

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6107557号
(P6107557)

(45) 発行日 平成29年4月5日 (2017.4.5)

(24) 登録日 平成29年3月17日 (2017.3.17)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 D 5/244 (2006.01)

GO 1 D 5/20 (2006.01)

GO 1 D 5/244 K

GO 1 D 5/20 1 1 O Q

請求項の数 10 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2013-189551 (P2013-189551)	(73) 特許権者	514315159
(22) 出願日	平成25年9月12日 (2013.9.12)		株式会社ソシオネクスト
(65) 公開番号	特開2015-55567 (P2015-55567A)		神奈川県横浜市港北区新横浜2丁目10番
(43) 公開日	平成27年3月23日 (2015.3.23)		23
審査請求日	平成28年3月28日 (2016.3.28)	(74) 代理人	100099759
			弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100119987
			弁理士 伊坪 公一
		(74) 代理人	100133835
			弁理士 河野 努
		(74) 代理人	100135976
			弁理士 宮本 哲夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 角度検出装置および角度検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転体の回転角度に関する第1角度信号および第1角速度信号を出力する第1の回転計測器と、

前記回転体の回転角度に関する第2角度信号および第2角速度信号を出力する第2の回転計測器と、

前記第1および第2の回転計測器における信号を監視し、前記第1の回転計測器の異常発生および前記第2の回転計測器の異常発生を検出する異常検出部と、

前記第1角度信号および前記第1角速度信号を含む第1の組と、前記第2角度信号および前記第2角速度信号を含む第2の組の一方を選択して第3角度信号および第3角速度信号として出力し、前記第1の回転計測器が正常である時には、前記第1角度信号および前記第1角速度信号を選択して前記第3角度信号および前記第3角速度信号として出力し、前記第1の回転計測器に異常が発生した時に、前記第2の回転計測器が正常であれば、前記第1角度信号と前記第2角度信号の差を段階的に縮小するように補間しながら、前記第2角度信号および前記第2角速度信号を前記第3角度信号および前記第3角速度信号として出力するように切り換える切り換え補間部と、を有することを特徴とする角度検出装置。

【請求項 2】

前記切り換え補間部は、切り換え時に出力する前記第3角度信号の変化率が所定の閾値を超えないように補間することを特徴とする請求項1に記載の角度検出装置。

【請求項 3】

前記切り換え補間部は、前記第 1 角度信号と前記第 2 角度信号の差を縮小する方向で、前記第 3 角度信号の変化率を大きくする加速段階と、前記加速段階の後で前記第 3 角度信号の変化率を減少させる減速段階と、を有する処理を行うことを特徴とする請求項 2 に記載の角度検出装置。

【請求項 4】

前記切り換え補間部は、前記加速段階と前記減速段階の間に、前記第 3 角度信号の変化率を前記所定の閾値に近い値とする高速段階を有する処理を行うことを特徴とする請求項 3 に記載の角度検出装置。

【請求項 5】

前記第 1 および第 2 の回転計測器は、レゾルバを含むことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の角度検出装置。

【請求項 6】

第 1 の回転計測器により、回転体の回転角度を検出し、第 1 角度信号および第 1 角速度信号を生成し、

第 2 の回転計測器により、前記回転体の回転角度を検出し、第 2 角度信号および第 2 角速度信号を生成し、

前記第 1 および第 2 の回転計測器における信号を監視し、前記第 1 の回転計測器の異常発生および前記第 2 の回転計測器の異常発生を検出し、

前記第 1 の回転計測器が正常である時には、前記第 1 角度信号および前記第 1 角速度信号を第 3 角度信号および第 3 角速度信号として出力し、

前記第 1 の回転計測器の異常発生を検出した時に、前記第 2 の回転計測器が正常であれば、前記第 1 角度信号と前記第 2 角度信号の差を段階的に縮小するように補間しながら、前記第 2 角度信号および前記第 2 角速度信号を前記第 3 角度信号および前記第 3 角速度信号として出力するように切り換える、ことを特徴とする角度検出方法。

【請求項 7】

前記補間は、切り換え時に出力する前記第 3 角度信号の変化率が所定の閾値を超えないように行われることを特徴とする請求項 6 に記載の角度検出方法。

【請求項 8】

前記補間の処理は、前記第 1 角度信号と前記第 2 角度信号の差を縮小する方向で、前記第 3 角度信号の変化率を大きくする加速段階と、前記加速段階の後で前記第 3 角度信号の変化率を減少させる減速段階と、を有することを特徴とする請求項 7 に記載の角度検出方法。

【請求項 9】

前記補間の処理は、前記加速段階と前記減速段階の間に、前記第 3 角度信号の変化率が前記所定の閾値に近い値とする高速段階を有することを特徴とする請求項 8 に記載の角度検出方法。

【請求項 10】

前記第 1 および第 2 の回転計測器は、レゾルバを含むことを特徴とする請求項 6 から 9 のいずれか 1 項に記載の角度検出方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

開示の技術は、角度検出装置および角度検出方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

レゾルバ等の回転計測器を使用して、回転機（モータ等）の回転角度および回転速度（角速度）を計測することが知られている。計測した回転角度および回転速度は、回転機のサーボ制御などに用いられる。

【0003】

レゾルバは、正弦波発振器から供給される参照信号をそのロータの回転角に応じて振幅変調した信号を出力する。レゾルバとモータとは、それぞれのロータが互いに軸を共有しており、レゾルバの出力信号に基づいてモータの回転角を計測することができる。以下の説明では、レゾルバを使用した例を説明するが、本発明は、回転機（モータ等）の回転角度および回転速度を計測可能な回転計測器であれば適用可能であり、レゾルバに限定されるものではない。また、回転機として、モータを例として説明を行う。

【 0 0 0 4 】

レゾルバを含む角度検出装置は、モータのサーボ制御などに使用され、高精度の検出が行えることと共に、高い信頼性を有することが求められる。信頼性を向上するため、同一のモータの回転を検出する２個のレゾルバを設ける二重化を行い、冗長性を持たせた角度検出装置が提案されている。信頼性を一層向上するために、同一のモータの回転を検出する３個以上のレゾルバを設けることも考えられ、本発明はそのような場合にも適用可能であるが、以下の説明では２個のレゾルバを設ける例を説明する。

【 0 0 0 5 】

冗長性を持たせた角度検出装置は、レゾルバごとに内部信号を監視し、異常が発生したことを検出する異常検出部を設け、各レゾルバが正常であるかを検出する。この場合に、さらに２個のレゾルバの信号の差を比較して、異常発生を検出精度を向上する場合もある。冗長性を持たせた角度検出装置は、通常は一方のレゾルバ（第１レゾルバ）の計測した回転角度および回転速度を出力する。そして、第１レゾルバに異常が発生したことが検出され、他方のレゾルバ（第２レゾルバ）が正常であれば、第２レゾルバの計測した回転角度および回転速度を出力するように切り換える。

【 0 0 0 6 】

このような２個のレゾルバの出力を切り換える場合、単純に異常の発生した第１レゾルバの出力から正常な第２レゾルバの出力に切り換えることが考えられる。しかし、レゾルバでの異常発生から検出までの間に、異常発生したレゾルバの出力と正常なレゾルバの出力との差は広がる。そのため、単純に第１レゾルバの出力から第２レゾルバの出力に切り換えと、角度検出装置の出力の変化が大きくなり、モータの脱調などのモータ制御系の誤動作の原因になる場合が生じる。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 特許文献 １ 】 特開平 ９ - ２ ７ ３ ９ ４ ２ 号 公 報

【 特許文献 ２ 】 特開 ２ ０ ０ ５ - １ １ ４ ４ ４ ２ 号 公 報

【 特許文献 ３ 】 特開平 ９ - ６ ８ ４ ３ ９ 号 公 報

【 特許文献 ４ 】 特開 ２ ０ ０ ９ - １ ５ ０ ８ ２ ６ 号 公 報

【 特許文献 ５ 】 特開 ２ ０ ０ ６ - ０ ５ ８ ２ ３ ２ 号 公 報

【 特許文献 ６ 】 特開 ２ ０ ０ ９ - ２ １ ０ ２ ８ １ 号 公 報

【 特許文献 ７ 】 特開 ２ ０ ０ ２ - ２ ４ ３ ５ ０ ０ 号 公 報

【 特許文献 ８ 】 特開 ２ ０ ０ ５ - ０ ０ ３ ６ ２ ０ 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

近年、モータは、小型化のために、より一層高速回転することが求められており、それに伴って、冗長性を持たせた角度検出装置では、高速回転時の速やかな異常検出と、モータ制御系への影響が小さい切り換え方法が求められる。

【 0 0 0 9 】

実施形態によれば、異常発生時に、後段の出力信号を利用する制御系への影響が小さい形で出力を変化させる、冗長性を持たせた角度検出装置が開示される。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

第 1 の態様の角度検出装置は、第 1 の回転計測器と、第 2 の回転計測器と、異常検出部と、切り換え補間部と、を有する。第 1 の回転計測器は、回転体の回転角度に関する第 1 角度信号および第 1 角速度信号を出力する。第 2 の回転計測器は、回転体の回転角度に関する第 2 角度信号および第 2 角速度信号を出力する。異常検出部は、第 1 および第 2 の回転計測器における信号を監視し、第 1 の回転計測器の異常発生および第 2 の回転計測器の異常発生を検出する。切り換え補間部は、第 1 角度信号および第 1 角速度信号を含む第 1 の組と、第 2 角度信号および第 2 角速度信号を含む第 2 の組の一方を選択して第 3 角度信号および第 3 角速度信号として出力する。切り換え補間部は、第 1 の回転計測器が正常である時には、第 1 角度信号および第 1 角速度信号を選択して第 3 角度信号および第 3 角速度信号として出力する。切り換え補間部は、第 1 の回転計測器に異常が発生した時に、第 2 の回転計測器が正常であれば、第 2 角度信号および第 2 角速度信号を第 3 角度信号および第 3 角速度信号として出力するように切り換える。切り換え補間部は、この切り換えの際に、第 1 角度信号と第 2 角度信号の差を段階的に縮小するように補間しながら切り換える。

10

【 0 0 1 1 】

第 2 の態様の角度検出方法は、第 1 および第 2 の回転計測器の出力から、以下のように角度を検出する。まず、第 1 の回転計測器により、回転体の回転角度を検出し、第 1 角度信号および第 1 角速度信号を生成する。次に、第 2 の回転計測器により、回転体の回転角度を検出し、第 2 角度信号および第 2 角速度信号を生成する。次に、第 1 および第 2 の回転計測器における信号を監視し、第 1 の回転計測器の異常発生および第 2 の回転計測器の異常発生を検出する。第 1 の回転計測器が正常である時には、第 1 角度信号および第 1 角速度信号を第 3 角度信号および第 3 角速度信号として出力する。第 1 の回転計測器に異常が発生した時に、第 2 の回転計測器が正常であれば、第 2 角度信号および第 2 角速度信号を第 3 角度信号および第 3 角速度信号として出力するように切り換える。この切り換えの際に、第 1 角度信号と第 2 角度信号の差を段階的に縮小するように補間しながら切り換える。

20

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

第 1 および第 2 の態様によれば、同一の回転体の回転角度を検出する 2 個の回転計測器を設け、異常が発生した場合に回転計測器の出力を切り換えて冗長化した構成で、スムーズな切り換えが行われる。これにより、出力信号を利用する後段への切り換えに伴う影響を低減できる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

【図 1】図 1 は、2 個のレゾルバを有する冗長化した角度検出装置を搭載したモータ制御システムの構成例を示す図である。

【図 2】図 2 は、図 1 の第 1 レゾルバ、第 2 レゾルバ、第 1 レゾルバインターフェース、第 2 レゾルバインターフェースおよびセクタを含む角度検出装置の詳細な構成を示す図である。

【図 3】図 3 は、図 2 の角度検出装置における切り換え時の第 1 回転角度および第 2 回転角度の変化を示す図である。

40

【図 4】図 4 は、実施形態のモータ制御システムの構成を示す図である。

【図 5】図 5 は、実施形態における角度検出装置の詳細な構成を示す図である。

【図 6】図 6 は、図 1 および図 2 に示したセクタによる切り換えと、実施形態の切り換え補間部による切り換えを説明する図である。

【図 7】図 7 は、実施形態の切り換え補間部による切り換え補間処理をより具体的に説明する図である。

【図 8】図 8 は、回転角度補間処理において、第 2 回転角速度に対して、角速度をどの程度増加または減少する量に設定するかを示す図である。

【図 9】図 9 は、図 7 に示す動作を行う切り換え補間部の回路構成ブロック図である。

50

【図 10】図 10 は、補間処理における算出角速度の変化および補間処理で使用する用語を説明する図である。

【図 11】図 11 は、図 9 の角度算出部の詳細な構成を示すブロック図である。

【図 12】図 12 は、図 9 の角速度算出部の詳細な構成を示すブロック図である。

【図 13】図 13 は、反転境界角度差生成部の構成を示す図である。

【図 14】図 14 は、折返し角度抽出部の構成を示す図である。

【図 15】図 15 は、図 12 の制御判定部の制御フローを示すフローチャートである。

【図 16】図 16 は、図 12 の制御判定部の制御フローを示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

10

実施形態を説明する前に、2 個のレゾルバを有する冗長化した角度検出装置、およびそれを搭載したモータ制御システムの一般的な例を説明する。

図 1 は、2 個のレゾルバを有する冗長化した角度検出装置を搭載したモータ制御システムの構成例を示す図である。

【0015】

モータ制御システムは、モータ 11 と、第 1 レゾルバ 12 A と、第 2 レゾルバ 12 B と、第 1 レゾルバインターフェース 13 A と、第 2 レゾルバインターフェース 13 B と、セクタ 14 と、CPU 15 と、モータ制御部 16 と、ドライバ 17 と、を有する。第 1 レゾルバ 12 A、第 2 レゾルバ 12 B、第 1 レゾルバインターフェース 13 A、第 2 レゾルバインターフェース 13 B およびセクタ 14 が、角度検出装置を形成する。また、第 1

20

【0016】

CPU 15 は、外部から動作要求を受け取り、モータ制御部 16 から制御情報を受け取り、これらに基づいて制御指令を生成して、モータ制御部 16 に出力する。モータ制御部 16 は、CPU 15 からの制御指令、およびセクタ 14 からの角度情報および角速度情報に基づいて、モータ制御信号を生成し、ドライバ 17 に出力する。ドライバ 17 は、モータ制御信号に基づいて駆動信号を生成し、モータ 11 に印加する。これに応じて、モータ 11 は、所望の回転を行う。

30

【0017】

第 1 レゾルバ 12 A および第 2 レゾルバ 12 B は、ロータがモータ 11 のロータと軸を共有するように配置され、回転位置に関係する正弦波信号および余弦波信号を発生する。第 1 レゾルバインターフェース 13 A および第 2 レゾルバインターフェース 13 B は、第 1 レゾルバ 12 A および第 2 レゾルバ 12 B の出力する正弦波信号および余弦波信号から、モータ 11 の回転角度および回転速度（角速度）を演算して出力する。なお、レゾルバ以外にも、回転位置に関係する正弦波信号および余弦波信号を発生するセンサが知られており、レゾルバの代わりにそのようなセンサを使用してもよい。

【0018】

上記のように、第 1 および第 2 レゾルバ 12 A および 12 B は、同一のモータ 11 に配置されており、正常であれば、第 1 および第 2 レゾルバインターフェース 13 A および 13 B は、同じ回転角度および角速度を出力する。そこで、セクタ 14 は、通常は、第 1 レゾルバインターフェース 13 A の出力する第 1 回転角度および第 1 角速度を選択して、モータ制御部 16 に出力する。もし、第 1 レゾルバ 12 A および第 1 レゾルバインターフェース 13 A からなる第 1 回転計測器に異常が発生した場合には、セクタ 14 は、第 2 レゾルバインターフェース 13 B の出力する第 2 回転角度および第 2 角速度を選択するように切り換える。この場合、第 2 レゾルバ 12 B および第 2 レゾルバインターフェース 13 B からなる第 2 回転計測器に異常が発生していれば、切り換えは行わずに、角度検出装置は、異常が発生したことを、CPU 15 またはモータ制御部 16 に通知する。また、セクタ 14 が第 2 回転角度および第 2 角速度を選択するように切り換えた後、第 2 回転計

40

50

測器に異常が発生した場合も同様である。なお、以下の説明では、レゾルバの異常を検出する例を説明するが、レゾルバインターフェースを含めた回転計測器の異常を検出する場合も同様である。

【 0 0 1 9 】

図 2 は、図 1 の第 1 レゾルバ 1 2 A、第 2 レゾルバ 1 2 B、第 1 レゾルバインターフェース 1 3 A、第 2 レゾルバインターフェース 1 3 B およびセクタ 1 4 を含む角度検出装置の詳細な構成を示す図である。

【 0 0 2 0 】

第 1 レゾルバ 1 2 A は、ロータ 2 1 A と、励磁コイル 2 2 A と、第 1 検出コイル 2 3 A と、第 2 検出コイル 2 4 A と、を有する。正弦波発振器からの参照信号が、ロータ 2 1 A の回転角度に応じて振幅変調されて励磁コイル 2 2 A に印加され、第 1 検出コイル 2 3 A および第 2 検出コイル 2 4 A に回転角度に応じた正弦波信号および余弦波信号が誘起される。第 1 検出コイル 2 3 A の両端に誘起される正弦波信号は、第 1 レゾルバインターフェース 1 3 A の増幅回路 2 5 A で増幅された後、A D C 2 7 A でデジタル信号に変換されて、角度演算回路 2 9 A に供給される。同様に、第 2 検出コイル 2 4 A の両端に誘起される余弦波信号は、第 1 レゾルバインターフェース 1 3 A の増幅回路 2 6 A で増幅された後、A D C 2 8 A でデジタルデータに変換されて、角度演算回路 2 9 A に供給される。角度演算回路 2 9 A は、A D C 2 7 A および A D C 2 8 A の出力するデータから、ロータ 2 1 A の第 1 回転角度 R 1 および第 1 角速度 1 を演算して出力する。第 2 レゾルバ 1 2 B および第 2 レゾルバインターフェース 1 3 B は、上記と同じであるので説明は省略する。また、レゾルバおよびレゾルバインターフェースについては、列記した特許文献等に記載されており、広く知られているのでこれ以上の説明は省略する。

【 0 0 2 1 】

異常監視部 1 8 は、第 1 検出コイル 2 3 A、第 2 検出コイル 2 4 A、第 1 検出コイル 2 3 B および第 2 検出コイル 2 4 B の出力するアナログ信号を監視して、第 1 レゾルバ 1 2 A および第 2 レゾルバ 1 2 B が正常であるか、すなわち異常が発生したかを監視する。異常検出部 1 9 は、異常監視部 1 8 の監視信号から、第 1 レゾルバ 1 2 A が正常であるか否か（異常であるか）、第 2 レゾルバ 1 2 B が正常であるか否か（異常であるか）を検出する。レゾルバの異常発生は、特許文献 7 に記載される方法で、各レゾルバのみの信号を監視することにより検出される。この際、必要に応じて角度演算回路の出力を利用する。また、第 1 レゾルバ 1 2 A からの信号と第 2 レゾルバ 1 2 B からの信号を比較することにより、より高精度に異常の発生を検出できる。ここでは、異常発生の検出方法は、特に限定しないが、一般レゾルバの異常発生は、発生から検出まである程度の時間が必要である。また、レゾルバインターフェースに異常が発生する場合もあり、第 1 および第 2 レゾルバインターフェース 1 3 A および 1 3 B を含めて異常監視を行うようにしてもよい。言い換えれば、第 1 回転計測器および第 2 回転計測器のそれぞれで異常発生を検出するようにしてもよい。

【 0 0 2 2 】

異常検出部 1 9 は、第 1 回転計測器と第 2 回転計測器の両方が正常の場合には、例えば第 1 の検出信号を選択する選択信号 S E L をセクタ 1 4 に出力する。これに応じて、セクタ 1 4 は、第 1 回転角度 R 1 および第 1 角速度 1 を選択して、第 3 回転角度 R 3 および第 3 角速度 3 として出力する。

【 0 0 2 3 】

異常検出部 1 9 は、第 1 回転計測器に異常が発生したことを検出した場合には、第 2 回転計測器の出力する第 2 回転角度 R 2 および第 2 角速度 2 を含む第 2 の検出信号を選択するように切り換える選択信号 S E L をセクタ 1 4 に出力する。これに応じて、セクタ 1 4 は、第 2 回転角度 R 2 および第 2 角速度 2 を選択して、第 3 回転角度 R 3 および第 3 角速度 3 として出力する。ただし、第 1 回転計測器に異常が発生した時に、すでに第 2 回転計測器にも異常が発生していた場合には、異常検出部 1 9 は、第 1 と第 2 の検出信号のいずれも検出しない選択信号 S E L をセクタ 1 4 に出力し、異常発生を知らせる

信号を出力する。これは、第 2 の検出信号を選択するように切り換える選択信号 S E L を出力した後で、第 2 回転計測器に異常が発生した場合も同様である。

【 0 0 2 4 】

図 3 は、図 2 の角度検出装置における切り換え時の第 1 回転角度 R 1 および第 2 回転角度 R 2 の変化を示す図である。

図 3 において、P は第 1 回転計測器および第 2 回転計測器が正常な場合の、第 1 回転角度 R 1 および第 2 回転角度 R 2 の変化を示す。第 1 回転計測器および第 2 回転計測器が正常であるから、第 1 回転角度 R 1 および第 2 回転角度 R 2 は同じ値を示す。

【 0 0 2 5 】

図 3 において、参照番号 3 0 で示す時間に、第 1 回転計測器に異常が発生した場合を考える。第 2 回転計測器は正常であるから、第 2 回転角度 R 2 はモータの回転に応じて Q 2 で示すように変化する。一方、第 1 回転計測器は異常であるから、第 1 回転角度 R 1 の値は、Q 1 で示すように変化し、第 2 回転角度 R 2 との差が時間の経過と共に広がる。

【 0 0 2 6 】

前述のように、レゾルバ（回転計測器）の異常発生を検出は、発生から検出まである程度の時間が必要である。図 3 に示すように、参照番号 3 1 で示す時間に第 1 回転計測器に異常が発生したことを検出したと仮定すると、Q 1 と Q 2 の差は広がっている。そのため、セクタ 1 4 が、R 3 および 3 として出力するデータを、R 1 および 1 の組から R 2 および 2 の組に切り換えると、R 3 および 3 は非常に大きく変化する場合が起こる。

【 0 0 2 7 】

セクタ 1 4 の出力する R 3 および 3 は、モータ制御部 1 6 において、サーボ制御に使用されており、大きな変化を生じると、サーボ制御に悪影響を及ぼし、最悪の場合には脱調などが発生する。この場合問題になるのが、回転角度 R 3 の大きな変化である。

【 0 0 2 8 】

モータは、小型化のために、より高速回転することが求められている。そのため、回転計測器の異常発生を検出時間が同じでも、その間の第 1 検出信号と第 2 検出信号の差は大きくなり、サーボ制御への影響が大きくなる。

【 0 0 2 9 】

したがって、2 個のレゾルバを有する冗長化した角度検出装置には、レゾルバに異常が発生した場合に、後段のサーボ制御などへ悪影響を及ぼさない形で、正常なレゾルバの検出した回転角度に切り換えることが求められる。以下に説明する実施形態では、切り換え動作を改良した 2 個のレゾルバを有する冗長化した角度検出装置が開示される。

【 0 0 3 0 】

図 4 は、実施形態のモータ制御システムの構成を示す図である。このモータ制御システムは、モータ 1 1 と、第 1 レゾルバ 1 2 A と、第 2 レゾルバ 1 2 B と、第 1 レゾルバインターフェース 1 3 A と、第 2 レゾルバインターフェース 1 3 B と、C P U 1 5 と、モータ制御部 1 6 と、ドライバ 1 7 と、切り換え補間部 4 0 と、を有する。言い換えれば、実施形態のモータ制御システムは、2 個のレゾルバを有する冗長化した角度検出装置を搭載したシステムであり、図 1 の構成で、セクタ 1 4 の代わりに切り換え補間部 4 0 を設けたことが異なり、他は図 1 のシステムと同じである。したがって、切り換え補間部 4 0 以外の部分について説明は省略する。

【 0 0 3 1 】

図 5 は、実施形態における角度検出装置の詳細な構成を示す図である。実施形態の角度検出装置は、第 1 レゾルバ 1 2 A、第 2 レゾルバ 1 2 B、第 1 レゾルバインターフェース 1 3 A、第 2 レゾルバインターフェース 1 3 B および切り換え補間部 4 0 を有する。言い換えれば、実施形態の角度検出装置は、図 2 の構成で、セクタ 1 4 の代わりに切り換え補間部 4 0 を設けたことが異なり、他は図 2 の角度検出装置と同じである。第 1 レゾルバ 1 2 A および第 1 レゾルバインターフェース 1 3 A を含み、第 1 検出信号（第 1 回転角度 R 1 および第 1 回転角速度 1 ）を出力する部分を第 1 回転計測器と称する。同様に、第

10

20

30

40

50

2 レゾルバ 1 2 B および第 2 レゾルバ インターフェース 1 3 B を含み、第 2 検出信号 (第 2 回転角度 R 2 および第 2 回転角速度 2) を出力する部分を第 2 回転計測器と称する。

【 0 0 3 2 】

実施形態の切り換え補間部 4 0 は、第 1 回転計測器および第 2 回転計測器が正常であれば、第 1 検出信号を選択して、第 3 回転角度 R 3 および第 3 回転角速度 3 として出力する。切り換え補間部 4 0 は、第 1 回転計測器に異常が発生した場合、第 2 回転計測器が正常であれば、第 2 検出信号を選択して、第 3 回転角度 R 3 および第 3 回転角速度 3 として出力するように、選択を切り換える。以上の機能は、図 1 および図 2 のセクタ 1 4 と同じである。さらに、実施形態の切り換え補間部 4 0 は、第 1 検出信号から第 2 検出信号に選択を切り換える時に、単純に切り換えるのではなく、第 3 回転角度 R 3 が段階的に第 2 回転角度 R 2 との差を縮小するように補間しながら切り換える。

10

【 0 0 3 3 】

図 6 は、図 1 および図 2 に示したセクタ 1 4 による切り換えと、実施形態の切り換え補間部 4 0 による切り換えを説明する図である。

図 6 では、説明を簡略にするために、第 1 回転計測器に異常が発生した時の第 1 回転角速度 1 と第 2 回転角速度 2 が等しく且つその後一定で、第 1 回転角度 R 1 および第 2 回転角度 R 2 が異なるとして説明を行う。さらに、Q 1 は第 1 回転角度 R 1 を示し、Q 2 は第 2 回転角度 R 2 を示し、 $0 < 1 = 2 = \text{一定}$ であるから、Q 1 と Q 2 は単調増加する平行な直線となる。

【 0 0 3 4 】

20

図 6 の (A) は、セクタ 1 4 による切り換えを示す。セクタ 1 4 は、第 1 検出信号 (第 1 回転角度 R 1 および第 1 回転角速度 1) を第 2 検出信号 (第 2 回転角度 R 2 および第 2 回転角速度 2) に切り換えるだけであるから、第 1 回転角度 R 1 から第 2 回転角度 R 2 への変化は瞬時に終了する。したがって、この場合の回転角速度の変化は非常に大きい。

【 0 0 3 5 】

モータ制御系では、上記のような回転角度の変化が発生すると、制御目標の角度が大きく変化したことになり、目標角度になるように回転角速度を大きく変化させる制御を行う。これに応じて、ドライバ 1 7 は、駆動信号を急激に変化させるため、脱調などの悪影響が発生する。また、駆動信号に応じてモータ 1 1 の回転速度が急激に変化し、目標回転速度に近づくが、今度は逆に急激に減速するが、イナーシャの関係で目標回転速度を超えて変化し、このような制御を繰り返して目標回転速度に収束することになる。言い換えれば、回転速度が振動しながら目標回転速度に収束する。このように、図 1 および図 2 に示したセクタ 1 4 による瞬時の切り換えでは、検出信号を利用する後段に悪影響を及ぼす。

30

図 6 の (B) は、元の回転角度 Q 1 から目標回転角度 Q 2 への変化をサーボ制御系の最大許容角速度 で変化させる補間処理を行った場合を示す。元の回転角度 Q 1 に対する角速度を 増加させる。この場合、モータ制御系の影響は最小で済むが、切り換え時間が長くなる。

【 0 0 3 6 】

例えば、ドライバ 1 7 がモータ 1 1 を P W M 駆動する時、P W M のキャリア周波数 1 周期内において指定した制御量 (Ang_L) を P W M のキャリア周波数 (fc) とモータ回転数 (R [rps]) から次のように定義する。

40

$$\text{Ang_L} < 360 \times R / \text{fc} [^\circ]$$

この Ang_L の変化量で回転動作したときの角速度を MAX とする。この角速度 MAX は、P W M 駆動で実現できる最大変化量である。

【 0 0 3 7 】

図 6 の (C) は、元の回転角度 Q 1 から目標回転角度 Q 2 への変化を角速度 MAX で行った場合を示す。この場合、元の回転角度 Q 1 に対する角速度に加速用角速度 を加えて MAX とする。

MAX で切り換えを行えば短時間で切り換えが可能であるが、急に MAX にしてしまうと

50

、図 6 の (A) の場合と同様にモータ制御系に悪影響を及ぼす。

【 0 0 3 8 】

図 6 の (D) は、実施形態のモータ制御システムの切り換え補間部 4 0 における補間処理を示す。この補間処理では、元の回転角度 Q_1 から目標回転角度 Q_2 への変化を、角速度を段階的に変化させて行う。図 6 の (D) では、元の回転角度 Q_1 に対する角速度から、単位処理時間ごとに角速度を少し加速して補間回転角度を算出し、さらに角速度を少し加速して補間回転角度を算出する処理を繰り返す。そして、角速度が上記の MAX にまで増加すると、MAX での加速を維持しながら単位処理時間ごとに補間回転角度を算出する。補間回転角度が、回転角度 Q_2 に近づくと、角速度を MAX から減少させ、補間回転角度が、回転角度 Q_2 に一致すると、完全に第 2 回転計測器の出力に切り換える。

10

【 0 0 3 9 】

図 7 は、実施形態の切り換え補間部 4 0 による切り換え補間処理をより具体的に説明する図である。図 6 の (D) に示した例では、第 1 回転計測器に異常が発生した時の第 2 回転角速度 ω_2 は、その後一定で変化しないとして説明したが、実際にはモータ 1 1 の回転に応じて変化する。図 7 において、 Q_1 は第 1 回転角度 R_1 の変化を示し、参照番号 3 1 で示す時間に異常発生が検出され、第 2 検出信号 (第 2 回転角度 R_2 および第 2 回転角速度 ω_2) への切り換えが開始される。図 7 では、 Q_1 は角速度が一定であるとして示しているが、参照番号 3 1 で示す時間以後どのように変化しても処理には関係しない。 Q_2 は、第 2 回転角度 R_2 の変化曲線を示し、参照番号 3 1 で示す時間において、すでに Q_1 とは異なる角度となっており、角速度も既に異なっており、その後も変化する。

20

【 0 0 4 0 】

図 7 は、切り換え開始時に第 2 回転角度 R_2 は第 1 回転角度 R_1 より大きく、 R_1 を徐々に増加させて R_2 に一致させ、その後 R_2 に切り換える場合を示している。なお、第 3 角速度 ω_3 は、参照番号 3 1 で示す時間において、 ω_1 から ω_2 に切り換えられ、以下の説明における角速度は回転角度 R_3 を演算する補間処理にのみ関係する。

【 0 0 4 1 】

図 7 において、F は加速境界角度差の変化曲線を示し、G は折り返し角度の変化曲線を示し、H は減速境界角度差の変化曲線を示す。加速境界角度差の変化曲線 F は、切り換え補間処理において、第 1 回転角度 R_1 から第 2 回転角度 R_2 に変化させる場合に、角速度を最大角速度 MAX まで段階的に増加させる時点を示す。折り返し角度の変化曲線 G は、加速境界角度差の変化曲線 F 上の状態から、最大角速度 MAX で第 2 回転角度 R_2 に近づくとように加速する範囲の中間となる時点を示す。減速境界角度差の変化曲線 H は、第 2 回転角度 R_2 に近づいたため、最大角速度 MAX から第 2 回転角速度 ω_2 に近づくとように減速を開始する時点を示す。回転角度を補間するために、角速度をどの程度増加または減少させるかは、その時点の第 2 回転角速度 ω_2 に応じて決定する。

30

【 0 0 4 2 】

図 8 は、回転角度補間処理において、第 2 回転角速度 ω_2 に対して、角速度をどの程度増加または減少する量に設定するかを示す図である。図 8 に示すように、角速度を増加または減少させる量 $\Delta\omega$ は、第 2 回転角速度 ω_2 に比例するように決定する。

【 0 0 4 3 】

次に、回転角度 R_3 をどのように補間処理するかについて、図 7 の例で詳しく説明する。

40

補間処理は、参照番号 3 1 で示す時間 (t_1) において開始される。 t_1 の時の第 1 回転角度 R_1 であり、これが切り換え開始時の補間した第 3 回転角度 R_{31} となる。 t_1 の時、第 1 回転角度 R_1 より第 2 回転角度 R_2 の方が進んでいる (プラス) ので、その時点の第 2 回転角速度 ω_2 より加速して R_3 を演算する必要がある (加速しないと R_2 に追いつかない) 。図 8 にしたがって、 ω_2 に対して $\Delta\omega_1$ 増加させるので、切り換え処理開始時の R_3 を演算する補間処理のための回転角速度 ω_{31} は $\omega_2 + \Delta\omega_1$ となる。

【 0 0 4 4 】

1 単位制御周期経過し、参照番号 3 2 で示す時間 (t_2) になると、第 3 回転角度 R_3

50

2 は、 $R_3 = 1 + (\quad 2 + \quad 1) (t_2 - t_1)$ である。 t_2 の時、第 2 回転角速度 2 は 2 2 であり、図 8 にしたがって、 2 2 に対してさらに 2 増加させるので、補間処理のための回転角速度 3 2 は $2_2 + \quad 1 + \quad 2$ となる。

【 0 0 4 5 】

図 7 では、4 回処理を繰り返すことにより、第 3 回転角度 R_3 は増加し、参照番号 3 3 で示す時点で、加速境界角度差の変化曲線 F に到達する。この時点での R_3 を増加させる回転角速度 3 4 は $2_4 + \quad 1 + \quad 2 + \quad 3 + \quad 4$ となる。次に、第 3 回転角度 R_3 を最大角速度 MAX で加速するとして演算し、単位制御周期ごとに演算値を出力する。この状態を、第 3 回転角度 R_3 が減速境界角度差の変化曲線 H に到達するまで維持する。

10

【 0 0 4 6 】

参照番号 3 4 で示す時間に、第 3 回転角度 R_3 が減速境界角度差の変化曲線 H に到達すると、補間処理のための回転角速度の最大角速度 MAX からの減速を開始する。減速の補間処理は、加速の補間処理に類似しており、その時点の回転角速度と第 2 回転角速度 2 の値から減速する加速度を決定する。

【 0 0 4 7 】

以上の処理を繰り返すことで、第 3 回転角度 R_3 は、第 2 回転角度 R_2 に近づき、参照番号 3 5 で示す時間に、第 3 回転角度 R_3 は第 2 回転角度 R_2 に一致する。それ以後は、第 2 回転角度 R_2 を第 3 回転角度 R_3 として出力する。

【 0 0 4 8 】

20

以上まとめると、実施形態の切り換え補間部 4 0 は、以下の手順で切り換え補間処理を行う。

- (1) レゾルバ同士の角度差を求める。
- (2) 切り換え先の角速度 から を求める。
- (3) 角度差の正負状態と と から補間処理のための切り換え中の算出角速度を求める。
- (4) 切り換え中の算出角速度が、上限、下限のリミット値になったならリミット値に切り換える。
- (5) 目標角度に近づいたら上記の (3) の逆方向の演算を行い、切り換え中の算出角速度を求める。
- (6) 切り換え中の算出角速度を積分する事により算出角度を求める。
- (7) 以上のようにして、算出角度が切り換わり先のレゾルバ角度に接近していく。

30

【 0 0 4 9 】

図 9 は、上記の動作を行う切り換え補間部 4 0 の回路構成ブロック図である。

切り換え補間部 4 0 は、セレクトア 4 1、角度偏差算出部 ($R_1 - R_2$) 4 2 と、セレクトア 4 3 と、初回保持部 4 4 と、角速度算出部 4 5 と、角度算出部 4 6 と、 $0 \sim 360^\circ$ 変換部 4 7 と、を有する。

【 0 0 5 0 】

セレクトア 4 1 は、選択信号 SEL に応じて、第 1 回転計測器からの第 1 回転角度 R_1 と第 2 回転計測器からの第 2 回転角度 R_2 の一方を選択して、角度 B として出力する。選択信号 SEL は、セレクトア 4 1 が、第 1 回転計測器が正常であれば R_1 を、第 1 回転計測器が異常であることが検出されると R_2 を選択する信号である。

40

【 0 0 5 1 】

角度偏差算出部 ($R_1 - R_2$) 4 2 は、 R_1 と R_2 の差を、異常の発生に備えて常時演算する。

セレクトア 4 3 は、選択信号 SEL に応じて、第 1 回転計測器からの第 1 回転角速度 1 と第 2 回転計測器からの第 2 回転角速度 2 の一方を選択して、切り換え先角度 B として出力する。

【 0 0 5 2 】

初回保持部 4 4 は、第 1 回転計測器に異常が検出され、選択信号 SEL が切り換わった

50

時、角度偏差算出部（ $R_1 - R_2$ ）42の出力する角度差 $R_1 - R_2$ を保存し、切り換え直後の角度差 C として出力する。

【0053】

角速度算出部45は、角度差 C と、セクタ41から出力される切り換え先角度 B （切り換え処理中は第2回転角度 R_2 ）を受け、切り換え中の算出角速度 S の生成を行う。角速度算出部45は、 R_1 と R_2 の角度差の補間処理を、モータ制御系への影響がないよう、補間処理の進行状態ごとに区分して行うことにより、切り換え時間の短縮を実現している。また、制御周期毎に切り換え先の角速度を確認していくことで、切り換え中に角速度が変化した場合でも追従して角速度を算出していく。

【0054】

角度算出部46は、角度差 C と、セクタ41から出力される第2回転角度 R_2 および角速度算出部45の出力する切り換え中の算出角速度 S を受け、段階的に変化する算出回転角度 A の生成を行う。補間回転角度は、切り換え時間を短縮すると共に、モータ制御系に影響のない角度差で段階的に変化するよう補間処理して生成される。また、角度算出部46は、単位制御周期ごとに、切り換え先である第2回転計測器の出力する角速度 ω_2 を確認していくことで、切り換え中に角速度が変化した場合でも追従して角速度を算出していく。また、角度算出部46は、切り換え先である第2回転計測器の出力する回転角度 R_2 と、角速度算出部45が生成した角速度から算出した角速度 S に対して、常に比較、差分を求め、角速度算出部45に切り換え先との角度差（切り換え中角度差） D として提供している。

【0055】

$0 \sim 360^\circ$ 変換部47は、角度算出部46が求めた回転角度値 A がマイナスや 360° を越えている場合、 0° から 360° の間の値に修正する。

【0056】

ここで、上記の切り換え補間処理における算出角速度の変化および使用する用語を説明する。

【0057】

図10は、補間処理における算出角速度の変化および補間処理で使用する用語を説明する図である。図10は、図6の（D）で使用した図に対応し、説明を簡単にするため、切り換え先である第2角度計測器の第2回転角度 R_2 と切り換え元の第1角度計測器の第1回転角度 R_1 の変化を直線で示すが、前述のように、実際は常に変動する曲線である。

【0058】

・折返し角度

折返し角度とは、切り換え先の角度 B （ R_2 ）から、切り換え時の角度差 C の $1/2$ の角度異なる角度である。 B （ R_2 ）が変動している為、下記式より常に補正が掛かる。

折返し角度 = $B + C / 2$ （ $R_1 < R_2$ の時 C は負、 $R_1 > R_2$ の時 C は正）

【0059】

・加速境界角度差

加速境界角度差とは、切り換え時の角度差 C の補正方向が進みの場合（ $R_1 < R_2$ ）、切り換え中の角速度 S が MAX に到達したときの角度差とする。例えば、図7に示した例では、4回目の単位制御周期で MAX に到達したときの例である。

【0060】

加速境界角度差は、切り換え時の角度差 C の補正方向が遅れの場合（ $R_1 > R_2$ ）、詳細を後述する減速境界角度差の反対の所にある。但し速度差に差分がある可能性を考慮し、下記補正項を付ける。

【0061】

（ケース1）切り換え時の角度差 C の補正方向が進みの場合（ $R_1 < R_2$ ）

$MAX = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{2}{4} + \frac{3}{4} + \frac{4}{4}$ とすると、加速境界角度差 = $(\frac{1}{4} + \frac{1}{4})t_1 + (\frac{2}{4} + \frac{1}{4} + \frac{2}{4})t_2 + (\frac{3}{4} + \frac{1}{4} + \frac{2}{4} + \frac{3}{4})t_3 + (\frac{4}{4} + \frac{1}{4} + \frac{2}{4} + \frac{3}{4} + \frac{4}{4})t_4$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 2 】

(ケース 2) 切り換え時の角度差 C の補正方向が遅れの場合 (R 1 > R 2)

加速境界角度差 = $\frac{C}{(d_m + s) / 2}$

ただし、 s : 切り換え時の第 2 回転計測器の第 2 角速度 ω_2

d m : 境界角度達成時の切り換え中の角度差 D m 到達時の角速度

【 0 0 6 3 】

・減速境界角度差

切り換え時の角度差 C の補正方向が進みの場合、加速境界角度差の反対の所にある。但し速度差に差分がある可能性を考慮し、下記補正項を付ける。

【 0 0 6 4 】

減速境界角度差とは、切り換え時の角度差 C の補正方向が遅れの場合、切り換え中の角速度 S が MIN に到達したときの角度差とする。

【 0 0 6 5 】

(ケース 1) 切り換え時の角度差 C の補正方向が進みの場合 (R 1 < R 2)

減速境界角度差 = $\frac{C}{(d_m + s) / 2}$

ただし、 s : 切り換え時の第 2 回転計測器の第 2 角速度 ω_2

d m : 境界角度達成時の切り換え中の角度差 (D m) 到達時の角速度

【 0 0 6 6 】

(ケース 2) 切り換え時の角度差 C の補正方向が遅れの場合 (R 1 > R 2)

MAX = $\frac{C}{4} - \frac{1}{2} - \frac{2}{3} - \frac{3}{4}$ とすると、加速境界角度差 = $(\frac{1}{4} - \frac{1}{2}) t_1 + (\frac{2}{3} - \frac{1}{2}) t_2 + (\frac{3}{4} - \frac{1}{2} - \frac{2}{3}) t_3 + (\frac{4}{4} - \frac{1}{2} - \frac{2}{3} - \frac{3}{4}) t_4$ 20

【 0 0 6 7 】

・算出角度 A

算出角度 A とは、この切り換え補間部 4 0 の角度算出部 4 6 が生成した回転角度のことであり、図 1 0 では、Q 1 から Q 2 に段階的に変化する線上の折れ曲がった点の示す角度に相当する。

【 0 0 6 8 】

・切り換え中の角速度 S

切り換え中の角速度 S とは、補間角度を決定していく変位を角速度として表したものである。 30

切り換え立ち上がりと切り換わり終了では、切り換え先の第 2 回転計測器の角速度 ω_2 に一致し、折返し角度付近では、最大(最小)角速度になるような曲線で示される。

【 0 0 6 9 】

・切り換え時の角度差 C

切り換え開始時における、切り換え元の第 1 回転計測器の回転角度 R 1 と、切り換え先の第 2 回転計測器の回転角度 R 2 の差である。切り換え時の角度差 C は、切り換わり終了まで、変わらず保持される。

【 0 0 7 0 】

・切り換え先の第 2 回転計測器の回転角度 R 2 との角度差 D 40

切り換え先の第 2 回転計測器の回転角度 R 2 と比較した角度差のことである。開始時には、切り換え時の角度差 C と同値であり、切り換わり終了時は " 0 " になっている。

【 0 0 7 1 】

・境界角度到達時の切り換え先との角度差 D m

D m = 切り換え直後の角度差 C - 切り換え先との角度差 D

実施形態における切り換え中の算出角度 A の算出の基本原理を、図 1 0 と関連付けて説明すると、以下のようになる。

【 0 0 7 2 】

Q 1 上の参照番号 3 1 で示す切り換え開始の時点から、算出角度 A が加速境界角度差 F に到達するまでは、Q 2 (R 2) の方が Q 1 (R 1) より進んでいるので、サーボ制御に 50

影響しないように徐々に加速し、順次算出角度 A を算出して出力する。算出角度 A が、加速境界角度差 F に到達した時には、算出角速度 S が最大角速度に達しており、加速境界角度差 F と減速境界角度差 H の間は、算出角速度 S を最大角速度に固定して、順次算出角度 A を算出して出力する。したがって、加速境界角度差 F と減速境界角度差 H の間は、高速状態である。その後、算出角度 A が減速境界角度差 H に達すると、減速を行い、算出角度 A が第 2 回転計測器の出力する第 2 回転角度 R₂ に一致する時には、算出角速度 S が第 2 回転計測器の出力する角速度 S₂ に一致するようにする。

【0073】

Q₂ (R₂) の方が Q₁ (R₁) より遅れている時には、上記と逆に、まず減速処理し、最小角速度で進んだ後、加速して、算出角速度 S が第 2 回転計測器の出力する角速度 S₂ に一致するようにする。

10

【0074】

上記の説明は、切り換え処理中に、算出角速度 S が、最大または最少角速度になる場合であるが、最大または最少角速度になる前に、折返し角度 G に達する場合がある。その場合には、算出角速度 S が、折返し角度 G に達した時に、加速と減速を切り換える。

【0075】

以上説明した用語を用いて、図 9 の各部を説明する。

図 11 は、図 9 の角度算出部 46 の詳細な構成を示すブロック図である。

角度算出部 46 は、乗算器 51 と、時間幅レジスタ 52 と、減算器 53 と、角度差保持部 54 と、初期値算出部 55 と、減算器 56 と、初期信号発生部 57 と、セクタ 58 と、角度偏差算出部 59 と、収束判定部 60 と、セクタ 61 と、を有する。角度算出部 46 は、算出角度 A の生成と、切り換え先との角度差 D の生成を行う。

20

【0076】

初期値算出部 (B - C) 55 は、切り換え先の回転角度である B と切り換え時の角度差 C から、切り換え時の第 1 回転計測器の出力する回転角度 R₁ を算出する。

初期信号発生部 57 は、選択信号 SEL に応じて、切り換え時の最初の補間処理を行う間のみ有効になる初期信号を発生する。

【0077】

セクタ 58 は、初期信号が有効の期間 B 側を選択し、それ以外の時には A 側を選択する。したがって、セクタ 58 は、切り換え時の最初の補間処理のみ R₁ を、それ以後は減算器 56 が出力するその時点の角度差を、切り換え中の角度 I として出力する。

30

【0078】

角度偏差算出部 (B - I) 59 は、切り換え先の回転角度である B と切り換え中の角度 I の差を算出して切り換え中の角度差 D として出力する。

【0079】

判定部 60 は、セクタ 60 の切り換え信号を出力する。この切り換え信号は、セクタ 60 が、初期および収束後には B 側を、その間は A 側を選択して算出角度 A として出力するように制御する。判定部 60 は、切り換え中の角度差 D があらかじめ設定した範囲に収束したかを判定する。これにより算出誤差による角度収束が不完全な場合でも、算出角度は B、すなわち R₂ に切り換えられる。

40

【0080】

乗算器 51 は、切り換え中の算出角速度 S に、時間幅レジスタ 52 に保持された単位制御周期 T を乗算し、単位制御周期 T の間の回転角度を算出する。

減算器 53 は、角度差保持部 54 に保持された前回の角度差から乗算器 51 の出力する回転角度量を減算し、その時点の角度差を算出する。

【0081】

角度差保持部 54 は、切り換え開始時には、角度差 C を保持し、それ以後減算器 53 の出力するその時点の角度差を保持するように保持する値を更新する。

減算器 56 は、切り換え先の回転角度 R₁ から減算器 53 の出力するその時点の角度差を減算し、その時点の算出角度を求める。

50

【 0 0 8 2 】

以上の通り、前回の角度差から、単位制御周期 T の間の算出角速度 S に対応する回転量を減算していくことで、その時点の算出角度を求める。このようにして求められたその時点の算出角度は、補間切り換え処理中、セクタ 5 8 およびセクタ 6 1 を介して算出角度 A として出力され、収束すると、算出角度 A として切り換え先の回転角度 R_2 が出力される。

【 0 0 8 3 】

図 1 2 は、図 9 の角速度算出部 4 5 の詳細な構成を示すブロック図である。角速度算出部 4 5 は、切り換え中の算出角速度 S の生成を行い、切り換え中の算出角速度 S を、加速状態、高速状態、減速状態のように変化させることで、モータ制御系の影響がでない、切り換え時間の短縮を実現している。

10

【 0 0 8 4 】

角速度算出部 4 5 は、折返し角度抽出部 7 1 と、初回角速度保持部 7 2 と、反転境界角度差生成部 7 3 と、制御判定部 7 4 と、 α テーブル 7 5 と、加減算器 7 6 と、前回値保持部 7 7 と、加算器 7 8 と、最大値最小値保持部 7 9 と、セクタ 8 0 と、を有する。

【 0 0 8 5 】

折返し角度抽出部 7 1 および反転境界角度差生成部 7 3 については後述する。

初回角速度保持部 7 2 は、選択切り換え信号 $SELA$ に応じて、切り換え時の切り換え先の第 2 回転計測器の出力する回転角速度 ω_2 をラッチして初回角速度 ω_s として保持する。

20

【 0 0 8 6 】

α テーブル 7 5 は、図 8 の関係を記憶したテーブルで、 ω_2 から ω_s を生成する。これは、角速度によりモータ制御系に影響のない α が異なることが予想されるためである。また、角速度 ω は、制御単位ごとに新しい値を使用するようにしており、これにより、切り換え中に角速度 ω が変化した場合にも追従できる。

【 0 0 8 7 】

加減算器 7 6 は、 ω_s と前回値保持部 7 7 に保持された前回の角速度から新たな加速度を算出する。単位制御周期 T ごとに a を加算してゆくことで、加速状態から高速状態に近づけてゆく。なお、減速の場合はマイナスの値を加算する。このように、加減算器 7 6 と前回値保持部 7 7 は、 ω_s 、 $\omega_s + aT$ 、 $\omega_s + 2aT$ 、 $\omega_s + 3aT + \dots$ を順次生成する。加減算器 7 6 の演算が、加算か減算かの制御は、制御判定部 7 4 が行う。

30

【 0 0 8 8 】

加算器 7 8 は、 ω_s と $\omega_s + aT$ 、 $\omega_s + 2aT$ 、 $\omega_s + 3aT + \dots$ を足し合わせる。

以上のようにして、加速期間中と減速期間中の角速度を生成する。

【 0 0 8 9 】

最大値最小値保持部 7 9 は、モータ制御での最大値 MAX および最小値 MIN を保持し、 R_2 が R_1 より進んでいる時には最大値 MAX を、 R_2 が R_1 より遅れている時には最小値 MIN を、出力する。

40

【 0 0 9 0 】

制御判定部 7 4 は、前述の加減算器 7 6 の制御およびセクタ 8 0 における切り換え中の算出角速度 S の選択制御を行う。

【 0 0 9 1 】

セクタ 8 0 は、制御判定部 7 4 の制御に基づいて、 ω_s 、 $\omega_s + aT$ 、 $\omega_s + 2aT + \dots$ と最大値(最小値)のいずれかを選択し、切り換え中の算出角速度 S として出力する。

【 0 0 9 2 】

反転境界角度差生成部 7 3 は、後述する図 1 3 の構成を有し、角速度の変化に合わせて減速又は加速境界角度差の生成を行う。例えば、高速状態から減速状態への推移であれば、減速境界角度差の生成を行う。切り換え中の角度差が減速境界角度を達成すると、減速を開始する。

50

【 0 0 9 3 】

折返し角度抽出部 7 1 は、後述する図 1 4 の構成を有し、折返し角度の生成を行う。

図 1 3 は、反転境界角度差生成部 7 3 の構成を示す図である。

反転境界角度差生成部 7 3 は、 $d m$ 抽出部 8 1 と、境界角度達成監視部 8 2 と、平均算出部 8 3 と、除算器 8 4 と、減算器 8 5 と、乗算器 8 6 と、を有する。

【 0 0 9 4 】

境界角度達成監視部 8 2 は、切り換え中の角度差 $D m$ が境界角度に到達したかを監視し、到達すると到達信号を出力する。

$d m$ 抽出部 8 1 は、第 2 回転計測器の出力する第 2 回転角速度 ω_2 を監視し、到達信号が出力された時の第 2 回転角速度 ω_2 を抽出する。

10

【 0 0 9 5 】

平均算出部 8 3 は、第 2 回転角速度 ω_2 の切り換え開始時の角速度 ω_s と $d m$ の平均 $(d m + \omega_s) / 2$ を算出する。

除算器 8 4 は、第 2 回転角速度 ω_2 を上記の平均 $(d m + \omega_s) / 2$ で除して、前述の補正項を算出する。

【 0 0 9 6 】

減算器 8 5 は、切り換え時の角度差 C から $D m$ を減じて加速（減速）境界角度差を算出する。

乗算器 8 6 は、加速（減速）境界角度差に補正項を乗じて、加速（減速）境界角度差を算出し、反転境界角度 $D d$ として出力する。

20

【 0 0 9 7 】

図 1 4 は、折返し角度抽出部 7 1 の構成を示す図である。折返し角度抽出部 7 1 は、折返し角度の生成を行う。

折返し角度抽出部 7 1 は、切り換え時の角度差 C の $1 / 2$ を算出する $1 / 2$ 算出部 8 7 と、 $1 / 2$ 算出部 8 7 の出力と切り換え先の角度 B を加算する加算器 8 8 と、を有する。

【 0 0 9 8 】

図 1 5 および図 1 6 は、図 1 2 の制御判定部 7 4 の制御フローを示すフローチャートである。図 1 5 および図 1 6 を参照して制御判定部 7 4 の制御を説明する。

制御判定部 7 4 に入力する信号は、次の 5 つである。

【 0 0 9 9 】

30

切り換え中の角度差 D

切り換え時の角度差 C

切り換え中の算出角速度 S

切り換え先の角速度 ω_2

反転境界角度差 $D d$

【 0 1 0 0 】

また、制御判定部 7 4 からの出力情報は、次の 2 つである。

セクタ 8 0 の選択信号（加速、減速、最大速度切り換え、最小速度切り換え）

加減算器 7 6 の制御信号。

【 0 1 0 1 】

40

また、制御判定部 7 4 で、境界角度達成時の切り換え先との角度差 $D m$ が生成される。

ステップ S 1 1 では、切り換え時の角度差 C から補正方向が、進み方向であるか遅れ方向であるか判定し、進み方向であればステップ S 1 2 に進み、遅れ方向であればステップ S 4 1 に進む。

【 0 1 0 2 】

ステップ S 1 2 では、切り換え中の角度差 D と、加速境界角度、折返し角度および減速境界角度との比較、および角速度と最大角速度との比較を行う。加速境界角度に達していなければステップ S 1 3 に進む。加速境界角度に達しているが、折返し角度に到達していればステップ S 2 1 に進む。すでに最大角速度 MAX を超えて一定の角速度になっていれば S 1 2 に戻る。減速境界角度（反転境界角度差 $D d$ ）に達していれば、ステップ S

50

3 1に進む。

【0103】

ステップS 1 3では、その時点の第2回転角速度 ω_2 に n を加えて(加速して)、切り換え中の算出角速度 S を生成する。

ステップS 1 4では、切り換え中の算出角速度 S が最大値に達したかを判定し、達していればステップS 1 5に進み、達していなければS 1 2に戻る。

【0104】

ステップS 1 5では、加速度境界角度に到達したと決定する。

ステップS 1 6では、切り換え中の角度差 D を、加速度境界角度到達時の切り換え中の角度 D_m として決定する。

10

【0105】

ステップS 1 7では、切り換え中の算出角速度 S を最大値(MAX)に切り換え、S 1 2に戻る。

ステップS 2 1では、切り換え中の算出角速度 S が最大値(MAX)に達しているか判定し、達していればS 1 2に戻り、達しておらず加速中であればステップS 2 2に進む。

【0106】

ステップS 2 2では、減速境界角度差を、折返し角度と同じ位置に設定する。

ステップS 2 3では、その時点の第2回転角速度 ω_2 から n を減じて(減速して)、切り換え中の算出角速度 S を生成し、S 1 2に戻る。

【0107】

ステップS 3 1では、切り換え中の算出角速度 S に対して減速処理に切り換える。

ステップS 3 2では、その時点の第2回転角速度 ω_2 から n を減じて(減速して)、切り換え中の算出角速度 S を生成する。

20

【0108】

ステップS 3 3では、切り換え中の算出角速度 S が第2回転計測器の出力する ω_2 に等しいか、切り換え中の角度差 $D = 0$ であるか判定し、 $S = \omega_2$ または $D = 0$ であればステップS 3 4に進み、 $S = \omega_2$ または $D = 0$ であればS 1 2に戻る。

【0109】

一方、ステップS 1 1で遅れ方向と判定された場合には、ステップS 4 1に進む。

ステップS 4 1では、切り換え中の角度差 D と、減速境界角度、折返し角度および加速境界角度との比較、および角速度と最小角速度との比較を行う。減速境界角度に達していなければステップS 4 2に進む。減速境界角度に達しているが、折返し角度に到達していればステップS 5 1に進む。すでに最小角速度 MIN を超えて一定の角速度になっていればS 4 1に戻る。加速限界角度(反転境界角度差 D_d)に達していれば、ステップS 6 1に進む。

30

【0110】

ステップS 4 2では、その時点の第2回転角速度 ω_2 から n を減じて(減速して)、切り換え中の算出角速度 S を生成する。

ステップS 4 3では、切り換え中の算出角速度 S が最小値に達したかを判定し、達していればステップS 4 4に進み、達していなければS 4 1に戻る。

40

【0111】

ステップS 4 4では、減速度境界角度に到達したと決定する。

ステップS 4 5では、切り換え中の角度差 D を、減速度境界角度到達時の切り換え中の角度 D_m として決定する。

【0112】

ステップS 4 6では、切り換え中の算出角速度 S を最小値(MIN)に切り換え、S 4 1に戻る。

ステップS 5 1では、切り換え中の算出角速度 S が最小値(MIN)に達しているか判定し、達していればS 4 1に戻り、達しておらず減速中であればステップS 5 2に進む。

【0113】

50

ステップ S 5 2 では、加速境界角度差を、折返し角度と同じ位置に設定する。

ステップ S 5 3 では、その時点の第 2 回転角速度 2 に n を加えて（加速して）、切り換え中の算出角速度 S を生成し、S 4 1 に戻る。

【0114】

ステップ S 6 1 では、切り換え中の算出角速度 S に対して加速処理に切り換える。

ステップ S 6 2 では、その時点の第 2 回転角速度 2 に n を加えて（加速して）、切り換え中の算出角速度 S を生成する。

【0115】

ステップ S 6 3 では、切り換え中の算出角速度 S が第 2 回転計測器の出力する 2 に等しいか、切り換え中の角度差 $D = 0$ であるか判定し、 $S = 2$ または $D = 0$ であればステップ S 6 4 に進み、 $S = 2$ または $D = 0$ であれば S 4 1 に戻る。

10

【0116】

以上説明した図 1 5 および図 1 6 のフローチャートで、R 2 が R 1 より進んでいる時で、加速状態の時には S 1 2、S 1 3 から S 1 7 を行い、高速状態では S 1 2 から直接 S 1 2 に戻り、減速状態では S 1 2、S 3 1 から S 3 4 を行う。R 2 が R 1 より遅れている時で、減速状態の時には S 4 1、S 4 2 から S 4 6 を行い、低速状態では S 4 1 から直接 S 4 1 に戻り、加速状態では S 4 1、S 6 1 から S 6 4 を行う。

【0117】

切り換え補間部は、ハードウェア回路で実現しても、コンピュータや DSP などを利用したソフトウェア処理で実現してもよい。

20

【0118】

以上説明した実施形態の角度検出装置によれば、複数の回転計測器（レゾルバ）で同一回転軸の回転を計測し、一方に異常が発生した時には他方に切り換える冗長構成で、出力信号を利用する制御系への影響が小さい形で高速に切り換える。これにより、モータ制御系は、設計変更せずに、これまでの制御シーケンスがそのまま使用でき、高速回転し、回転速度が随時変化する回転体にも適用できる。

【0119】

以上、実施形態を説明したが、ここに記載したすべての例や条件は、発明および技術に適用する発明の概念の理解を助ける目的で記載されたものである。特に記載された例や条件は発明の範囲を制限することを意図するものではなく、明細書のそのような例の構成は発明の利点および欠点を示すものではない。発明の実施形態を詳細に記載したが、各種の変更、置き換え、変形が発明の精神および範囲を逸脱することなく行えることが理解されるべきである。

30

【符号の説明】

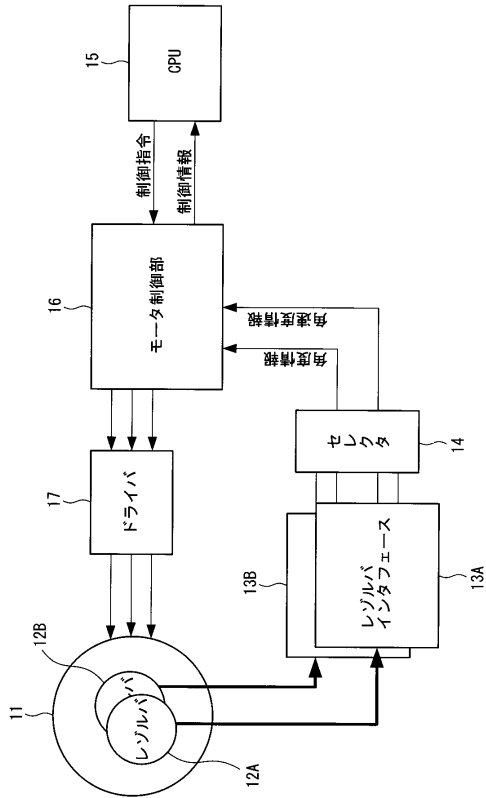
【0120】

- 1 1 モータ
- 1 2 A、1 2 B レゾルバ
- 1 3 A、1 3 B レゾルバインターフェース
- 1 5 CPU
- 1 6 モータ制御部
- 1 7 ドライバ
- 1 8 以上監視部
- 1 9 以上検出部
- 4 0 切り換え補間部
- 4 5 角速度算出部
- 4 6 角度算出部
- 7 4 制御判定部

40

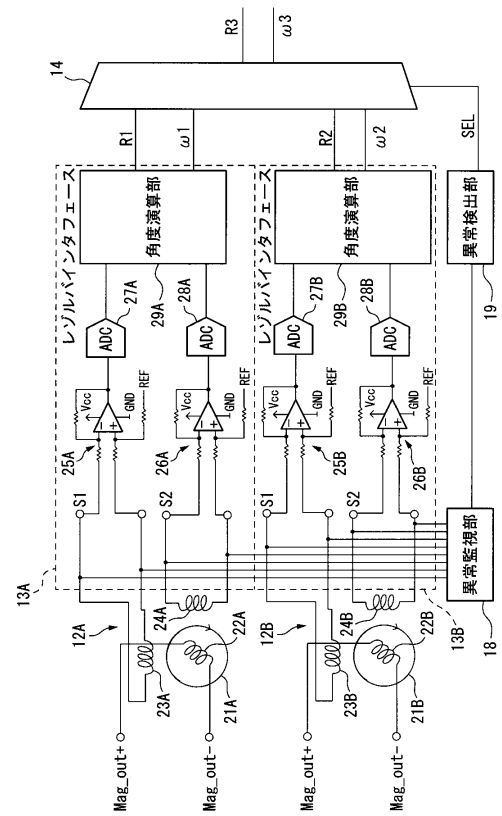
【図 1】

図1



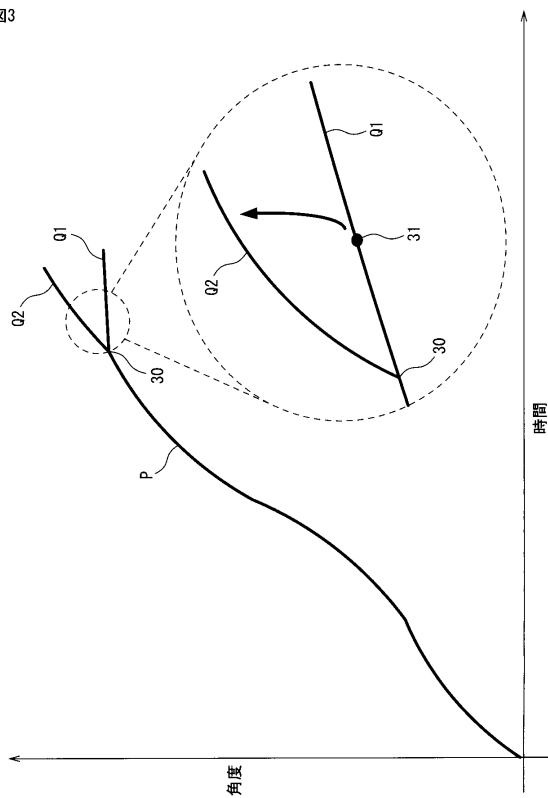
【図 2】

図2



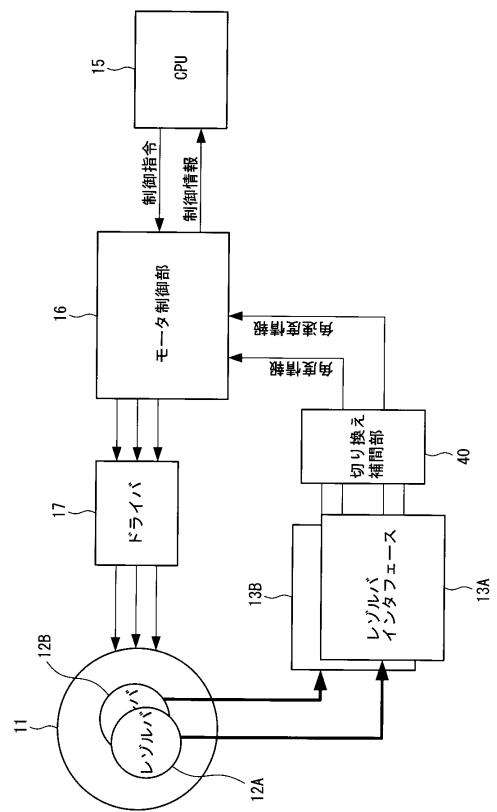
【図 3】

図3



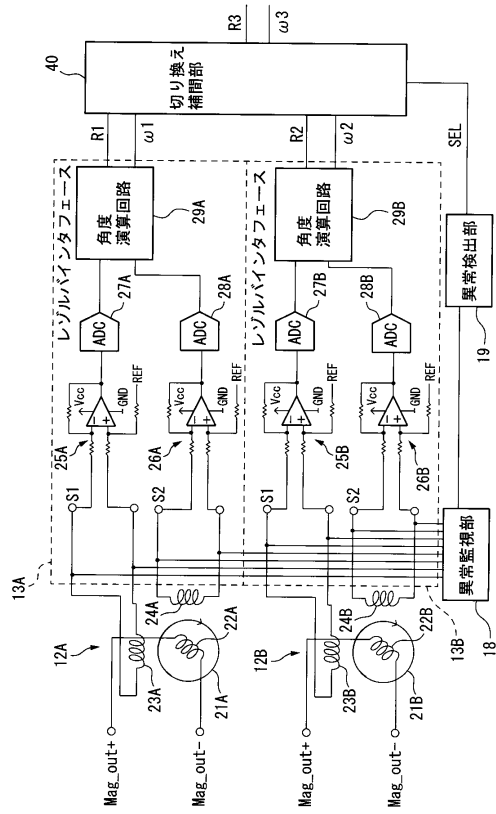
【図 4】

図4



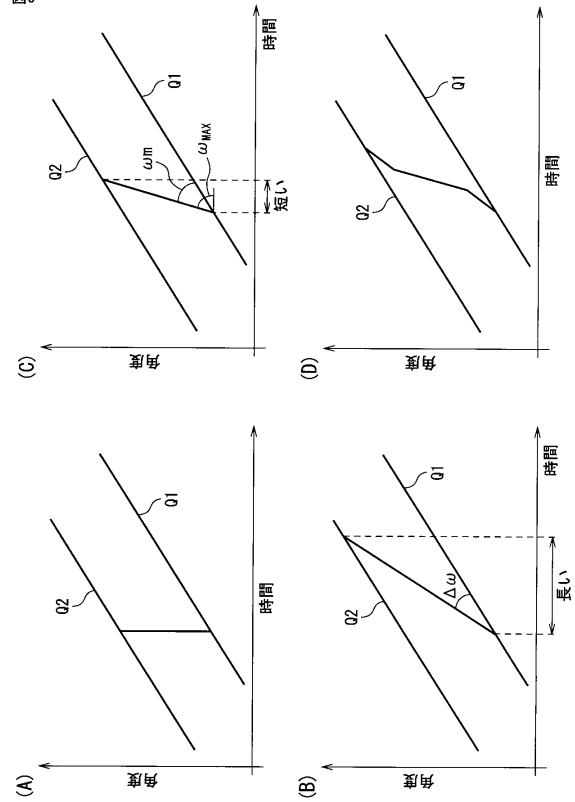
【図 5】

図5



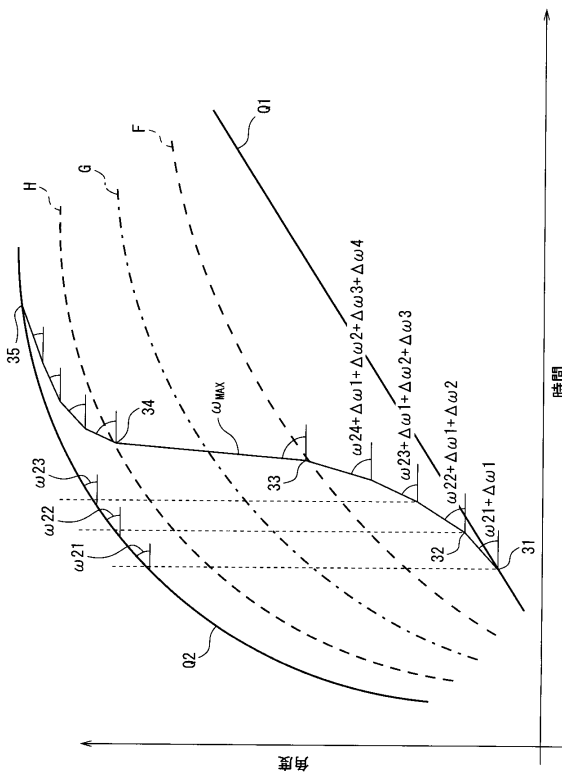
【図 6】

図6



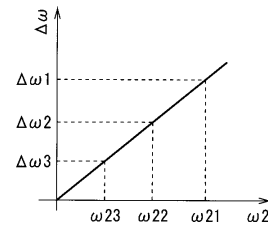
【図 7】

図7



【図 8】

図8



フロントページの続き

- (72)発明者 水野 博夫
神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目１０番２３ 富士通マイクロソリューションズ株式会社内
- (72)発明者 島村 彰
神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目１０番２３ 富士通マイクロソリューションズ株式会社内
- (72)発明者 新井 隆
神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目１０番２３ 富士通マイクロソリューションズ株式会社内

審査官 櫻井 仁

- (56)参考文献 特開２０１１－１８８６８３（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－０８１９６１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１２－２０２９０６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

G 0 1 D	5 / 2 4 4
G 0 1 D	5 / 2 0
G 0 1 P	3 / 4 2
G 0 1 P	3 / 4 8 1
H 0 2 P	6 / 1 0