

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7081079号
(P7081079)

(45)発行日 令和4年6月7日(2022.6.7)

(24)登録日 令和4年5月30日(2022.5.30)

(51)国際特許分類		F I			
H 0 2 P	29/024 (2016.01)	H 0 2 P	29/024		
G 0 5 B	9/02 (2006.01)	G 0 5 B	9/02	B	

請求項の数 5 (全14頁)

(21)出願番号	特願2017-30075(P2017-30075)	(73)特許権者	000002945
(22)出願日	平成29年2月21日(2017.2.21)		オムロン株式会社
(65)公開番号	特開2018-137872(P2018-137872 A)		京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南 不動堂町8 0 1 番地
(43)公開日	平成30年8月30日(2018.8.30)	(74)代理人	110002860
審査請求日	令和1年12月6日(2019.12.6)		特許業務法人秀和特許事務所
		(74)代理人	100085006
			弁理士 世良 和信
		(74)代理人	100096873
			弁理士 金井 廣泰
		(74)代理人	100123319
			弁理士 関根 武彦
		(74)代理人	100125357
			弁理士 中村 剛
		(74)代理人	100123098

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 モータ制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータの動作を検出するエンコーダを有する該モータを駆動するモータ制御装置であって、前記モータを駆動するための動作指令信号と、前記エンコーダからの、前記モータの動作に対応するフィードバック信号とに基づいて、該モータの動作が該動作指令信号に追従するように所定のフィードバック方式に従い該モータの動作に関する指令値を生成するモータ制御部と、
前記モータ制御部からの前記指令値に応じて、前記モータを駆動するための駆動電流を該モータに供給する駆動部と、
前記指令値を伴う、前記モータ制御部から前記駆動部への駆動信号の伝達を遮断する遮断部と、
前記モータの駆動に関し故障が発生したと判断されたときに、前記遮断部を介して前記駆動信号の遮断処理を実行する安全制御部と、
を備え、
前記エンコーダは、前記モータの動作に対応して、互いに独立した2つのフィードバック信号を生成するように構成され、
前記安全制御部は、
前記エンコーダからの前記フィードバック信号により算出される2つの所定のフィードバック値と、前記モータのオブザーバモデルに従って前記動作指令信号に基づいて算出され、該所定のフィードバック値と対比可能な前記モータの動作状態に関する状態計算値とを

含む3つの信号のうち2つの信号の全て組み合わせにおける該2つの信号同士を比較した比較結果に基づいて、前記遮断部による前記駆動信号の遮断処理を実行する、モータ制御装置。

【請求項2】

前記安全制御部は、前記遮断処理において、前記所定のフィードバック値と前記状態計算値との差分に基づいて、該遮断処理の実行の可否を判断する、請求項1に記載のモータ制御装置。

【請求項3】

前記安全制御部は、前記遮断処理において、前記所定のフィードバック値の変化率と前記状態計算値の変化率とを比較し、その比較結果に基づいて該遮断処理の実行の可否を判断する、請求項1に記載のモータ制御装置。

10

【請求項4】

前記安全制御部は、前記遮断処理において、前記所定のフィードバック値の変化率と前記状態計算値の変化率との差分の変化率に基づいて、該遮断処理の実行の可否を判断する、請求項1に記載のモータ制御装置。

【請求項5】

前記安全制御部が形成される安全用回路基板は、前記モータ制御部と前記駆動部と前記遮断部が形成される前記モータ制御装置の本体側に対して取り外し可能とされ、前記モータ制御装置から前記安全用回路基板が取り外され、該安全用回路基板の代わりに、前記安全制御部とは異なる、前記モータの駆動に関し故障が発生したと判断されたときに、前記遮断部を介して前記駆動信号の遮断処理を実行する別の安全制御部が形成された別の回路基板が該モータ制御装置に組み込み可能とされる、請求項1から請求項4の何れか1項に記載のモータ制御装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モータを駆動制御するモータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、製造現場では、サーボシステムが、各種機械における稼動部の位置決め制御などに用いられている。このようなサーボシステムとして、各種の機械装置を稼動するためのサーボモータと、このサーボモータに取り付けられたエンコーダと、サーボモータを駆動するためのサーボドライバと、サーボドライバに対して位置指令情報等を入力するための制御装置とを備えるシステムがある。そして、製造現場では、コスト削減、生産性の向上とともに、作業者に対する安全性確保の取り組みが重要な要件となっている。このため、サーボシステムについても、相応の安全規格に適合させることが要求されつつある。

30

【0003】

ここで、特許文献1では、故障発生時にサーボドライバに対してサーボモータを停止させるための停止信号を出力するセーフティユニットが開示されている。具体的には、制御装置からサーボモータへの動作指令信号の値と、エンコーダからのフィードバック信号の値と、両値から算出される判断値のうち何れかが故障であると判断されたときに、セーフティユニットが停止信号を出力するように構成されている。このような構成により、サーボシステムの安全化が図られる。また、特許文献2では、エンコーダを含む指令ユニットの交換のためにサーボシステムの電源をOFFからONにする際に、システム内のエンコーダによる位置情報が電源ONの前後でずれた場合に警報を出力するシステム構成が開示されている。この構成により、適切な指令ユニットの交換作業が担保される。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

50

【文献】特許第 5 3 6 7 6 2 3 号公報
特許第 4 2 6 1 3 2 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来は、モータを駆動制御するモータ制御装置について、その安全性能を高めるためには、モータ制御装置への入力情報を生成する当該モータの動きを検出するエンコーダの安全性能を高める必要があると考えられていた。そのため、エンコーダの設計において所定の安全規格の要件を満たす必要がある。例えば、このような安全規格として I E C 6 1 5 0 8 が規定されている。I E C 6 1 5 0 8 は、電気・電子・プログラマブル電子式安全関連の機能安全に関する国際規格である。I E C 6 1 5 0 8 では、システムの故障確率を、以下の表 1 に示すように S I L (Safety Integrity Level:安全度水準) と呼ばれる尺度で規定している。

10

【表 1】

安全側故障割合 (SFF: Safe Failure Fraction)	ハードウェアフォールトトレランス (HFT: Hardware Fault Tolerance)		
	0	1	2
< 60%	許容されず	SIL1	SIL2
60% - < 90%	SIL1	SIL2	SIL3
90% - < 99%	SIL2	SIL3	SIL4
≥ 99%	SIL3	SIL4	SIL4

20

【0006】

そして、I E C 6 1 5 0 8 は、表中の S I L ごとに満足すべき要求事項を定義しており、構築する安全制御システムが達成すべき取り組みが明確化されている。S I L は S I L 1 から S I L 4 の 4 段階に分かれており、S I L の数値が大きくなるほど、安全性能が高いことを意味する。そして、モータ制御装置に関する S I L の値を高めようとする必然的に採用するエンコーダの S I L も高める必要があり、エンコーダの高コスト化を招いたり、特別なインターフェースを採用する必要性等からエンコーダの大型化を招いたりし、モータ制御装置の設計面からの利便性を損なうこととなっていた。

【0007】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、エンコーダの安全性能に縛られることなくモータ制御装置の安全性能を高める技術を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明においては、上記課題を解決するために、モータに対応するエンコーダからのフィードバック信号により算出されるフィードバック値の他に、モータ制御装置自身が算出した、モータの作動状態と相関を有する状態計算値も、該モータ制御装置の安全性能を担保するための入力情報として採用する。このような構成により、エンコーダの安全性能に縛られることなくモータ制御装置の安全性能を高めることができる。

【0009】

詳細には、本発明は、モータの動作を検出するエンコーダを有する該モータを駆動するモータ制御装置であって、モータを駆動するための動作指令信号と、前記エンコーダからの、前記モータの動作に対応するフィードバック信号とに基づいて、該モータの動作が該動作指令信号に追従するように所定のフィードバック方式に従い該モータの動作に関する指令値を生成するモータ制御部と、前記モータ制御部からの前記指令値に応じて、前記モータを駆動するための駆動電流を該モータに供給する駆動部と、前記指令値を伴う、前記モータ制御部から前記駆動部への駆動信号の伝達を遮断する遮断部と、前記モータの駆動に関し故障が発生したと判断されたときに、前記遮断部を介して前記駆動信号の遮断処理を実行する安全制御部と、を備える。そして、前記安全制御部は、前記エンコーダからの前記フィードバック信号により算出される所定のフィードバック値と、前記動作指令信号に

40

50

基づいて算出され、該所定のフィードバック値と対比可能な前記モータの動作状態に関する状態計算値とに関する両者の比較結果に基づいて、前記遮断部による前記駆動信号の遮断処理を実行する。

【0010】

本発明に係るモータ制御装置は、動作指令信号に基づいてモータを駆動する装置であり、当該モータ制御装置としてはサーボドライバやインバータ等が例示できる。なお、動作指令信号は、モータ制御装置の外部に位置する他の制御装置（PLC等）で生成されモータ制御装置に提供されてもよく、又は、モータ制御装置の内部で生成されてもよい。具体的には、モータ制御部により、動作指令信号とエンコーダからのフィードバック信号とから、モータを所定のフィードバック方式に従って駆動するための指令値が生成される。この指令値を伴った駆動信号がモータ制御部から駆動部に伝えられることで、駆動部が当該指令値に応じた駆動電流をモータに供給し、モータが動作指令信号に追従するように駆動されることになる。なお、上記所定のフィードバック方式は、上記モータの動作指令信号への追従駆動が可能であれば、任意のフィードバック方式を採用できる。例えば、位置情報、速度情報等に関するフィードバック方式等が採用できる。

10

【0011】

ここで、モータ制御装置には、モータ制御部から駆動部への駆動信号の伝達を遮断する遮断部が備えられ、遮断部による駆動信号の遮断処理は安全制御部によって制御される。モータの駆動に関し故障が発生したと判断される場合には、安全制御部によって遮断処理が実行されることで、モータ制御装置の安全性能が実現されることになる。安全制御部により実行される遮断処理として、動作指令信号に基づいて算出される状態計算値と、エンコーダからのフィードバック値との比較結果に基づいて故障発生の有無が判断され、その判断結果に応じて実行される遮断処理が含まれる。当該状態計算値は、モータの動作状態に関するパラメータであってエンコーダからのフィードバック値と対比可能なパラメータの値である。この状態計算値は、モータの動作駆動に関する入力（動作指令信号）から算出されることから、モータの制御上のオブザーバモデルに従って算出された値と言える。状態計算値としては、例えば、エンコーダからのフィードバック値に対応する物理量（例えば、位置や速度）と同一の物理量に関するパラメータの値が挙げられる。また、当該フィードバック値は、エンコーダからのフィードバック信号により算出される値であり、例えば、モータの位置に関する情報値、速度に関する情報値等が挙げられる。

20

30

【0012】

以上より、遮断処理は、モータ制御装置の安全性能を担保する駆動信号の遮断ための入力情報として、エンコーダからのフィードバック値そのものだけではなく、いわばオブザーバモデルに従って算出される状態計算値も採用する形態である。したがって、上記モータ制御装置では、モータ制御装置の安全性能を担保するための入力情報の多様化が図られ、以て、エンコーダの安全性能に縛られることなくモータ制御装置の安全性能を高めることができる。すなわち、入力情報を多様化することでハードウェアフォールトトレランス（HFT）の数値を大きくすることができ、以て、モータ制御装置の安全性能に関するSILの値を、エンコーダの安全性能に関するSILの値よりも高めることが可能となる（上記表1を参照すると、SFFを維持したままHFTが大きくなるとSILの値が高くなる）ことが理解できる。）。

40

【0013】

なお、安全制御部は、更に他の遮断処理として、エンコーダからのフィードバック値を利用し、モータの速度や位置の制限に関する故障判断を行い、その判断結果に応じて駆動信号の遮断を行ってもよい。

【0014】

ここで、上記のモータ制御装置において、前記エンコーダは、前記モータの動作に対応して、互いに独立した2つのフィードバック信号を生成するように構成され、前記安全制御部は、前記遮断処理において、前記2つのフィードバック信号より算出される2つの前記所定のフィードバック値のそれぞれと、前記状態計算値とを比較し、且つ該2つの所定の

50

フィードバック値とを比較して、前記駆動信号の遮断処理を実行してもよい。このように構成されることで、エンコーダからの二重化されたフィードバック信号と状態計算値の相互の比較結果を利用することで多様化された入力情報に基づいた遮断処理が行われることになる。これにより、モータ制御装置の安全性能に関するSILの値を、エンコーダの安全性能に関するSILの値よりも高めることが可能となる。

【0015】

ここで、上述までのモータ制御装置における、安全制御部による遮断処理の具体例について開示する。第1には、前記安全制御部は、前記遮断処理において、前記所定のフィードバック値と前記状態計算値との差分に基づいて、該遮断処理の実行の可否を判断してもよい。また、第2には、前記安全制御部は、前記遮断処理において、前記所定のフィードバック値の変化率と前記状態計算値の変化率とを比較し、その比較結果に基づいて該遮断処理の実行の可否を判断してもよい。また、第3には、前記安全制御部は、前記遮断処理において、前記所定のフィードバック値の変化率と前記状態計算値の変化率との差分の変化率に基づいて、該遮断処理の実行の可否を判断してもよい。また、安全制御部による遮断処理として、これらの一部又は全部を組合わせた処理を採用してもよく、別法として、上述の処理以外の処理を採用しても構わない。

10

【0016】

また、上述までのモータ制御装置において、前記安全制御部が形成される安全用回路基板は、前記モータ制御部と前記駆動部と前記遮断部が形成される前記モータ制御装置の本体側に対して取り外し可能とされ、前記モータ制御装置から前記安全用回路基板が取り外され、該安全用回路基板の代わりに、前記安全制御部とは異なる、前記モータの駆動に関し故障が発生したと判断されたときに、前記遮断部を介して前記駆動信号の遮断処理を実行する別の安全制御部が形成された別の回路基板が該モータ制御装置に組み込み可能とされてもよい。安全制御部を形成する安全用回路基板がモータ制御装置の本体側に対して取り外し可能となるように構成されることで、必要に応じて、モータ制御装置に対して上述までの安全制御部に代えて、別の安全制御部を形成する別の回路基板をモータ制御装置に対して組み込み可能となる。これにより、需要に応じた安全性能を有するモータ制御装置を、好適にユーザに提供することが可能となる。

20

【発明の効果】

【0017】

エンコーダの安全性能に縛られることなくモータ制御装置の安全性能を高めることが可能となる。

30

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明に係るサーボドライバが組み込まれるサーボシステムの概略構成を示す第1の図である。

【図2】本発明に係るサーボドライバのサブシステムにおける安全性能を概略的に説明するための図である。

【図3】本発明に係るサーボドライバの第1の機能ブロック図である。

【図4】オブザーバ部による状態計算値の算出のためのモデルを示す図である。

40

【図5】本発明に係るサーボドライバで実行される遮断処理のフローチャートである。

【図6】本発明に係るサーボドライバの第2の機能ブロック図である。

【図7】本発明に係るインバータの機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

<実施例1>

図1は、本発明のモータ制御装置に相当するサーボドライバが組み込まれるサーボシステムの概略構成図である。サーボシステムは、ネットワーク1と、モータ2と、エンコーダ3と、サーボドライバ4と、標準PLC(Programmable Logic Controller)5と、安全PLC6とを備える。モータ2とエンコーダ3によりサーボモータが形成される。当該サ

50

ーボシステムは、モータ2を駆動するためのシステムであり、そのモータ2は、図示しない各種の機械装置（例えば、産業用ロボットのアームや搬送装置）のアクチュエータとして当該装置内に組み込まれている。例えば、モータ2は、ACモータである。そして、エンコーダ3は、モータ2の動作を検出するためにモータ2に取り付けられる。エンコーダ3は、検出されたモータ2の動作を示すフィードバック信号を生成するとともに、そのフィードバック信号をサーボドライバ4に送信する。フィードバック信号は、たとえばモータ2の回転軸の回転位置（角度）についての位置情報、その回転軸の回転速度の情報等を含む。エンコーダ3には一般的なインクリメンタル型エンコーダ、アブソリュート型エンコーダを適用することができる。

【0020】

サーボドライバ4は、ネットワーク1を介して標準PLC5からモータ2の動作（モーション）に関する動作指令信号を受けるとともに、エンコーダ3から出力されたフィードバック信号を受ける。サーボドライバ4は、標準PLC5からの動作指令信号およびエンコーダ3からのフィードバック信号に基づいて、モータ2の駆動に関するサーボ制御を実行する。また、サーボドライバ4はネットワーク1を介して安全PLC6と接続されている。これにより、サーボドライバ4は、安全PLC6から受ける監視指令信号に基づいて、モータ2やサーボドライバ4に関する故障発生の監視を行い、その結果を安全PLC6に返す。

【0021】

また、サーボドライバ4は、標準PLC5からの動作指令信号とエンコーダ3からのフィードバック信号とに基づいて、モータ2の動作に関する指令値を算出する。さらにサーボドライバ4は、モータ2の動作がその指令値に追従するように、モータ2に駆動電流を供給する。なお、この供給電流は、交流電源11からサーボドライバ4に対して送られる交流電力が利用される。本実施例では、サーボドライバ4は三相交流を受けるタイプのものであるが、単相交流を受けるタイプのものでもよい。

【0022】

ここで、図2は、サーボドライバ4を1つのシステムとしたときに、それを構成する3つのサブシステムである入力構成、演算構成、出力構成における安全機能をブロック図化したものである。入力構成は、サーボドライバ4への入力に関するサブシステムであり、その安全性能はエンコーダ3の安全性能に大きく依拠する。具体的には、エンコーダ3は、後述するようにその内部で同時にスキミングを行なうことにより独立したパルスの出力が可能となるように二重化された回路を有しており、その二重化されたフィードバック信号が、独立した配線を経てサーボドライバ4へ入力される。したがって、入力構成は、エンコーダ3により安全機能INS01、INS02を有し、その場合のハードウェアフォールトトレランス(HFT)は1となる。また、入力構成のHFTを1とする別法として、入力構成に関する通信を二重化してもよい。なお、一般的に、エンコーダの安全側故障割合(SFF)は、エンコーダの容積(大きさ)や価格の観点から高くすることは容易ではなく、そのためエンコーダ3のSFFは比較的lowく60%以上90%未満の範囲に属するものとする。仮に、入力構成において、その安全性能がエンコーダ3のみに依拠する場合には、入力構成の安全度水準(SIL)は2となる。

【0023】

また、演算構成は、サーボドライバ4内での入力から出力を算出するための演算に関するサブシステムであり、例えば、マイクロプロセッサ(MPU)を用いた演算回路が独立して二重化された構成とされることで、安全機能CTS01、CTS02を有し、その場合のHFTは1となる。また、演算構成のSFFは一般に比較的高くすることが容易であり、そのため演算構成のSFFは比較的高く90%以上99%未満の範囲に属するものとする。したがって、演算構成のSILは3となる。更に、出力構成は、サーボドライバ4からの出力に関するサブシステムであり、後述するようにモータ制御部42から駆動部44への駆動信号の伝達を遮断する遮断部43の安全性能に依拠する。具体的には、出力構成は、遮断部43を形成する電気回路が独立して二重化された構成とされることで、安全機

10

20

30

40

50

能 $O t S 0 1$ 、 $O t S 0 2$ を有し、その場合の $H F T$ は 1 となる。また、出力構成の $S F F$ は一般に比較的高くすることが容易であり、そのため演算構成の $S F F$ は比較的高く 90% 以上 99% 未満の範囲に属するものとする。したがって、出力構成の $S I L$ も 3 となる。

【0024】

このようにサーボドライバ 4 において、仮にその入力構成の安全性能がエンコーダ 3 のみに依拠する場合、その安全度水準が低いこと ($S I L$ が 2 であること) によりシステム全体としての安全性能もその影響を受けて低くなり、具体的にはサーボドライバ 4 の $S I L$ も 2 となる。そこで、サーボドライバ 4 では、エンコーダ 3 の構成は同じままで、エンコーダ 3 からのフィードバック信号に加えて新たな信号を追加採用することで、入力構成に安全性能 $I n S 0 3$ (図 2 参照) が追加され、入力構成の $H F T$ を 2 とする。仮に、この安全性能 $I n S 0 3$ が追加されても入力構成の $S F F$ が同じく 60% 以上 90% 未満の範囲に属していれば、図 2 の白抜き矢印で示すように、入力構成の $S I L$ は 3 となる。そして、その結果、演算構成及び出力構成の $S I L$ が 3 であることを踏まえると、サーボドライバ 4 の $S I L$ を 3 とすることが可能となり、サーボドライバ 4 の安全性能を高めることが可能となる。すなわち、エンコーダ 3 自体の安全性能に縛られることなくサーボドライバ 4 の安全性能を高めることができ、換言すれば、エンコーダ 3 自体の安全性能はそのままに、安価にサーボドライバ 4 の安全性能を高めることができる。

10

【0025】

以下、サーボドライバ 4 のより具体的な構成について説明する。図 3 は、サーボドライバ 4 の機能ブロック図である。図 3 に示すように、サーボドライバ 4 は、フィードバック処理部 4 1、モータ制御部 4 2、遮断部 4 3、駆動部 4 4、安全制御部 5 0 を有している。なお、以下においてはサーボドライバの入力構成に着目して説明を進めるが、その演算構成及び出力構成については、図 2 に示す通りそれぞれの $H F T$ は 1 であるものとする。まず、フィードバック処理部 4 1 は、エンコーダ 3 からのフィードバック信号に基づいてフィードバック値を生成する。たとえばエンコーダ 3 からパルスが出力される場合、フィードバック処理部 4 1 は、そのパルスをカウントすることによりモータ 2 の回転軸の回転位置や回転速度を算出するとともに、その位置や速度を示す値を含むフィードバック値を生成する。

20

【0026】

なお、エンコーダ 3 は、その内部で同時にスキミングを行なうことにより独立したパルスの出力が可能となるように二重化された回路を有しており、二重化されたフィードバック信号を出力する。そのため、フィードバック処理部 4 1 は、エンコーダ 3 から二重化されたフィードバック信号を受けるとともに、それらのフィードバック信号に基づいて二重化されたフィードバック値を生成する。そして、フィードバック処理部 4 1 は、その生成された二重化されたフィードバック値をモータ制御部 4 2 に送るとともに、安全制御部 5 0 にも送る。

30

【0027】

次に、モータ制御部 4 2 は、標準 $P L C 5$ から動作指令信号を受けるとともに、フィードバック処理部 4 1 からフィードバック値を受ける。モータ制御部 4 2 は、動作指令信号およびフィードバック値に基づいて、位置フィードバック制御、速度フィードバック制御を実行するための指令値を生成する。なお、当該フィードバック制御で採用されるフィードバック方式は、モータ 2 が組み込まれる機械装置 (搬送装置等) の所定の目的 (例えば、荷物の搬送) に最適なサーボループが形成される方式であり、適宜設計することができる。そして、モータ制御部 4 2 で生成されたこれらの指令値は、駆動信号として遮断部 4 3 に送られる。

40

【0028】

次に、遮断部 4 3 は、後述する安全制御部 5 0 から遮断信号を受けた場合において、後述する駆動部 4 4 にモータ制御部 4 2 からの駆動信号を電氣的に通過させないことで、駆動部 4 4 を停止させる。これによりモータ制御部 4 2 が駆動信号を送出したとしても、モータ

50

タ 2 によるトルクの出力が停止することになる。一方、遮断部 4 3 に遮断信号が入力されない場合には、遮断部 4 3 はモータ制御部 4 2 から出力された指令値を伴う駆動信号をそのまま駆動部 4 4 に通過させる。

【 0 0 2 9 】

ここで駆動部 4 4 は、遮断部 4 3 を介して、モータ制御部 4 2 からの駆動信号を受ける。駆動部 4 4 は、例えば、I G B T (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等の半導体スイッチング素子で構成される回路を有しており、モータ制御部 4 2 からの駆動信号に基づいて、スイッチング素子を P W M 方式に従ってオン・オフさせるための信号を生成するとともに、その信号に従ってスイッチング素子をオン・オフさせる。これによりモータ 2 に交流電力が供給されるとともに、駆動信号に従ってモータ 2 が駆動される。一方、遮断部 4 3 が作動し駆動信号の駆動部 4 4 への伝達が遮断されると、駆動部 4 4 からの出力がオフに固定される。これによりモータ 2 への電力供給が停止されるので、モータ 2 からのトルクの出力が停止することになる。

10

【 0 0 3 0 】

このようにフィードバック処理部 4 1、モータ制御部 4 2、遮断部 4 3、駆動部 4 4 は、いわばモータ 2 の駆動制御に直接関連する機能部である。一方で、安全制御部 5 0 は、そのモータ 2 の動作に関するサーボドライバ 4 内の故障の発生を判断し、故障が発生していると判断される場合には、モータ 2 の動作を停止させ当該動作に対する安全を確保する機能部である。具体的には、安全制御部 5 0 は、更に詳しくは判断部 5 1 と遮断指示部 5 2 とオブザーバ部 5 3 を有している。安全制御部 5 0 による故障判断を含む安全確保に関する制御は、安全 P L C 6 からの監視指令に基づいて実行される。

20

【 0 0 3 1 】

判断部 5 1 は、モータ 2 の動作に関連する故障が発生していないかを判断する機能部であり、判断部 5 1 は、フィードバック処理部 4 1 から二重化されたフィードバック値を受け取るとともに、オブザーバ部 5 3 から状態計算値 P 1 を受け取り、これらのパラメータの値に基づいて故障発生の判断を行う。

【 0 0 3 2 】

ここで、図 4 に示す算出モデルに基づいて、オブザーバ部 5 3 による状態計算値 P 1 の算出態様について説明する。オブザーバ部 5 3 は、標準 P L C 5 から動作指令信号を受け取る。オブザーバ部 5 3 は、動作指令信号に基づくパラメータの値に基づいて状態計算値 P 1 を算出する。具体的には、オブザーバ部 5 3 は、動作指令信号に含まれるトルク指令に基づく負荷トルクを、モータ 2 及び負荷の合計イナーシャ J で除算することで、モータ 2 の加速度が算出される。その後、算出された加速度が積分されることで、状態計算値 P 1 の 1 つであるモータ速度が算出される。更に、そのモータ速度が積分され、位置オフセット量 (算出初期のモータ位置に関する情報) が加算されることで、状態計算値 P 1 の 1 つであるモータ位置が算出される。

30

【 0 0 3 3 】

このように状態計算値 P 1 は、フィードバック値と対比可能なパラメータの値である。例えば、フィードバック処理部 4 1 から判断部 5 1 に送られるフィードバック値が、モータ 2 の速度に関する値である場合には、状態計算値 P 1 は、オブザーバ部 5 3 によって算出されたモータ速度に関するパラメータの値となる。また、当該フィードバック値がモータ 2 の位置に関する値である場合には、同じようにオブザーバ部 5 3 によって算出されたモータ位置に関するパラメータの値となる。なお、当該フィードバック値がモータ 2 の速度及び位置に関する値である場合には、状態計算値 P 1 は、モータ速度に関するパラメータの値とモータ位置に関するパラメータの値の両者である。

40

【 0 0 3 4 】

そして、判断部 5 1 は、状態計算値 P 1 と 2 つのフィードバック値とを比較する。詳細には、判断部 5 1 は、エンコーダ 3 からの 2 つのフィードバック値に加えて、状態計算値 P 1 を新たなフィードバック値として追加的に受け取る。したがって、判断部 5 1 は、フィードバック値として同質の信号を 3 つ受け取ることになる。そして、これらの全ての信号

50

の妥当性を確認するために、3つの信号のうち2つの信号同士の差分が許容範囲内であるか否かについて、判断部51は、2つの信号の全ての組合せにわたって判断する。そして、それぞれの組合せにおける差分が許容範囲を逸脱している場合には、エンコーダ3からサーボドライバ4への入力であるフィードバック信号と、推定されるサーボモータの動作状態とが乖離していることを意味し、故に何らかの故障が生じていると合理的に判断し得る。すなわち、判断部51は、状態計算値P1と2つのフィードバック値とを相互に比較し、各値に対応する信号の妥当性を判断し得る。また、合理的な故障判断の別法としては、状態計算値P1の変化率とフィードバック値の変化率とを比較し、両者の差分がその許容範囲内であるか否かを判断してもよく、また、両変化率の差分の変化率がその許容範囲内であるか否かを判断してもよく、これらの故障判断の態様の任意の組合せを採用してもよい。

10

【0035】

このように判断部51は、2つのフィードバック値に状態計算値P1を加えた3つの信号を利用して、各信号の妥当性を判断する。そして、判断部51によって少なくともいずれか1つの信号が妥当ではないと判断された場合には、遮断指示部52により遮断信号が生成され、生成された遮断信号は遮断部43に対して送られる。当該遮断信号を受け取った遮断部43は、上記の通りモータ制御部42からの駆動信号の駆動部44への伝達を遮断することで、モータ2によるトルク出力を停止させる。なお、このような安全制御部50による制御状態(故障の有無)は、安全PLC6からの監視指令に対する回答の形で安全PLC6に通知される。

20

【0036】

ここで、上記判断部51、遮断指示部52、オブザーバ部53を有する安全制御部50による遮断処理について、図5に基づいて説明する。図5に示す遮断処理は、安全制御部50を形成する演算装置(MPU等)により、例えば、指令値が生成される制御周期(例えば、2msec)で繰り返して実行される。S101では、判断部51が、オブザーバ部53によって算出された状態計算値P1を取得する。その後、S102で、判断部51により、状態計算値P1と2つのフィードバック値をそれぞれ比較し、それぞれの差分が許容範囲外であるか否かが判断される。すなわち、状態計算値P1と一方のフィードバック値との差分、状態計算値P1と他方のフィードバック値との差分、2つのフィードバック値同士の差分のそれぞれが、許容範囲外であるか否かが判断される。そして、これらの差分のうち少なくとも1つの差分が許容範囲外となると、S102では肯定判定されることになる。

30

【0037】

そして、S102で肯定判定されS103へ進んだ場合、S103では、遮断指示部52により遮断信号が生成され、生成された遮断信号は遮断部43に対して送られる。これにより、モータ2によるトルク出力を停止させる。また、S102で否定判定された場合には、S104へ進む。そして、S104では、状態計算値P1と2つのフィードバック値をそれぞれ比較し、それぞれの差分が警告範囲内であるか否かが判断される。この警告範囲は、当該許容範囲内であり、且つ、その許容範囲の境界の近傍となる範囲である。したがって、当該差分が警告範囲内に属している状態とは、当該差分は許容範囲内に属してはいるものの、その許容範囲から逸脱しかかっている状態といえることができる。すなわち、当該差分が警告範囲内にある場合には、エンコーダ3からの入力信号であるフィードバック信号の故障の前兆と合理的に捉えることができる。そこで、S104で肯定判定される場合には、S105へ進み、安全制御部50から安全PLC6に対して警告信号が出力される。また、S104で否定判定される場合には、遮断指示部52による遮断信号の生成は行われず、遮断処理を終了する。

40

【0038】

このようにサーボドライバ4では、判断部51によりエンコーダ3からの2つのフィードバック値に加えて状態計算値P1が相互に比較されて、各信号の妥当性の判断が行われ、妥当ではないと判断された場合には、遮断部43の働きによりモータ2によるトルク出力

50

が停止させられる。すなわち、サーボドライバ４において、入力構成における入力信号の妥当性判断の対象となる実質的な信号の数が増加することで、サーボドライバ４の入力構成に関するHFTを１から２に上げることができる。そして、当該故障判断が行われることでも入力構成のSFFが、60%以上90%未満の範囲に属していれば、HFTの上昇に伴って入力構成のSILも２から３へと上昇することになる（図２を参照）。

【0039】

また、判断部５１は、上述のエンコーダ３からの入力信号であるフィードバック信号の故障判断以外の故障判断を行うこともできる。例えば、フィードバック処理部４１から受け取る２つのフィードバック値のそれぞれと、予め安全制御部５０内に設定、記憶されているその上限値とを比較する。フィードバック値が当該上限値を超えている場合には、実際のサーボモータの動作状態が、本来あるべきサーボモータの動作状態と乖離していることを意味し、故に何らかの故障が生じていると合理的に判断し得る。なお、当該上限値は、公知の故障判断である速度制限（SLS）や位置制限（SLP）等に対応する値である。

10

【0040】

<実施例２>

図６に基づいて、本発明のサーボドライバ４の機能構成について説明する。図６に示す機能部のうち図３に示す機能部と実質的に同一のものについては、同一の参照番号を付してその詳細な説明を省略する。本実施例では、モータ２の駆動制御に直接関連する機能部であるフィードバック処理部４１、モータ制御部４２、遮断部４３、駆動部４４は、サーボドライバ４の本体側に配置されている。その配置に際して駆動部４４は、他の機能部よりも高電圧環境下に置かれるため、駆動部４４と他の機能部との間には公知の適切な絶縁処理が施されている。一方で、安全制御部５０は、安全回路基板４Ａ上に形成されている。

20

【0041】

そして、この回路基板４Ａは、サーボドライバ４の本体側に設けられたスロット４ａを介して当該本体に対して取り外し可能となるように構成されている。そのため、回路基板４Ａがスロット４ａを通してサーボドライバ４の本体内に組み込まれたときに、安全PLC６と安全制御部５０との間の信号のやり取りが可能となるように、また、判断部５１がフィードバック処理部４１からのフィードバック値を受け取れるように、また、オブザーバ部５３が標準PLC５からの動作指令信号を受け取れるように、また、遮断部４３が遮断指示部５２から遮断信号を受け取れるように、回路基板４Ａとサーボドライバ４の本体側との電氣的接点が設計されている。

30

【0042】

更に、サーボドライバ４においては、回路基板４Ａを取り外した状態で、安全制御部５０とは異なる、モータ２の駆動に関し故障が発生したと判断されたときに、遮断部４３を介して駆動信号の遮断処理を実行する別の安全制御部が形成された別の回路基板がサーボドライバ４に組み込み可能とされてもよい。例えば、上述のエンコーダ３からの入力信号であるフィードバック信号の故障判断は行わずに、速度制限（SLS）や位置制限（SLP）等に関する故障判断のみが実行可能な安全制御部が形成された別の回路基板を、サーボドライバ４の本体に組み込んでよい。このように構成されることで、サーボドライバのSILを３とする必要のないユーザに対しても、モータ２の駆動制御に直接関連する共通の機能部を利用することで必要な安全性能を有するサーボドライバを容易に提供することができる。

40

【0043】

<変形例１>

上述までの実施例では、サブシステムとしての入力構成のSILが２、演算構成及び出力構成のSILが３の形態を例示したが、それ以外の形態でも当然に本発明を適用可能である。例えば、フィードバック信号が二重化されていない、比較的安全性能が低いエンコーダを利用する入力構成のSILが１、演算構成及び出力構成のSILが２の形態において、入力構成において本発明による、エンコーダ３からの入力信号であるフィードバック信号の故障判断及び遮断に関する処理を適用することで、その形態によるサーボドライバの

50

S I L を、エンコーダの安全性能に縛られずに 2 とすることが可能となる。

【 0 0 4 4 】

< 変形例 2 >

上述までの例では、本発明のモータ制御装置としてのサーボドライバ 4 が例示されているが、その態様に代えて、当該モータ制御装置として、図 7 に示すインバータ 4 0 を採用することもできる。なお、インバータ 4 0 により駆動制御されるモータ 2 としては、誘導モータ等が例示できる。図 7 は、インバータ 4 0 の機能ブロックをイメージ化した図である。図 7 に示すように、インバータ 4 0 は、複数の機能部を有しており、それらの機能部のうち実質的に図 3 に示すサーボドライバ 4 が有する機能部と同等のものは、同一の参照番号を付してその詳細な説明は省略する。具体的には、インバータ 4 0 は、フィードバック

10

【 0 0 4 5 】

動作指示部 6 0 は、図示しない入力装置を介して予めユーザにより与えられた要求動作に基づき、モータ 2 を駆動するための動作指令信号を生成する。したがって、インバータ 4 0 は、外部装置（上記の標準 P L C 5 等）からは動作指令信号は提供されず、エンコーダ 3 からのフィードバック信号と、動作指示部 6 0 からの動作指令信号とに基づいて、所定のフィードバック方式に従いモータ 2 を駆動制御する。別法として、外部装置からインバータ 4 0 に対して動作指令信号が提供されてもよい。このように構成されるインバータ 4 0 においても、上述までのサーボドライバ 4 と同様に、安全制御部 5 0 の有する判断部

20

【 符号の説明 】

【 0 0 4 6 】

- 1 ネットワーク
- 2 モータ
- 3 エンコーダ
- 4 サーボドライバ
- 4 A 安全用回路基板
- 4 a スロット
- 5 標準 P L C
- 6 安全 P L C
- 4 0 インバータ
- 4 1 フィードバック処理部
- 4 2 モータ制御部
- 4 3 遮断部
- 4 4 駆動部
- 5 0 安全制御部
- 5 1 判断部
- 5 2 遮断指示部

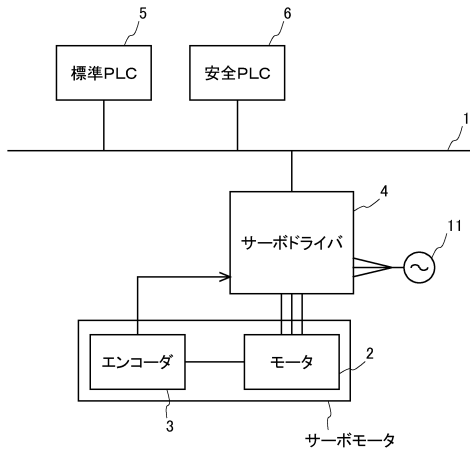
30

40

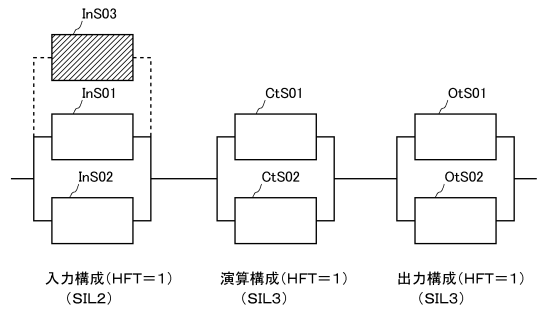
50

【 図面 】

【 図 1 】



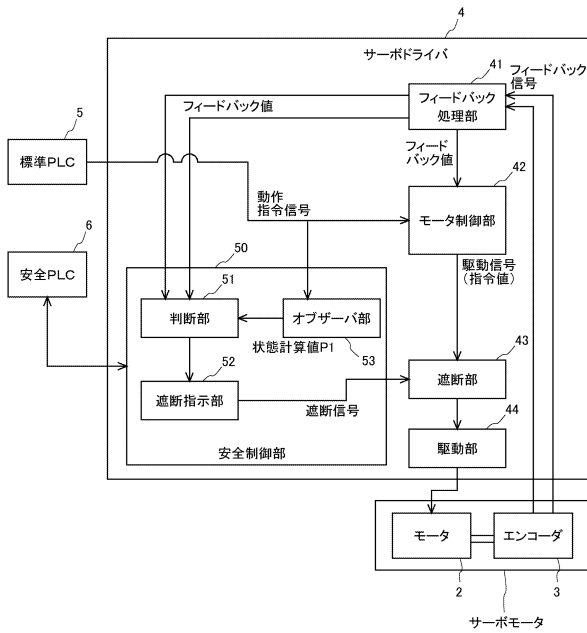
【 図 2 】



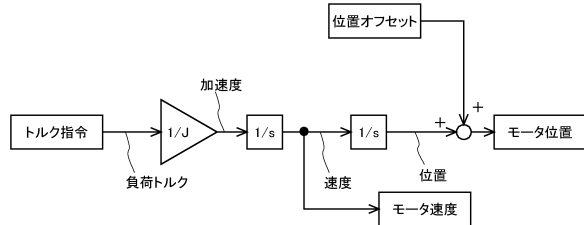
安全側故障割合	ハードウェアフォールトトレランス		
	0	1	2
< 60%	許容されず	SIL1	SIL2
60% - < 90%	SIL1	SIL2	SIL3
90% - < 99%	SIL2	SIL3	SIL4
≥ 99%	SIL3	SIL4	SIL4

10

【 図 3 】



【 図 4 】



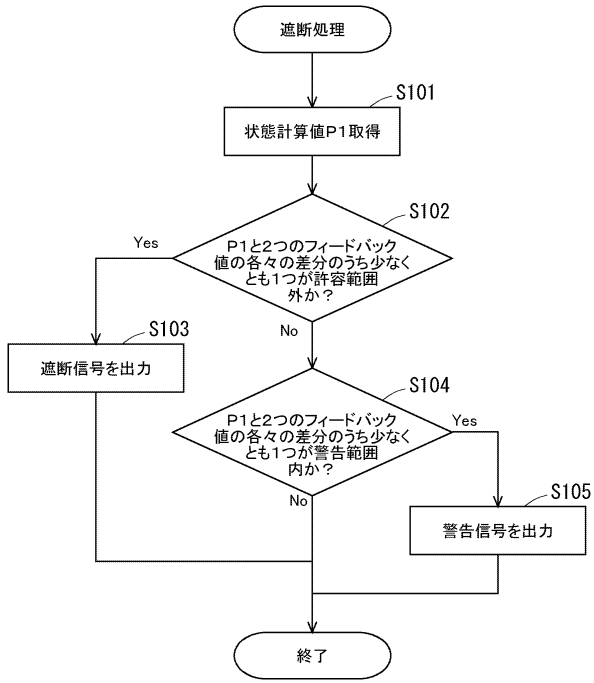
20

30

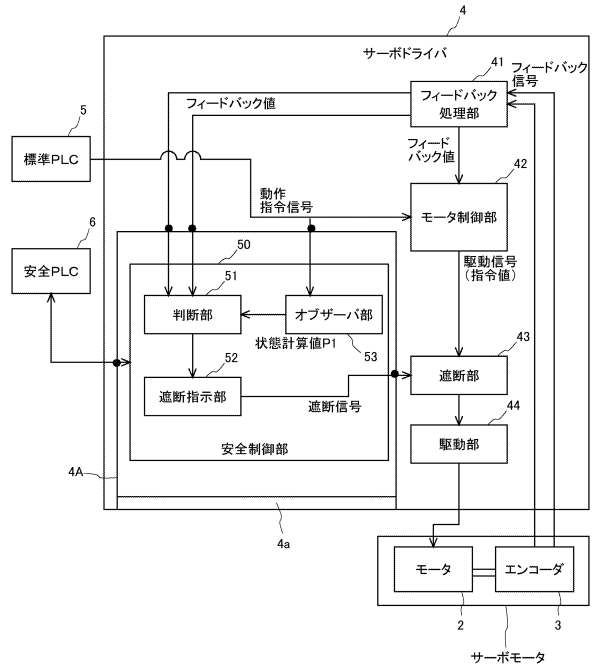
40

50

【図5】



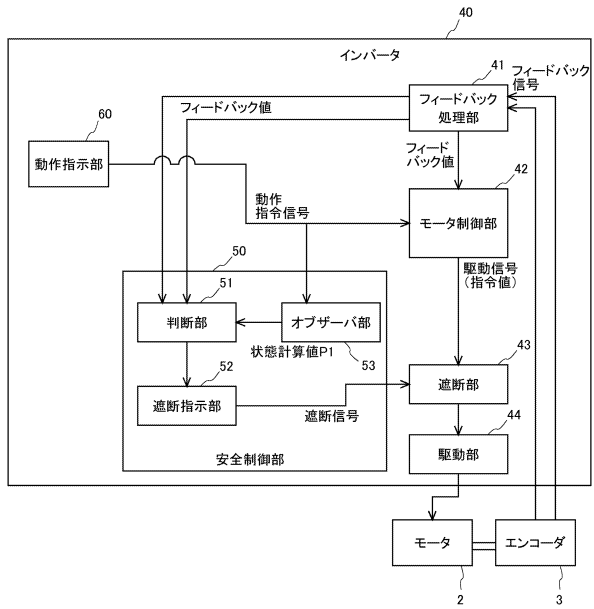
【図6】



10

20

【図7】



30

40

50

フロントページの続き

- 弁理士 今堀 克彦
(74)代理人 100138357
弁理士 矢澤 広伸
(72)発明者 赤木 哲也
京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内
(72)発明者 橋本 実
京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内
(72)発明者 神保 隆一
京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内
審査官 佐藤 彰洋
(56)参考文献 特開2016-208656(JP,A)
特開2011-008642(JP,A)
特開2011-192015(JP,A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02P 4/00
H02P 25/08 - 25/098
H02P 29/00 - 31/00
G05B 9/00 - 9/05