバ本体 4 の断面図である。図 4 において、ヨーク 4 1 2 とティース 4 1 1 を有する固定子 4 1 の各ティース 4 1 1 に巻線 4 3 が巻回されている。突極部を有する回転子 4 2 はシャフト 3 に取り付けられている。本実施の形態 1 において、冗長レゾルバ 1 の固定子のティース 4 1 1 の数 N_s は 1 2、回転子 4 2 の突極の数 N_x を 5 とする。突極の数 N_x は軸倍角とも呼ばれている。

【 0 0 1 7 】

図 5 は、図 4 から回転子 4 2 とシャフト 3 を除いた図で固定子 4 1 の断面図に相当し、主系統 1 0 1 及び副系統 1 0 2 のレゾルバの一部構成を示す図である。上述したように、冗長レゾルバ 1 の固定子 4 1 のティース 4 1 1 の数 N_s は 1 2 である。図 5 中、各ティース 4 1 1 を時計方向にティース T 1 ~ ティース T 1 2 とすると、図中 Y—Y 線で分けられるように、ティース T 1 ~ ティース T 7 からなる主系統ティース、ティース T 8 ~ ティース T 1 2 からなる副系統ティースに周方向に 2 分割されている。つまり、主系統ティースの数は 7 つ、副系統ティースの数は 5 となり、主系統ティースの数が多構成である。この主系統ティースは主系統 1 0 1 のレゾルバを、副系統ティースは副系統 1 0 2 のレゾルバを構成し、両者で二重系の冗長レゾルバ 1 を構成している。

【 0 0 1 8 】

次に、各ティース T 1 ~ T 1 2 に巻回される巻線 4 3 について説明する。

各ティース T 1 ~ T 1 2 には、1 相の励磁巻線 R と、2 相の出力巻線である第一出力巻線 S a、第二出力巻線 S b からなる巻線群が巻回されている。つまり、主系統ティース T 1 ~ T 7 には、主系統 1 0 1 の励磁巻線 R 1 ~ R 7、主系統 1 0 1 の第一出力巻線 S a 1 ~ S a 7、主系統 1 0 1 の第二出力巻線 S b 1 ~ S b 7 が巻回されている。同様に、副系統ティース T 8 ~ T 1 2 には、副系統 1 0 2 の励磁巻線 R 8 ~ R 1 2、副系統 1 0 2 の第一出力巻線 S a 8 ~ S a 1 2、副系統 1 0 2 の第二出力巻線 S b 8 ~ S b 1 2 が巻回されている（図 5 中では、ティース T 1 の第一出力巻線 S a 1、第二出力巻線 S b 1、励磁巻線 R 1、ティース T 1 1 の第一出力巻線 S a 1 1、第二出力巻線 S b 1 1、励磁巻線 R 1 1 のみを示している）。

【 0 0 1 9 】

主系統 1 0 1 の励磁巻線 R 1 ~ R 7 および副系統 1 0 2 の励磁巻線 R 8 ~ R 1 2 はそれぞれレゾルバの延出部（図示せず）に設けられた励磁端子（図示せず）を介して主系統 1 0 1 の励磁回路 5 1 1、副系統 1 0 2 の励磁回路 5 1 2 に接続されている。

【 0 0 2 0 】

主系統 1 0 1 の第一出力巻線 S a 1 ~ S a 7、主系統 1 0 1 の第二出力巻線 S b 1 ~ S b 7 はそれぞれレゾルバの延出部に設けられた出力端子（図示せず）を介して主系統 1 0 1 の角度演算部 5 2 1 に接続されている。副系統 1 0 2 の第一出力巻線 S a 8 ~ S a 1 2、副系統 1 0 2 の第二出力巻線 S b 8 ~ S b 1 2 はそれぞれレゾルバの延出部に設けられた出力端子（図示せず）を介して副系統 1 0 2 の角度演算部 5 2 2 に接続されている。主系統 1 0 1 の角度演算部 5 2 1 および副系統 1 0 2 の角度演算部 5 2 2 は、それぞれ第一出力巻線 S a 及び第二出力巻線 S b の 2 相の出力巻線から出力される出力信号により、回転子の主系統検出角度 θ_m および副系統検出角度 θ_s を計算して出力する（図 3 参照）。

【 0 0 2 1 】

図 5 中、ティース T 1 に着目すると、まず励磁巻線 R 1 が巻回され、次に第一出力巻線

10

20

30

40

50

S a 1、第二出力巻線 S b 1 の順で巻回されている。すなわち、励磁巻線 R 1 を先に巻き、その上から 2 相の出力巻線を巻いた構成となっている。この 2 相の第一出力巻線 S a 1、第二出力巻線 S b 1 の巻回する順序はこの順に限らず、いずれを先に巻回してもよい。また、2 相の第一出力巻線 S a 1、第二出力巻線 S b 1 のうちいずれか 1 相の出力巻線を巻回しないティースを設ける場合がある。ティース T 1 を含む固定子鉄心と巻線 R 1、S a 1、S b 1 とは絶縁紙、塗装、樹脂等（図示せず）により絶縁されている。なお、ティース T 1 について説明したが、他のティース T 2 ~ T 1 2 も同様の方法で励磁巻線 R 2 ~ R 1 2、第一出力巻線 S a 2 ~ S a 1 2、第二出力巻線 S b 2 ~ S b 1 2 が巻回されている。

【 0 0 2 2 】

10

励磁巻線 R 1 ~ R 7、第一出力巻線 S a 1 ~ S a 7、第二出力巻線 S b 1 ~ S b 7 は、それぞれ直列に接続される。同様に、励磁巻線 R 8 ~ R 1 2、第一出力巻線 S a 8 ~ S a 1 2、第二出力巻線 S b 8 ~ S b 1 2 もそれぞれ直列に接続される。

なお、ここではそれぞれの巻線は、ティース T 1 ~ T 7 およびティース T 8 ~ T 1 2 の順に直列に接続されたとしたが、巻き始めのティースはそれぞれ系統内の任意のティース T i であって、かつ隣接するティースから順に直列に接続されていても、同様の効果が得られる。

【 0 0 2 3 】

また、1 相の励磁巻線 R と 2 相の出力巻線である第一出力巻線 S a、第二出力巻線 S b を周方向に並べて巻回するものとしたがこの限りではなく、径方向に並べる、あるいはティースごとに巻回する順序を変更する等しても同様の効果を得ることができる。

20

【 0 0 2 4 】

次に、本実施の形態 1 に係る冗長レゾルバの主系統 1 0 1 の励磁巻線 R 1 ~ R 7 および副系統 1 0 2 の励磁巻線 R 8 ~ R 1 2 の巻数について説明する。図 6 は本実施の形態 1 に係る冗長レゾルバにおける巻線の分布を示す図である。図において、励磁巻数を振幅で規格化し、主系統ティース T 1 ~ T 7 および副系統ティース T 8 ~ T 1 2 に巻かれる励磁巻線 R の巻数を連続的に示している。レゾルバの励磁巻線には、巻き方向（+）、巻き方向（-）が定義されている。本実施の形態 1 における冗長レゾルバ 1 では、励磁巻線 R の巻方向（+）と巻方向（-）が交互に配置されている。巻方向（+）および巻方向（-）は、巻線の互いに異なる巻極性を表し、あるコイルの巻線の方向を巻き方向（+）で表すと、巻線が逆向きに巻かれているコイルは巻き方向（-）と表現する。巻き方向（+）の巻数と巻き方向（-）の巻数は、絶対値が同じである。よって、励磁巻線 R の空間次数 N e は 6 である。すなわち、巻き方向（+）の巻数を + X 回とすると巻き方向（-）の巻数は、- X 回となる。なお、ここでは巻き方向（+）、巻き方向（-）が交互に巻かれており、励磁巻線 R の空間次数が 6 であるとしたが、この限りではなく、巻き方向（+）、巻き方向（-）が 2 ティースごとに配置された励磁巻線の空間次数が 3 となる巻線配置など、ほかの巻線配置であってもよい。

30

【 0 0 2 5 】

図 7 は、本実施の形態に係る冗長レゾルバ 1 の主系統 1 0 1 の第一出力巻線 S a 1 ~ S a 7、第二出力巻線 S b 1 ~ S b 7 と副系統 1 0 2 の第一出力巻線 S a 8 ~ S a 1 2、第二出力巻線 S b 8 ~ S b 1 2 の巻数の分布を示す図である。図において、出力巻数を振幅で規格化し、主系統ティース T 1 ~ T 7 および副系統ティース T 8 ~ T 1 2 に巻かれる出力巻線の巻数を連続的に示している。i 番目のティースに巻回される第一出力巻線、第二出力巻線の巻数 $N_{S a i}$ および $N_{S b i}$ は巻線の位相差が 90° であり、以下の式（1）で表すことができる。

40

【 0 0 2 6 】

【 数 1 】

数1

$$N_{Sai} = N_1 \cos \left\{ |N_e \pm N_x| \frac{1}{N_s} 2(i-1)\pi + \theta_{teeth} + \alpha \right\}$$

$$N_{Sbi} = N_1 \cos \left\{ |N_e \pm N_x| \frac{1}{N_s} 2(i-1)\pi + \theta_{teeth} + \beta \right\}$$

$$|\alpha - \beta| = 90^\circ$$

10

式(1)

【0027】

ここで、 N_1 は出力巻線の巻数の振幅、 θ_{teeth} はティースの周方向位置を表している。励磁巻線Rの空間次数 N_e が6、軸倍角 N_x が5であるから、ここでは出力巻線の空間次数は1である。出力巻線は、ティースの周方向に正弦波状に分布している。巻数が小数になる場合は四捨五入して整数としている。ここで同図において、出力巻線の巻数は、その振幅、すなわち N_1 で規格化している。

20

【0028】

図8は、本実施の形態1に係る冗長レゾルバ1と、比較例、すなわち主系統ティースの数が6である冗長レゾルバの角度検出精度を比較したものである。縦軸は角度誤差の電気角5次成分を、比較例の値で規格化している。主系統ティースの数を7とすることで、出力信号を得るティースの数が増えるため、主系統101の角度検出精度を向上することができるといった効果を得ることができる。

【0029】

本実施の形態1に係る冗長レゾルバ1は、主系統101の角度演算部521と副系統102の角度演算部522の間で通信し、主系統検出角度 θ_m を制御装置13へ入力し、回転電機2を制御している。角度演算部521または角度演算部通信器6で主系統101の故障を検知した場合には副系統検出角度 θ_s を制御装置13に入力する。角度演算部522または角度演算部通信器6で副系統102の故障を検知した場合には主系統検出角度 θ_m を制御装置13に入力する。このように、本実施の形態1に係る冗長レゾルバでは、一重系レゾルバと同等の寸法でありながら冗長化が可能となり、かつ、ステータを半分に分けて冗長化した冗長レゾルバと比較して、正常時の角度検出精度を向上することができる。

30

【0030】

図9は、主系統ティースの数を3から11まで変化させたときの角度検出精度を示すものである。ここで、縦軸は角度誤差の電気角5次成分を、比較例の値で規格化している。主系統ティースの数を7以上、すなわち全ティースの数の半数より多くすることにより、主系統ティースと副系統ティースの数が同数であるときと比べ、角度検出精度を向上することが可能である。

40

【0031】

ここで、本実施の形態1に係る冗長レゾルバの軸倍角 N_x を5、ティースの数 N_s を12としたが、この限りではなく、 N_x は自然数、 N_s は3以上の整数であれば、他の数であっても同様の効果を得ることができる。

【0032】

実施の形態2．

励磁周波数分離

図10は、本実施の形態2に係る冗長レゾルバ1aの構成を示す図である。図において冗長レゾルバ1aは主系統101aのレゾルバと副系統102aのレゾルバとを備えてい

50

る。主系統 101a の励磁回路 511a と副系統 102a の励磁回路 512a は励磁回路通信器により接続されておらず、互いに独立している。このような構成にすることにより、励磁回路通信器による共通故障を防ぐことができるため、冗長レゾルバの安全性をより向上することができるといった効果を得ることができる。

【0033】

上述したように、本実施の形態 2 に係る冗長レゾルバ 1a は、主系統 101a の励磁巻線 R1 ~ R7 に励磁信号を与える励磁回路 511a と副系統 102a の励磁巻線 R8 ~ R12 に励磁信号を与える励磁回路 512a とは互いに独立して、冗長性を確保している。

【0034】

しかし、互いに独立させることにより、主系統 101a の励磁信号および副系統 102a の励磁信号を同期させることが難しい。励磁回路 511a および励磁回路 512a を構成する、例えばマイコンには製造上ばらつきがあるため、主系統 101a の励磁信号および副系統 102a の励磁信号の周波数を同等に設計しても、完全に一致せず、微小な差が生じる。これにより、主系統 101a の励磁信号および副系統 102a の励磁信号の差異は一定ではなく時刻とともに変化し、他系統に影響を及ぼし、角度検出精度悪化の原因となる。

【0035】

このため、それぞれの励磁回路 511a、512a から異なる周波数の励磁信号を、対応する励磁巻線 R に供給する。図 11 は、本実施の形態 2 に係る冗長レゾルバ 1 の主系統 101a の励磁信号および副系統 102a の励磁信号を示したものである。主系統 101a の励磁信号の周波数 f_1 は 10 kHz、副系統 102a の励磁信号の周波数 f_2 は 20 kHz である。なお、縦軸は励磁信号の電圧を振幅で規格化している。

【0036】

さらに、主系統 101a の角度演算部 521a および副系統 102a の角度演算部 522a はそれぞれ他系統の周波数成分を除去する機能を有する。つまり、主系統 101a の第一出力信号、主系統 101a の第二出力信号から副系統 102a の励磁信号による成分を除去し、主系統 101a の励磁信号による成分のみを取り出す。また、副系統 102a の第一出力信号、副系統 102a の第二出力信号から主系統 101a の励磁信号による成分を除去し、副系統 102a の励磁信号による成分のみを取り出す。以下に、他系統の周波数成分を除去する方法について説明する。

【0037】

図 12 は、主系統 101a の出力信号の波形を説明する図で、上から順に、主系統 101a の出力信号、主系統 101a の励磁信号、副系統 102a の励磁信号の波形を示している。主系統 101a の出力信号は、本来、主系統 101a の励磁信号に対応した周波数 f_1 の波形となるところ、副系統 102a の励磁信号の周波数 f_2 の成分が加算された波形となる。

【0038】

図 12 に示すように、主系統 101a の励磁信号の $+A$ 、 $-A$ のそれぞれは、信号の正のピーク、負のピークに相当する。しかし、それぞれ副系統 102a の励磁信号成分 $+B_n$ が加算されるため、主系統 101a の出力信号では正弦波から歪んだ波形となることがわかる。そのため、この主系統 101a の出力信号を周期 $1/f_1$ でサンプルし、そのまま逆正接演算を行うと、副系統の励磁信号周波数 f_2 の成分に起因した誤差を生ずる。

【0039】

そこで、主系統 101a の出力信号を $2/f_1$ でサンプルし、 $\{(A + B_n) - (-A + B_n)\} / 2$ とする。これにより、主系統 101a の励磁信号周波数 f_1 の成分 A のみを出し、副系統 102a の励磁信号周波数 f_2 の成分 B_n を除去することが可能となり、回転角度の検出精度を向上することが可能である。

【0040】

図 13 は、副系統 102a の出力信号の波形を説明する図で、上から順に、副系統 102a の出力信号、副系統 102a の励磁信号、主系統 101a の励磁信号の波形を示して

10

20

30

40

50

いる。副系統 102a の出力信号は、本来、副系統 102a の励磁信号に対応した周波数 f_2 の波形となる。ところが、主系統 101a の励磁信号の周波数 f_1 の成分が加算された波形となる。図に示すように、副系統 102a の励磁信号の $+B$ 、 $-B$ 、 $+B$ 、 $-B$ のそれぞれは信号の正のピーク、負のピークに相当する。しかし、それぞれ主系統 101a の励磁信号成分 $+A_{n1}$ 、 $+A_{n2}$ 、 $-A_{n1}$ 、 $-A_{n2}$ が加算されるため、副系統 102a の出力信号では正弦波から歪んだ波形となることがわかる。そのため、この副系統 102a の出力信号を周期 $1/f_2$ でサンプルし、そのまま逆正接演算を行うと、主系統 101a の励磁信号周波数 f_1 の成分に起因した誤差を生ずる。

【0041】

そこで、副系統 102a の出力信号を $2/f_2$ でサンプルし、 $\{(B + A_{n1}) + (B - A_{n1}) - (-B + A_{n2}) - (-B - A_{n2})\}/4$ とする。これにより、副系統 102a の励磁信号周波数 f_2 の成分 B のみを抽出し、主系統 101a の励磁信号周波数 f_1 の成分 A_n を除去することが可能となり、回転角度の検出精度を向上することが可能である。

【0042】

本実施の形態 2 における冗長レゾルバでは、一円状の固定子に主系統 101a と副系統 102a が配置されている。そして、系統ごとに異なる周波数の励磁信号を供給し、各角度演算部 521a、522a において他系統の励磁信号の影響を除去している。このことにより、主系統 101a と副系統 102a とは独立した状態、すなわち、主系統 101a に着目すると、副系統 102a のティースに巻回された副系統 102a の励磁巻線 R には励磁信号が印加されず、副系統 102a が断線等の故障が起きた場合と同様の物理状態となる。逆に副系統 102a に着目すると、主系統 101a が断線等の故障が起きた場合と同様の物理状態となる。このことは、独立した励磁回路 511a、512a から互いに異なる周波数の励磁信号を供給することで、他系統の信号に影響しない信号が得られる、という優位性を示唆している。

このような構成にすることにより、励磁回路通信器による共通故障が起きないため安全性を向上することができるといった効果を得ることができる。また、主系統と副系統間の磁気干渉を回避することができるため、角度検出精度を向上することができる。

【0043】

実施の形態 3 .

電動パワーステアリングへの搭載

以上説明した冗長レゾルバ 1 は、車両用の電動パワーステアリング装置に適用することができる。

以下、実施の形態 3 に係る電動パワーステアリング装置について図 14 を用いて説明する。

【0044】

図 14 は、自動車等の車両に搭載される電動パワーステアリング装置の概略構成図である。図 14 において、シャフト 8 の一端には運転者が操作するステアリングホイール（図示せず）が連結されており、運転者がステアリングホイールを操舵し、そのトルクがシャフト 8 に伝達される。シャフト 8 はハウジング 9 内のラック軸（図示せず）に連結されている。ラック軸の両端には、それぞれ前右輪用タイロッド 10a、前左輪用タイロッド 10b が連結され、前右輪用タイロッド 10a にはナックルアーム（図示せず）を介して右輪（図示せず）が連結され、前左輪用タイロッド 10b にはナックルアーム（図示せず）を介して左輪（図示せず）が連結されている。運転者のステアリングホイール操作に応じて、左右の前輪が操向される。なお、ラックブーツ 14 は異物が装置内に侵入しないように設けられている。

【0045】

電動パワーステアリング装置は、運転者が行うステアリングホイール操作をアシストする。そのアシストは運転者がステアリングホイールを操舵し、操舵トルクを発生させた場合、その操舵トルクを補助する補助トルクを発生させることにより行われる。この補助トルクは、図 1 で説明したように、永久磁石型回転電機である回転電機 2 を動力源として発

10

20

30

40

50

生させる。運転者がステアリングホイールを操舵すると、シャフト 8 に取り付けられたトルクセンサ 1 1 によりトルクが検知される。検知されたトルクは主系統電力供給源 2 0 および副系統電力供給源 2 1 に伝達される。また、車速などの車両の情報も電気信号に変換され主系統電力供給源 2 0 および副系統電力供給源 2 1 に伝達される。主系統電力供給源 2 0 および副系統電力供給源 2 1 は検知されたトルクと車速などの車両の情報から、必要なアシストトルクを演算し、回転電機の制御装置 1 3 (インバータなど) を通じて回転電機 2 に電流を供給する。制御装置 1 3 には電源 2 2 から電源コネクタを介して電力が供給される。また、図 1 で説明したように、回転電機 2 のシャフト 3 に冗長レゾルバ 1 が取り付けられている。冗長レゾルバ 1 は、回転電機 2 の回転子の回転角を検出し、それに対応する回転角度信号を出力する。なお、制御装置 1 3 は、制御回路 5 同様、図 2 で示したハードウェア構成で構成されていてもよい。

10

【0046】

回転電機 2 は、ラック軸の移動方向 (矢印 Z) に平行な向きに配置されている。回転電機 2 で発生したトルクはギヤボックス 1 2 内のベルト及びボールネジに伝達され、ハウジング 8 内部にあるラック軸を矢印 Z の方向に動かす推力を発生させる。この推力により、運転者の操舵力をアシストする。回転電機 2 による推力と運転者による操舵力により前右輪用タイロッド 1 0 a 及び前左輪用タイロッド 1 0 b が動作し、両輪が転舵され車両を旋回させることができる。

【0047】

このように、回転電機 2 のトルクによってアシストされるため、運転者は少ない操舵力で車両を旋回させることができる。本実施の形態に係る電動パワーステアリング装置においては、上記実施の形態 1 または 2 の冗長レゾルバ 1 を回転電機 2 の回転角度検出用に適用した。電動パワーステアリング装置においては、回転電機 2 が発生するコギングトルク及びトルクリップルはギヤを介して運転者に伝わるため、良好な操舵感覚を得るためにはコギングトルク及びトルクリップルが小さい方が望ましい。また、回転電機 2 が動作するときの振動及び騒音も小さい方が望ましい。

20

【0048】

このため、回転電機 2 の回転角度を精度よく検知することで回転電機を円滑に制御することが可能となり、回転角度の検出精度が低い場合よりもトルクリップルの発生を抑制することが可能となる。また、振動及び騒音についても同様である。そのため、上記実施の形態 1 または 2 の冗長レゾルバ 1 を回転電機 2 に搭載した電動パワーステアリング装置は、運転者に良好な操舵感を提供することが可能となる。

30

【0049】

さらに、実施の形態 1 または 2 の冗長レゾルバ 1 は、一系統が故障した場合であっても他系統で回転角度を高精度に検出することが可能であり、継続してアシスト力を出力することができる。なお、図 1 において、回転電機に冗長レゾルバ 1 を取り付け示したが、冗長レゾルバ 1 の本体を回転電機内部に取り付け、制御回路 5 は回転電機 2 の外部に設けることができることは言うまでもない。

【0050】

本開示は、様々な例示的な実施の形態及び実施例が記載されているが、1 つ、または複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。

40

従って、例示されていない無数の変形例が、本願明細書に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも 1 つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも 1 つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

【符号の説明】

【0051】

1 : 冗長レゾルバ、2 : 回転電機、3 : シャフト、4 : レゾルバ本体、5 : 制御回路、6 : 角度演算部通信器、7 : 励磁回路通信器、101、101a : 主系統、102、102

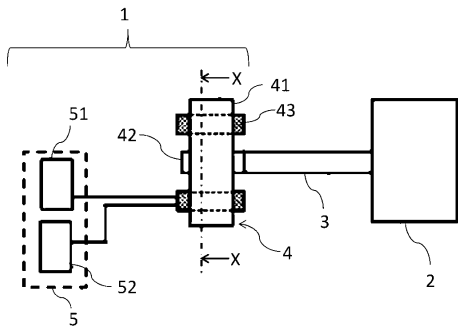
50

a : 副系統、5 1 1、5 1 1 a、5 1 2、5 1 2 a : 励磁回路、5 2 1、5 2 1 a、5 2 2、5 2 2 a : 角度演算部

【 図 面 】

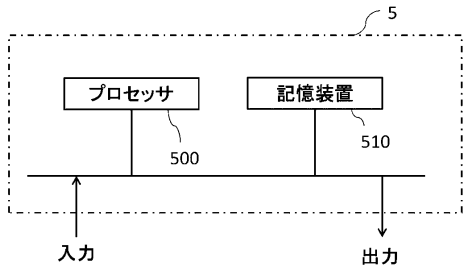
【 図 1 】

図1



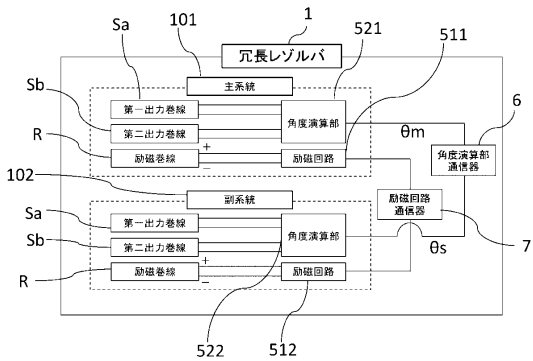
【 図 2 】

図2



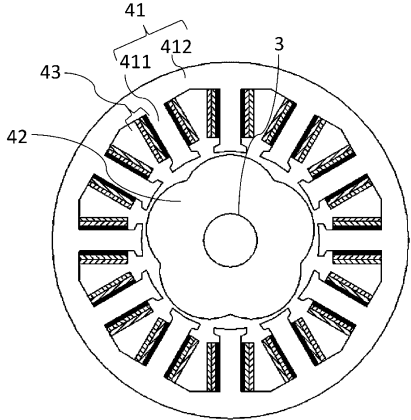
【 図 3 】

図3



【 図 4 】

図4



10

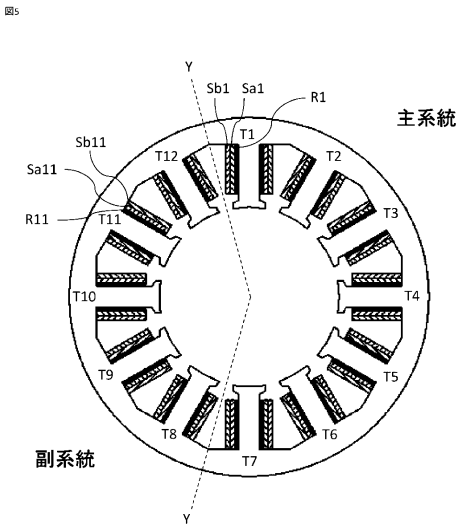
20

30

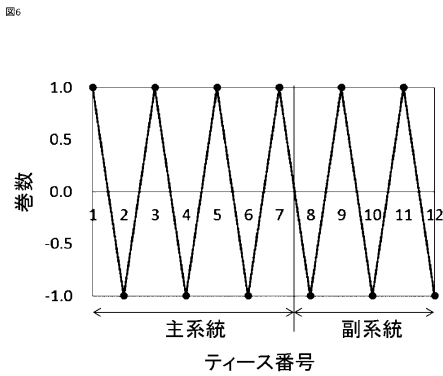
40

50

【図 5】

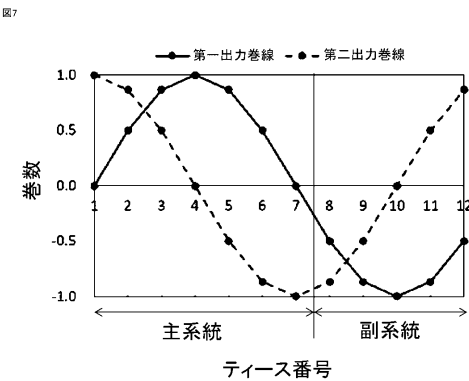


【図 6】

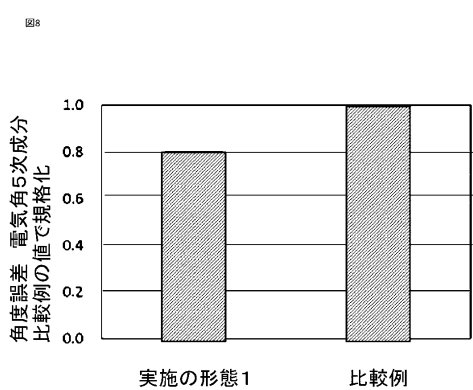


10

【図 7】



【図 8】



20

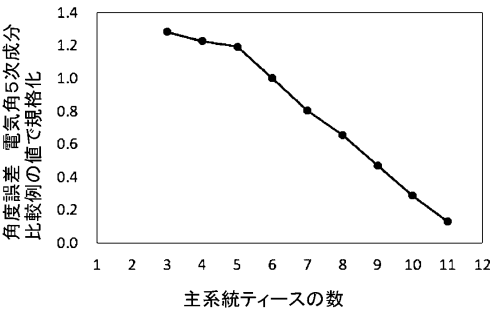
30

40

50

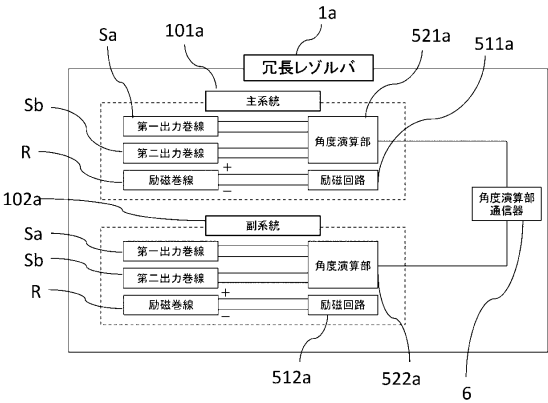
【図 9】

図9



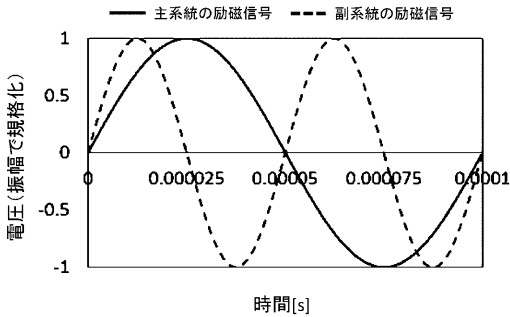
【図 1 0】

図10



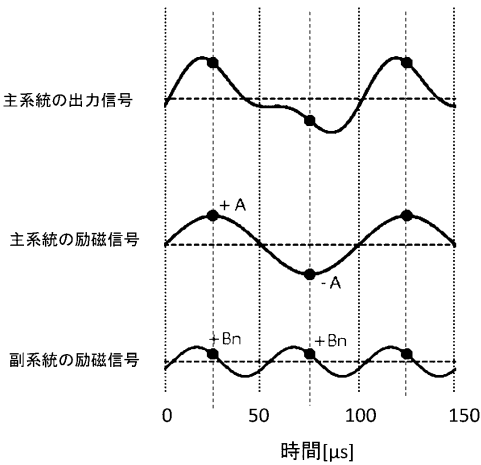
【図 1 1】

図11



【図 1 2】

図12



10

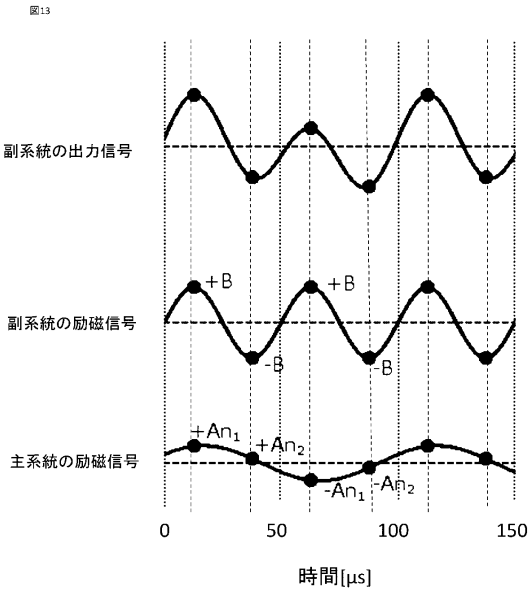
20

30

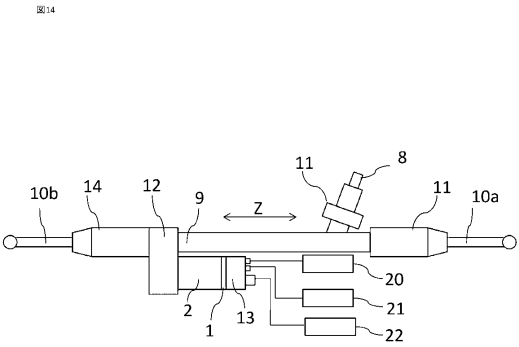
40

50

【図 1 3】



【図 1 4】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

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
(72)発明者 久保 建太
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
(72)発明者 松永 俊宏
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 2 0 1 8 - 1 8 5 2 2 1 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 2 4 1 0 4 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 2 2 0 5 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 5 3 8 9 0 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 9 / 1 2 3 5 9 2 (W O , A 1)
特開 2 0 1 3 - 2 4 7 8 2 8 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 1 D 5 / 1 2 - 5 / 2 5 2
H 0 2 K 2 4 / 0 0
B 6 2 D 5 / 0 0 - 6 / 1 0
G 0 1 B 7 / 0 0 - 7 / 3 4
H 0 2 K 3 / 0 0 - 3 / 5 2