

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6040963号
(P6040963)

(45) 発行日 平成28年12月7日(2016.12.7)

(24) 登録日 平成28年11月18日(2016.11.18)

(51) Int.Cl.		F I
H02P 27/06	(2006.01)	H02P 27/06
B62D 5/04	(2006.01)	B62D 5/04
B62D 6/00	(2006.01)	B62D 6/00
B62D 119/00	(2006.01)	B62D 119:00

請求項の数 3 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2014-139698 (P2014-139698)	(73) 特許権者	000004260
(22) 出願日	平成26年7月7日(2014.7.7)		株式会社デンソー
(65) 公開番号	特開2016-19330 (P2016-19330A)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(43) 公開日	平成28年2月1日(2016.2.1)	(74) 代理人	100093779
審査請求日	平成27年10月28日(2015.10.28)		弁理士 服部 雅紀
		(72) 発明者	中村 功一
			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	鈴木 崇志
			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	林 喜隆
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転機の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数組の巻線組(801、802)を有する回転機(80)の駆動を制御する制御装置(102)であって、

ブリッジ接続された上下アームのスイッチング素子(611~616、621~626)によって構成され、直流電力を変換して対応する前記巻線組に供給する複数系統の電力変換器(601、602)と、

前記電力変換器又は前記巻線組の故障を検出する故障検出手段(751、752)と、

前記回転機の前記巻線組へ通電する電流についての電流指令値、及び、当該電流指令値に対する最大電流制限値を演算し、前記電力変換器への出力を系統毎に制御する制御部(652)と、

を備え、

前記制御部は、当該制御装置を構成する電子素子の温度を推定する温度推定手段(40)を有し、

いずれかの系統の前記電力変換器又は前記巻線組において、いずれかの配線間が非導通を意図する制御に反して導通状態となっている一部系統ショート故障であることが前記故障検出手段によって検出されたとき、

前記制御部は、

故障した系統の前記電力変換器への出力を停止し、且つ、正常系統の前記電力変換器への出力について、

前記回転機の回転角速度がゼロのとき、一系統あたりの前記最大電流制限値を、全ての系統の前記電力変換器及び前記巻線組が正常である通常駆動時における一系統あたりの前記最大電流制限値以下に設定し、

前記回転機の回転角速度に応じて、前記回転機の回転角速度が大きいほど前記最大電流制限値を増加させるように前記最大電流制限値の第1仮値を算出し、

さらに、前記最大電流制限値の第1仮値と、前記温度推定手段によって推定された素子温度に応じて算出される前記最大電流制限値の第2仮値との小さい方の値を前記最大電流制限値の確定値として出力し、

いずれかの系統の前記電力変換器又は前記巻線組において、いずれかの配線間が導通を意図する制御に反して非導通状態となっている一部系統オープン故障であることが前記故障検出手段によって検出されたとき、

前記制御部は、

故障した系統の前記電力変換器への出力を停止し、且つ、正常系統の前記電力変換器への出力について、一系統あたりの前記最大電流制限値を、前記通常駆動時における一系統あたりの前記最大電流制限値以下に設定することを特徴とする回転機の制御装置。

【請求項2】

車両の電動パワーステアリング装置(1)に適用され、操舵トルクをアシストするモータの駆動を制御する請求項1に記載の回転機の制御装置(103)であって、

前記故障検出手段によって前記一部系統ショート故障であることが検出されたとき、

前記制御部(653)は、正常系統の前記電力変換器への出力について、

前記回転機の回転角速度に代えて、前記操舵トルクの所定時間内の変化量に応じて、前記操舵トルクの所定時間内の変化量が大きいほど前記最大電流制限値を増加させるように前記最大電流制限値を算出することを特徴とする回転機の制御装置。

【請求項3】

車両の電動パワーステアリング装置(1)に適用され、操舵トルクをアシストするモータの駆動を制御し、さらに、前記電動パワーステアリング装置と車両に搭載された他の制御装置との協働により車両に所望の動作を実現させる協調制御の指令を上位の車両制御装置(55)から受ける請求項1または2に記載の回転機の制御装置であって、

前記故障検出手段によって、いずれかの系統の前記電力変換器又は前記巻線組の故障が検出されたとき、

前記制御部は、前記車両制御装置から指令される協調制御信号の要求を実行不能な場合、前記協調制御信号の受信を拒否することを特徴とする回転機の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転機の駆動を制御する制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、複数系統の電力変換器を有し、対応する複数組の巻線組への通電を制御する回転機の制御装置において、いずれかの系統が故障したとき、正常系統の電力変換器及び巻線組のみで回転機を駆動する制御装置が知られている。

例えば特許文献1に開示された多相回転機の制御装置は、二系統のいずれか一方が電力変換器又は巻線組のショート故障が発生したとき、故障系統の電力変換器への出力を停止し、且つ、正常系統の電力変換器への出力について、回転機の回転数が高いほど出力制限値を小さくする。これは、回転機の回転に伴って故障系統に発生する逆起電圧により、故障系統の電力変換器及び巻線が過剰に発熱することを防止するための処理である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2013-048524号公報

10

20

30

40

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

一方の系統でショート故障が発生したとき、回転機の回転に伴って故障系統に発生する逆起電圧により、回転機には駆動に逆らうブレーキトルクが発生する。そのため、正常系統のみでの駆動時において、二系統とも正常である通常駆動時と同等の要求トルクを回転機に出力させるためには、ブレーキトルクによるトルク低下を補うように、正常系統の電力変換器に通常駆動時よりも大きな電流を流す必要がある。

特許文献1の技術では、故障系統における発熱の防止に注目している反面、正常系統のみでの駆動において、ブレーキトルクを補うトルクを回転機に出力させることについては何ら言及されていない。

10

【0005】

本発明は上述の課題に鑑みて成されたものであり、その目的は、複数組の巻線組を有する回転機の駆動を制御する、複数系統の電力変換器を備えた制御装置において、いずれかの系統の電力変換器又は巻線組でショート故障が発生したとき、正常系統のみでの駆動で、ブレーキトルクを補うトルクを回転機に出力させる制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、複数組の巻線組を有する回転機の駆動を制御する制御装置であって、複数系統の電力変換器と、故障検出手段と、制御部とを備える。

20

複数系統の電力変換器は、ブリッジ接続された上下アームのスイッチング素子によって構成され、直流電力を変換して対応する巻線組に電力を供給する。例えば、回転機が多相交流回転機の場合にはインバータが電力変換器に相当し、回転機が直流回転機の場合にはHブリッジ回路が電力変換器に相当する。

故障検出手段は、電力変換器又は巻線組の故障を検出する。

制御部は、回転機の巻線組へ通電する電流についての電流指令値、及び、当該電流指令値に対する最大電流制限値を演算し、電力変換器への出力を系統毎に制御する。また、制御部は、当該制御装置を構成する電子素子の温度を推定する温度推定手段を有する。

【0007】

ここで、いずれかの系統の電力変換器又は巻線組において、いずれかの配線間が非導通を意図する制御に反して導通状態となっている故障を「一部系統ショート故障」という。例えば、電力変換器のスイッチング素子にオフ信号が入力されているにもかかわらず両電極（ドレイン - ソース、又は、コレクタ - エミッタ）間がオン状態であるときや、巻線組の巻線が天絡又は地絡しているときに「ショート故障」に該当する。

30

また、いずれかの系統の電力変換器又は巻線組において、いずれかの配線間が導通を意図する制御に反して非導通状態となっている故障を「一部系統オープン故障」という。

【0008】

一部系統ショート故障であることが故障検出手段によって検出されたとき、制御部は、故障した系統の電力変換器への出力を停止する。そして、正常系統の電力変換器への出力について、回転機の回転角速度がゼロのとき、一系統あたりの最大電流制限値を、全ての系統の電力変換器及び巻線組が正常である「通常駆動時」における一系統あたりの最大電流制限値以下に設定する。また、回転機の回転角速度に応じて、回転機の回転角速度が大きいほど最大電流制限値を増加させるように最大電流制限値の第1仮値を算出する。さらに、最大電流制限値の第1仮値と、温度推定手段によって推定された素子温度に応じて算出される最大電流制限値の第2仮値との小さい方の値を最大電流制限値の確定値として出力する。

40

一部系統オープン故障であることが故障検出手段によって検出されたとき、制御部は、故障した系統の電力変換器への出力を停止する。そして、正常系統の電力変換器への出力について、一系統あたりの最大電流制限値を、「通常駆動時」における一系統あたりの最大電流制限値以下に設定する。

50

【0009】

本発明では、正常系統の電力変換器への出力について、回転機の回転角速度が大きいほど最大電流制限値を増加させることで、故障系統に発生する逆起電圧によって生じるブレーキトルクを補うトルクを回転機に出力させることができる。

ここで、「ブレーキトルクを補う」とは、低下分を全て補って要求トルクどおりのトルクを出力する場合に限らず、トルク低下を可及的に抑制し、要求トルクに近いトルクを出力可能とする場合を含む。

なお、回転機の「回転角速度」は、比例定数を乗じた「回転数」に置き換えてもよい。また、本発明で特定する回転角速度と最大電流制限値との特性は、あくまで当該制御装置の実用領域における関係について特定するものである。したがって、実用領域を超えた超高回転領域まで最大電流制限値を理論的に増加させ続けることを意味しない。

10

【0010】

また多相回転機では、回転機の停止中、又は停止に近い低回転時には、特定相のスイッチング素子のオン時間が長くなり、過電流によって集中的に発熱するおそれがあるのに対し、回転機の回転中には、各相のスイッチング素子交互にオンオフし、各相に電流が平均的に流れる。つまり、回転中は停止中に比べ特定相に発熱が集中しないため、発熱防止に有利である。そこで、回転機の回転中にのみ最大電流制限値を増加させることで、正常系統での発熱を効果的に防止しつつ、ブレーキトルクを補うトルクを回転機に出力させることができる。

【0011】

一方、回転機の停止中、すなわち回転機の回転角速度がゼロのときには、一系統あたりの最大電流制限値を、「通常駆動時」における一系統あたりの最大電流制限値以下に設定する。ここで「回転機の回転角速度がゼロ」とは、厳密な0 [deg/s]に限らず、実質的に0 [deg/s]と同等の範囲を含む。これにより、回転機の停止中に、正常系統の特定相での過剰な発熱による素子の破損等を防止することができる。

20

【0012】

さらに、例えば、車両の電動パワーステアリング装置に適用され、操舵トルクをアシストするモータの駆動を制御する制御装置では、制御部は、回転機の回転角速度に代えて、「操舵トルクの所定時間内の変化量」が大きいほど最大電流制限値を増加させるようにしてもよい。

30

ここで、「操舵トルクの所定時間内の変化量」は、操舵トルクの絶対値の微分値に相当する。つまり、ハンドルの回転方向によって操舵トルクの正負を定義した場合、いずれの方向に急操舵した場合でも最大電流制限値を増加させることを意味する。

【0013】

加えて、車両の電動パワーステアリング装置に適用される回転機の制御装置において、正常時に上位の車両制御装置から、ギア比可変制御、自動運転、自動駐車、レーンキープアシスト、緊急回避等の「協調制御信号」を指令される制御装置を想定する。このような協調制御は、電動パワーステアリング装置が正常に動作しない状況では要求を実行することができない場合がある。

そこで、本発明の回転機の制御装置は、故障検出手段が電力変換器または巻線組の故障を検出したとき、上位の車両制御装置から指令される協調制御信号の要求を実行不能な場合、協調制御信号の受信を拒否することが好ましい。

40

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の各実施形態によるEPSモータ制御装置により制御される二系統インバータの回路模式図。

【図2】本発明の各実施形態によるEPSモータ制御装置を適用した電動パワーステアリング装置の概略構成図。

【図3】本発明の第1実施形態によるEPSモータ制御装置のブロック図。

【図4】モータ回転角速度と最大電流制限値との関係を示す特性図。

50

【図5】本発明の第1実施形態による最大電流制限値設定のフローチャート。

【図6】本発明の第2実施形態によるEPSモータ制御装置のブロック図。

【図7】図6の最大電流制限部の詳細ブロック図。

【図8】(a)モータ回転角速度、(b)素子温度と最大電流制限値係数との関係を示す特性図。

【図9】本発明の第3実施形態によるEPSモータ制御装置のブロック図。

【図10】本発明の第4実施形態によるEPSモータ制御装置において、車両制御装置からの協調制御信号の受信拒否を説明するブロック図。

【図11】従来技術による回転数と出力制限値との関係を示す特性図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0015】

以下、本発明による回転機の制御装置を車両の電動パワーステアリング(EPS)装置に適用した実施形態を図面に基づいて説明する。なお、第2実施形態の特徴を含む形態が「特許請求の範囲に記載の発明を実施するための形態」に相当する。

初めに、各実施形態に共通の構成について、図1、図2を参照して説明する。

【0016】

[共通の構成]

図2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の全体構成を示す。ハンドル91に接続されたステアリングシャフト92には、操舵トルクを検出するためのトルクセンサ94が設置されている。ステアリングシャフト92の先端にはピニオンギア96が設けられており、ピニオンギア96はラック軸97に噛み合っている。ラック軸97の両端には、タイロッド等を介して一対の車輪98が回転可能に連結されている。ステアリングシャフト92の回転運動は、ピニオンギア96によってラック軸97の直線運動に変換され、ラック軸97の直線運動変位に応じた角度について一対の車輪98が操舵される。

20

【0017】

電動パワーステアリング装置1は、回転軸を回転させるアクチュエータ2、及び、回転軸の回転を減速してステアリングシャフト92に伝達する減速ギア89を含む。

アクチュエータ2は、操舵アシストトルクを発生する「回転機」としてのEPSモータ80と、モータ80を駆動する「回転機の制御装置」としてのEPSモータ制御装置10(第4実施形態以外では「モータ制御装置」という。)とから構成される。本実施形態のモータ80は3相交流ブラシレスモータであり、減速ギア89を正逆回転させる。

30

モータ制御装置10は、制御部65、及び、制御部65の指令に従ってモータ80への電力供給を制御する「電力変換器」としてのインバータ601、602を含む。

【0018】

回転角センサ85は、例えば、モータ80側に設けられる磁気発生手段である磁石と、モータ制御装置10側に設けられる磁気検出素子とによって構成され、モータ80のロータ回転角を検出する。

制御部65は、トルク指令 t_{rq}^* 、回転角センサ85からの回転角信号、フィードバック電流等に基づいて、インバータ601、602のスイッチングを操作し、モータ80の通電を制御する。これにより、電動パワーステアリング装置1のアクチュエータ2は、ハンドル91の操舵を補助するための操舵アシストトルクを発生し、ステアリングシャフト92に伝達する。

40

【0019】

詳しくは、図1に示すように、モータ80は、2組の巻線組801、802を有する。第1巻線組801は、U、V、W相の3相巻線811~813から構成されており、第2巻線組802は、U、V、W相の3相巻線821~823から構成されている。インバータ601は、第1巻線組801に対応して設けられており、インバータ602は、第2巻線組802に対応して設けられている。以下、インバータ、及び、そのインバータと対応する3相巻線組の組合せの単位を「系統」という。複数系統における各系統の電気的特性

50

は同等であるものとする。また、系統毎の構成要素、物理量の符号について、第1系統の符号には末尾に「1」を付し、第2系統の符号には末尾に「2」を付す。

【0020】

モータ制御装置10は、電源リレー521、522、コンデンサ53、インバータ601、602、電流センサ701、702、及び制御部65等を備えている。

電源リレー521、522は、バッテリー51からインバータ601、602への電力供給を系統毎に遮断可能である。

コンデンサ53は、バッテリー51と並列に接続され、電荷を蓄え、インバータ601、602への電力供給を補助したり、サージ電流などのノイズ成分を抑制したりする。

【0021】

第1系統インバータ601は、第1巻線組801の各巻線811～813への通電を切り替えるべく、6つのスイッチング素子611～616がブリッジ接続されている。本実施形態のスイッチング素子611～616は、MOSFET（金属酸化物半導体電界効果トランジスタ）である。以下、スイッチング素子611～616をMOS611～616という。

【0022】

高電位側である上アームのMOS611～613は、ドレインがバッテリー51の正極側に接続されている。また、上アームのMOS611～613のソースは、低電位側である下アームのMOS614～616のドレインに接続されている。下アームのMOS614～616のソースは、バッテリー51の負極側に接続されている。上アームのMOS611～613と下アームのMOS614～616との接続点は、それぞれ、巻線811～813の一端に接続されている。

【0023】

電流センサ701は、インバータ601から巻線組801に通電される相電流を検出する。図1の例では3相の電流をそれぞれ検出しているが、他の例では、2相の電流を検出し、キルヒホッフの法則を用いて他の1相の電流を算出してよい。

また、第1系統インバータ601の電源ラインとグラウンドラインとの間の所定分圧によって、入力電圧 V_{r1} が検出される。

第2系統インバータ602についても、スイッチング素子(MOS)621～626、電流センサ702の構成、及び、入力電圧 V_{r2} を検出する構成は、第1系統インバータ601と同様である。

【0024】

制御部65は、マイコン67、駆動回路(ブリドライバ)68等で構成される。マイコン67は、トルク信号、回転角信号等の入力信号に基づき、制御に係る各演算値を制御演算する。駆動回路は、MOS611～616、621～626のゲートに接続され、マイコン67の制御に基づいてスイッチング出力する。

特に本実施形態の制御部65は、二系統のうちいずれか一系統が故障したとき、故障系統のインバータへの出力を停止し、且つ、正常系統のインバータへの出力について、特徴的な制御を実行する。その特徴的な制御について、以下に詳しく説明する。

【0025】

[制御部の構成]

以下、二系統のインバータ601、602又は巻線組801、802のうち、いずれか一系統が故障したとき、正常系統のみの駆動でモータ80の出力トルクを維持するための制御部65の構成、及び、制御部65が実行する処理について、実施形態毎に説明する。各実施形態の説明では、モータ制御装置10及び制御部65の符号について、実施形態毎に「101～103」及び「651～653」の符号を付す。また、各実施形態で実質的に同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

【0026】

(第1実施形態)

第1実施形態のEPSモータ制御装置について、図3～図5を参照して説明する。

10

20

30

40

50

図3の制御ブロック図において、モータ制御装置101のうち二点鎖線で囲んだ部分が制御部651に該当する。つまり、インバータ601、602、電流センサ701、702、及び、故障検出手段751、752は、本発明で定義する「制御部」には含まれない。ただし、それは概念上の区別に過ぎず、現実の基板における電子素子が分離して配置されているということを意味するものではない。

【0027】

全ての系統のインバータ及び巻線組が正常であるとき、つまり、二系統ならば第1系統と第2系統とのインバータ及び巻線組が共に正常であるときを「通常駆動時」という。

まず、通常駆動時について、代表として第1系統の構成を説明する。制御部651は、周知の電流ベクトル制御を用いた電流フィードバック制御によりモータ80の通電を制御するものであり、第1系統について、電流指令値演算部151、最大電流制限部201、3相2相変換部251、制御器301及び2相3相変換部351を有している。

10

【0028】

電流指令値演算部151は、入力されたトルク指令 $t_r q^*$ に基づき、数式又はマップ等を用いてd q軸電流指令値 $I_d 1^*$ 、 $I_q 1^*$ を演算する。

最大電流制限部201は、素子の過熱保護等の観点から、電流指令値の最大値を制限する。電流指令値演算部151が演算したd q軸電流指令値 $I_d 1^*$ 、 $I_q 1^*$ が制限値を超える場合、最大電流制限部201は、制限値に補正したd q軸電流指令値 $I_d 1^{**}$ 、 $I_q 1^{**}$ を出力する。一方、電流指令値演算部151が演算したd q軸電流指令値 $I_d 1^*$ 、 $I_q 1^*$ が制限値以下の場合には、最大電流制限部201は、電流指令値 $I_d 1^*$ 、 $I_q 1^*$ をそのまま電流指令値 $I_d 1^{**}$ 、 $I_q 1^{**}$ として出力する。

20

最大電流制限値 I_{lim} は、d q軸電流ベクトルの大きさ($= \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$)に対して設定されてもよく、d軸電流及びq軸電流のそれぞれに対して設定されてもよい。 I_{lim1} 、 I_{lim2} は、それぞれ、第1系統及び第2系統についての最大電流制限値を示す。

【0029】

3相2相変換部251は、回転角センサ85からフィードバックされた回転角 θ に基づき、電流センサ701が検出した3相の相電流検出値 $I_u 1$ 、 $I_v 1$ 、 $I_w 1$ をd q軸電流検出値 $I_d 1$ 、 $I_q 1$ にd q変換する。

制御器301は、d q軸電流指令値 $I_d 1^{**}$ 、 $I_q 1^{**}$ とd q軸電流検出値 $I_d 1$ 、 $I_q 1$ との電流偏差が入力され、この電流偏差を0にするように、PI(比例積分)制御演算等によって電圧指令値 $V_d 1$ 、 $V_q 1$ を演算する。

30

【0030】

2相3相変換部351は、回転角センサ85からフィードバックされた回転角 θ に基づき、d q軸電圧指令値 $V_d 1$ 、 $V_q 1$ を3相電圧指令値 $V_u 1$ 、 $V_v 1$ 、 $V_w 1$ に逆d q変換してインバータ601に出力する。

インバータ601は、例えばPWM制御により、3相電圧指令値 $V_u 1$ 、 $V_v 1$ 、 $V_w 1$ に対応するデューティ信号に基づいて、各相MOSのスイッチングを操作する。これにより、指令された3相交流電圧がモータ80に印加され、モータ80は、所望のアシストトルクを生成する。

40

第2系統について、電流指令値演算部152、最大電流制限部202、3相2相変換部252、制御器302及び2相3相変換部352の構成は、第1系統と同様である。

【0031】

次に、二系統のうちいずれか一方のインバータ又は巻線組が故障した場合を想定する。

以下では、「第1系統が故障し、第2系統が正常である」場合を仮定する。そのため、図3において、故障系統でのみ用いられる構成は第1系統側に記載し、正常系統でのみ用いられる構成は第2系統側に記載し、その他の図示を省略する。ただし、故障検出手段751、752については第1系統の故障検出手段751を実線で示し、第2系統の故障検出手段752を破線で示す。これらの構成は、実際には両方の系統に同様に設けられる。

【0032】

50

この故障には、ショート故障及びオープン故障が含まれる。

本明細書では、インバータ601又は巻線組801において、いずれかの配線間が非導通を意図する制御に反して導通状態となっている状態を「ショート故障」と定義する。また、全系統のうちいずれか一部の系統がショート故障している状態を「一部系統ショート故障」という。なお、全ての系統が故障し正常系統が存在しないという状況は、本発明の想定範囲外である。

【0033】

インバータ601のショート故障とは、各相上下アームのMOS611～616のいずれかで、駆動回路68からゲートにオフ信号が入力されているにもかかわらず、ドレイン・ソース間が導通状態となる故障等をいう。

10

また、巻線組801のショート故障とは、いずれかの相の巻線と電源ラインとが天絡、或いは、いずれかの相の巻線とグラウンドラインとが地絡する故障をいう。

【0034】

一方、インバータ601又は巻線組801において、いずれかの配線間が導通を意図する制御に反して非導通状態となっている状態を「オープン故障」と定義し、全系統のうちいずれか一部の系統がオープン故障している状態を「一部系統オープン故障」という。

インバータ601のオープン故障とは、各相上下アームのMOS611～616のいずれかで、駆動回路68からゲートにオン信号が入力されているにもかかわらず、ドレイン・ソース間が非導通状態となる故障等をいう。

また、巻線組801のオープン故障とは、いずれかの相の巻線、又は巻線と端子との接続部が断線（非接続）状態となる故障をいう。

20

【0035】

故障検出手段751は、電流センサ701が検出した相電流検出値 I_{u1} 、 I_{v1} 、 I_{w1} 、及びインバータ601の入力電圧 V_{r1} 等に基づいて、インバータ601又は巻線組801の故障を検出する。

故障検出手段751は、第1系統の故障を検出すると、インバータ601への出力を停止する。その停止の方法としては、図中に破線で示すように、電流指令値演算部151が指令する電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* 、又は、最大電流制限部201が設定する最大電流制限値を0としてもよい。また、駆動回路58からMOS611～616への駆動信号を全てオフしてもよい。或いは、再通電の可能性が無ければ、回路上でインバータ601の電源ラインに設けられる電源リレー521を遮断してもよい。

30

【0036】

そして、制御部651は、正常な第2系統のみでモータ80の駆動を継続する。このように正常系統を動作させることで、一系統が故障したとき、操舵トルクのアシスト機能が完全に喪失することを防止することができる。

ところで、特許文献1（特開2013-48524号公報）に詳しく説明されているとおり、ショート故障のため故障系統のインバータ601への出力を停止したとき、正常系統のインバータ602がモータ80を駆動することによって、或いは、運転者がステアリングシャフト92を操舵し負荷側からモータ80が回転されることによって、故障系統のインバータ601には逆起電圧が発生する。この逆起電圧により、モータ80には、駆動に逆らうブレーキトルクが発生する。また、ブレーキトルクは、モータ回転数が高いほど大きくなる。一方、オープン故障の場合にはブレーキトルクは発生しない。

40

【0037】

ショート故障の場合にブレーキトルクが発生することで、モータ80の最大トルクは低下する。そこで、最大トルクを低下させない、或いは、低下を極力抑制するために、正常系統のインバータ601に対し通常駆動時よりも大きな電流を流すことが求められる。

そのため、本実施形態の制御部651は、正常系統である第2系統の最大電流制限部202がモータ回転角速度 ω を取得し、モータ回転角速度 ω が大きいほど最大電流制限値 I_{lim} を増加させることを特徴とする。

モータ回転角速度 $[\text{deg}/\text{s}]$ は、回転角センサ85が検出した回転角 θ を微分器

50

86が時間微分することで算出される。モータ回転角速度は、比例定数を乗じることで回転数Nに換算されるものであり、本明細書では回転数と同じ意味で用いる。

【0038】

図4(a)～(c)に、モータ回転角速度に対する最大電流制限値 I_{lim} の増加特性の例を示す。縦軸に示す「 I_{max} 」は、二系統正常時における定格電流であり、定格電流の2分の1を「 $I_{max}/2$ 」と示す。この、「 $I_{max}/2$ 」は、「通常駆動時における一系統あたりの最大電流制限値」に相当する。

図4(a)～(c)では、いずれも、モータ80の停止時(モータ回転角速度=0)の最大電流制限値 I_{lim} は、定格電流の2分の1($I_{max}/2$)に設定されている。そして、モータ80の回転中は、モータ回転角速度が0から大きくなるほど、最大電流制限値 I_{lim} を増加させている。つまり、右上がりの特性線が描かれている。

10

【0039】

なお、図4(a)～(c)の横軸のモータ回転角速度の上限は、適用される電動パワーステアリング装置1において現実に使用が想定される最大角速度である。つまり、図4(a)～(c)は、あくまで実用領域でのモータ回転角速度と最大電流制限値 I_{lim} との関係を規定する図であり、現実に使用されない高回転領域までを考慮していない。

【0040】

図4(a)に示す特性パターンは、モータ回転角速度がゼロ付近では最大電流制限値 I_{lim} の増加率が大きく、モータ回転角速度の増加に伴って最大電流制限値 I_{lim} の増加率が徐々に小さくなり、やがて最大電流制限値 I_{lim} が飽和傾向となるパターンである。この特性パターンは、操舵速度とブレーキトルクとの実測値をプロットした曲線になぞらえたものであり、「ブレーキトルク(負)とアシスト増加量(正)との和が0となるように制御する」という思想に基づく。

20

図4(b)に示す特性パターンは、簡易的に、モータ回転角速度に対して最大電流制限値 I_{lim} を線形増加させるものである。

図4(c)に示す特性パターンは、モータ回転角速度の増加に伴って増加率を徐々に大きくするものであり、実車試験による適合を考慮したパターンである。

【0041】

ところで、第1系統にオープン故障が検出された場合には、逆起電圧によるブレーキトルクが故障系統に発生しないため、正常系統の最大電流制限値 I_{lim} を増加させる必要はなく、「通常駆動時の一系統あたりの最大電流制限値」、すなわち「 $I_{max}/2$ 」以下に設定すればよい。例えば図4(a)～(c)に破線で示すように、モータ回転角速度によらず最大電流制限値 I_{lim} を「 $I_{max}/2$ 」で一定とすればよい。これにより、正常系統一系統あたりに流れる最大電流は、故障系統での故障発生前と同等となる。

30

【0042】

続いて、最大電流制限値設定ルーチンについて、図5のフローチャートを参照して説明する。以下のフローチャートの説明で記号「S」はステップを意味する。ここでは、図3のブロック図に準じ、「第2系統は正常であり、第1系統は故障の可能性がある」という前提で、第2系統の最大電流制限値 I_{lim} を設定するフローを説明する。

【0043】

S1では、他方の系統(第1系統)のインバータ601又は巻線組801が故障しているか否か判断する。他方の系統(第1系統)のインバータ601及び巻線組801が共に正常である場合(S1:NO)、S2で、二系統合計の定格電流 I_{max} を最大電流制限値 I_{lim} とする。他方の系統(第1系統)のインバータ601又は巻線組801が故障している場合(S1:YES)、S3で、ショート故障であるかオープン故障であるか判定する。

40

【0044】

ショート故障の場合(S3:YES)、図4の特性図に基づき、モータ回転角速度に応じて最大電流制限値 I_{lim} を設定する。

オープン故障の場合(S3:NO)、一系統駆動時の最大電流制限値 I_{lim} を最大電

50

流制限値 I_{lim} として設定する。この「一系統駆動時の最大電流制限値 I_{lim} 」は、図 4 に破線で示すように、定格電流 I_{max} の 2 分の 1 ($I_{max} / 2$) に設定してもよい。或いは、システムの出力、放熱性、安全率等を考慮し、定格電流 I_{max} の 2 分の 1 ($I_{max} / 2$) から定格電流 I_{max} までの範囲で設定してもよい。

【0045】

(効果)

第 1 実施形態のモータ制御装置 101 の効果について説明する。

(1) 本実施形態では、二系統のうちいずれが一系統のインバータ 601 又は巻線組 801 がショート故障し、正常系統のみでモータ 80 の駆動を継続する場合、モータ回転角速度 ω が大きいほど、正常系統の最大電流制限値 I_{lim} を増加させる。

10

モータ 80 の回転中には各相の MOS が交互にオンオフし、 \sin 波形の電流が各相に平均的に流れる。抵抗を R 、電流を I とすると、発熱 P は、「 $P = RI^2$ 」であることから、 \sin 波形の電流の 2 乗の積算値は、最大電流 (= \sin 波形の振幅) の 2 乗の積算値に対してさらに小さくなる。つまり、回転中は停止中に比べ特定相に発熱が集中しないため、発熱防止に有利である。そこで、モータ回転中にのみ最大電流制限値 I_{lim} を増加させることで、正常系統での発熱を効果的に防止しつつ、故障系統に発生する逆起電圧によって生じるブレーキトルクを補うトルクをモータ 80 に出力させることができる。

【0046】

(2) 一方、モータ 80 の停止中、すなわち回転角速度 ω が 0 のときには、正常系統の最大電流制限値 I_{lim} を、「通常駆動時における一系統あたりの最大電流制限値」である定格電流 I_{max} の 2 分の 1 ($I_{max} / 2$) 以下に設定する。

20

モータ 80 の停止中、又は停止に近い低回転時には、特定相の MOS のオン時間が長くなり、過電流によって集中的に発熱するおそれがあるため、最大電流制限値 I_{lim} を増加させないことで、過剰な発熱による素子の破損等を防止することができる。

【0047】

(3) 故障系統がオープン故障した場合には故障系統において逆起電圧によるブレーキトルクが発生しないため、正常系統による駆動力を増加させる必要がない。したがって、モータ回転角速度 ω に関係なく、正常系統一系統あたりの最大電流制限値 I_{lim} を通常駆動時の値と同等に設定することで、制御を単純にすることができる。

【0048】

30

(従来技術との対比)

ところで、特許文献 1 の従来技術では、故障系統における過剰な発熱を防止することを目的として、回転数が高いほど正常系統の出力制限値 (本実施形態の最大電流制限値に相当) I_{lim} を減少させている。つまり、本発明が正常系統のみで要求トルクを出力することに注目しているのに対し、特許文献 1 の従来技術は、故障系統での逆起電圧による発熱に注目している点が異なる。ただし、本発明では高回転領域で最大電流制限値 I_{lim} を増加させるのに対し、特許文献 1 の従来技術では出力制限値を減少させており、一見すると効果が相反するように思われるかもしれない。

【0049】

図 11 に、特許文献 1 の図 5 (b) に相当する回転数 N と出力制限値 I_{lim} との折れ線形の特性図を示す。図 11 によると、回転数 N が 0 から電流推定値 I_{bc} に対応する境界回転数 N_c までの領域では出力制限値 I_{lim} が一定であり、境界回転数 N_c を超えると出力制限値 I_{lim} が漸減する。この特性は、回転数 N が境界回転数 N_c より低い領域では、回転数 N の違いによる発熱に対する影響が比較的小さいことを意味する。つまり、折れ点である境界回転数 N_c の値は、使用する素子及び巻線の耐熱特性や制御装置の放熱性の良否によって大きく変化し得る。

40

【0050】

そのため、モータ 80 の実用領域が境界回転数 N_c よりも低回転側に収まる場合、境界回転数 N_c 以上の領域で出力制限値を小さくするという制御は、現実的に意味のないものとなる。このように、本発明は、モータ 80 の実用領域が、故障系統の発熱に余り影響し

50

ない回転数領域に収まることを前提として、実用領域の回転数（モータ回転角速度）範囲において、モータ回転角速度 ω が大きいほど最大電流制限値 I_{lim} を増加させることを要旨とするものである。要するに、本発明の実施形態のモータ駆動装置 101 は、正常系統のみでの駆動において、故障系統の発熱に影響を与えることなく、ブレーキトルクを補うトルクをモータ 80 に出力させることができる。

【0051】

（第2実施形態）

本発明の第2実施形態について、図6～図8を参照して説明する。

図6に示すように、第2実施形態のモータ制御装置 102 の制御部 652 は、上記第1実施形態に対し、さらに、正常系統の素子温度 T_d を推定する温度推定部 40 を備える。温度推定部 40 で推定された素子温度 T_d は、第2系統の最大電流制限部 20 に入力される。なお、図6では、第1系統の温度推定部の図示を省略する。

また、図6に示す温度推定部 40 は、相電流 I_{u2} 、 I_{v2} 、 I_{w2} から素子温度 T_d を推定するものであるが、基板に設置した温度センサの検出値に基づいて、素子温度 T_d を推定するようにしてもよい。さらに、故障系統である第1系統の素子温度も推定するようにしてもよい。

【0052】

回転角センサ 85 で検出された電気角 θ を微分器 86 で時間微分して算出されたモータ回転角速度 ω 、及び、温度推定部 40 で推定された素子温度 T_d は、第2系統の最大電流制限部 202 に入力される。

図7に示すように、最大電流制限部 202 は、第1電流制限算出部 21、第2電流制限算出部 22、及び、最小選択部 23 を有している。第1電流制限算出部 21 にはモータ回転角速度 ω が入力され、第2電流制限算出部 22 には素子温度 T_d が入力される。また、第1電流制限算出部 21 及び第2電流制限算出部 22 には、最大電流制限値の基準値 I_{lim_ref} が入力される。基準値 I_{lim_ref} は、例えば定格電流 I_{max} の2分の1 ($I_{max}/2$) 程度に設定されている。

【0053】

第1電流制限算出部 21 は、図8(a)に示すマップを用いて、モータ回転角速度 ω に対応する電流係数 K_1 を求める。このマップでは、モータ回転角速度 ω が0から大きくなるにつれ、電流係数 K_1 が1から漸増する。そして、下式のように、最大電流制限値の基準値 I_{lim_ref} に電流係数 K_1 を乗じ、「第1仮値」として角速度電流制限値 $I_{lim_}$ を算出する。

$$I_{lim_} = I_{lim_ref} \times K_1$$

【0054】

第2電流制限算出部 22 は、図8(b)に示すマップを用いて、素子温度 T_d に対応する電流係数 K_2 を求める。このマップでは、素子温度 T_d が高温になるにつれ、電流係数 K_2 が減少する。電流係数 K_2 は、例えば温度 T_x より低温側では1を上回り、温度 T_x より高温側では1を下回るように設定される。そして、下式のように、最大電流制限値の基準値 I_{lim_ref} に電流係数 K_2 を乗じ、「第2仮値」として素子温度電流制限値 I_{lim_Td} を算出する。

$$I_{lim_Td} = I_{lim_ref} \times K_2$$

【0055】

電流係数 K_1 、 K_2 を算出するマップは、図8(a)、図8(b)のように直線状のマップに限らず、適宜、折れ線形や曲線状のマップを採用してもよい。

最小選択部 23 は、角速度電流制限値 $I_{lim_}$ と、素子温度電流制限値 I_{lim_Td} との小さい方の値を最大電流制限値の確定値 I_{lim_fix} として出力する。これにより、素子温度 T_d に応じて最大電流制限値 I_{lim} を適正に設定することができる。

したがって、第2実施形態は、第1実施形態の作用効果に加え、正常系統の素子の過熱を好適に防止することができる。さらに、故障系統の素子温度も推定し、最大電流制限値 I_{lim} の設定に反映させるようにすれば、特許文献1の発明の課題である「故障系統の

10

20

30

40

50

素子の発熱防止」を両立した制御が可能となる。

【 0 0 5 6 】

(第 3 実施形態)

本発明の第 3 実施形態について、図 9 を参照して説明する。第 3 実施形態のモータ制御装置 1 0 3 の制御部 6 5 3 は、上記第 1 実施形態に対し、回転角速度 に代えて、トルクセンサ 9 4 が検出した操舵トルク T_s の絶対値の微分値 ($d | T_s | / d t$)、すなわち「所定時間内の変化量」に基づいて、最大電流制限値 I_{lim} を算出することを特徴とする。

【 0 0 5 7 】

図 9 において、制御部 6 5 3 は、トルクセンサ 9 4 から操舵トルク T_s を取得する。操舵トルク T_s は、一方の回転方向を正、その反対方向を負として定義されている。微分器 4 5 は、操舵トルクの絶対値 $| T_s |$ を時間微分し、微分値 ($d | T_s | / d t$) を正常系統の最大電流制限部 2 0 2 に出力する。

最大電流制限部 2 0 2 は、操舵トルク T_s の絶対値の微分値 ($d | T_s | / d t$) が大きいほど最大電流制限値 I_{lim} を増加させる。この増加特性は、モータ回転角速度 に対する最大電流制限値 I_{lim} の増加特性 (図 4) と同様の各パターンを取り得る。

【 0 0 5 8 】

第 3 実施形態によると、第 1 系統のインバータ 6 0 1 でショート故障が発生した状況で運転者がハンドルを急操舵したとき、第 2 系統の最大電流制限値 I_{lim} を増加させるため、第 2 系統 (正常系統) の駆動のみで、第 1 系統 (故障系統) に発生する逆起電圧によって生じるブレーキトルクを補うトルクをモータ 8 0 に出力させることができる。

【 0 0 5 9 】

(第 4 実施形態)

本発明の第 4 実施形態について、図 1 0 を参照して説明する。上記第 1 ~ 第 3 実施形態が制御部 6 5 1 ~ 6 5 3 の内部の構成に特徴を有することに対し、第 4 実施形態は、モータ制御装置 1 0 1 ~ 1 0 3 の制御部 6 5 1 ~ 6 5 3 と、上位の車両制御装置 5 5 との通信に関する構成に特徴を有する。したがって、第 4 実施形態は、上記第 1 ~ 第 3 実施形態のいずれと組み合わせることも可能である。

【 0 0 6 0 】

第 4 実施形態が適用される車両では、正常時に、上位の車両制御装置 5 5 から E P S モータ制御装置 1 0 1 ~ 1 0 3 の制御部 6 5 1 ~ 6 5 3 に対し、「協調制御」を指令する。

この協調制御は、電動パワーステアリング装置 1 と、車両に搭載された他の制御装置との協働により車両に所望の動作を実現させるものである。具体的には、ギア比可変制御、自動運転、自動駐車、レーンキープアシスト、緊急回避等が協調制御に該当する。車両制御装置 5 5 は、E P S モータ制御装置 1 0 1 ~ 1 0 3、エンジン制御装置 5 6、ブレーキ制御装置 5 7 等に協調制御信号を送信し、「走る」、「曲がる」、「止まる」の動作を統括的に制御する。

【 0 0 6 1 】

しかし、このような協調制御は、電動パワーステアリング装置 1 が正常に動作しない状況では、協調制御の要求を実行することができない場合がある。

そこで第 4 実施形態では、故障検出手段 7 5 1、7 5 2 によって、いずれかの系統のインバータ 6 0 1、6 0 2 又は巻線組 8 0 1、8 0 2 のショート故障又はオープン故障が検出されたとき、制御部 6 5 1 ~ 6 5 3 は、車両制御装置 5 5 から指令される協調制御信号の要求を実行不能な場合、協調制御信号の受信を拒否する。

【 0 0 6 2 】

これにより、いずれかの系統のインバータ 6 0 1、6 0 2 又は巻線組 8 0 1、8 0 2 が故障した状況で協調制御を行うことにより、車両が意図に反した動作をすることを防止することができる。

さらに制御部 6 5 1 ~ 6 5 3 は、車両制御装置 5 5 に対して、故障の通知、又は、受信拒否の通知を送信する。通知を受けた車両制御装置 5 5 は、異常時処置として、エンジン

10

20

30

40

50

制御装置 5 6 やブレーキ制御装置 5 7 への協調制御信号を変更したり中止したりする。

【 0 0 6 3 】

(その他の実施形態)

(ア)本発明の回転機の制御装置は、上記実施形態で示したように、「電力変換器」として複数系統のインバータを用いて3相交流モータの駆動を制御する制御装置に限らず、「電力変換器」として複数系統のHブリッジ回路を用いて直流モータ(ブラシ付モータ)の駆動を制御する制御装置に適用してもよい。

また、3相に限らず、4相以上の多相交流モータに適用してもよい。

【 0 0 6 4 】

(イ)本発明における「複数系統の電力変換器(インバータ、Hブリッジ回路)」は、二系統に限らず三系統以上でもよい。複数系統のうち一系統以上が故障し、且つ、一系統以上の正常系統により駆動を継続する場合、正常系統の最大電流制限値 I_{lim} について上記実施形態と同様の構成を適用することができる。例えば、N系統のうち $M (< N)$ 系統が故障したとき、 $(N - M)$ 系統の正常系統について、一系統あたりの最大電流制限値 I_{lim} は、図4に準じ、定格電流のN分の1 (I_{max} / N) を基点として、モータ回転角速度 に応じて増加する特性線で表される。

10

【 0 0 6 5 】

(ウ)制御装置 1 0 の具体的な構成は、上記実施形態の構成に限らない。例えばスイッチング素子は、MOSFET以外の電界効果トランジスタやIGBT等であってもよい。IGBT等のトランジスタの場合、ベースにオフ信号が入力されているにもかかわらず、コレクタ-エミッタ間がオン状態であるときが「ショート故障」に該当する。

20

(エ)例えば二系統の巻線組に流す3相電流は、同位相に限らず、位相をずらすような構成としてもよい。

【 0 0 6 6 】

(オ)モータ回転角速度 に応じて最大電流制限値 I_{lim} を決定する第1実施形態、並びに、モータ回転角速度 及び素子温度 T_d に応じて最大電流制限値 I_{lim} を決定する第2実施形態については、EPSモータ制御装置として適用されるものに限らず、電動パワーステアリング装置以外の車載装置や、車載装置以外の各種装置におけるモータ又は発電機の制御装置として適用されてもよい。

【 0 0 6 7 】

以上、本発明はこのような実施形態に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、種々の形態で実施することができる。

30

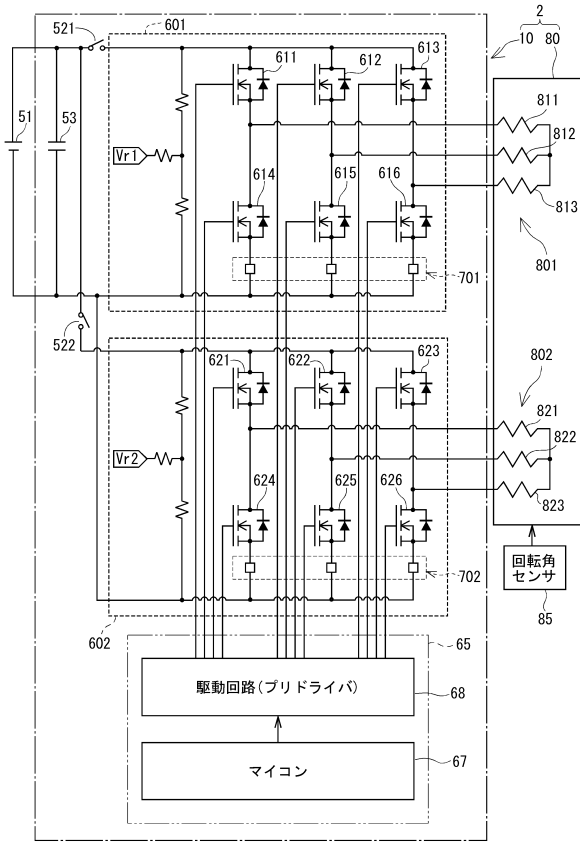
【符号の説明】

【 0 0 6 8 】

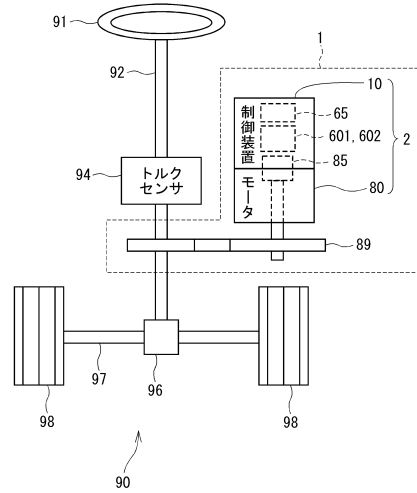
- 1 . . . 電動パワーステアリング装置、
- 1 0 1 ~ 1 0 3 . . . EPSモータ制御装置(回転機の制御装置)、
- 6 0 1、6 0 2 . . . インバータ(電力変換器)、
- 6 1 1 ~ 6 1 6、6 2 1 ~ 6 2 6 . . . スwitching素子、
- 6 5 1 ~ 6 5 3 . . . 制御部、
- 7 5 1、7 5 2 . . . 故障検出手段、
- 8 0 . . . モータ(回転機)、
- 8 0 1、8 0 2 . . . 巻線組、
- I_{lim} . . . 最大電流制限値。

40

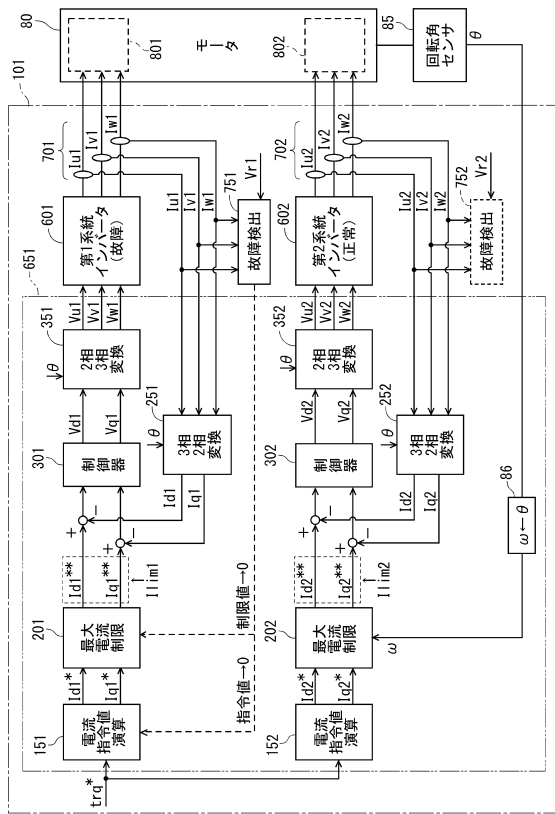
【図1】



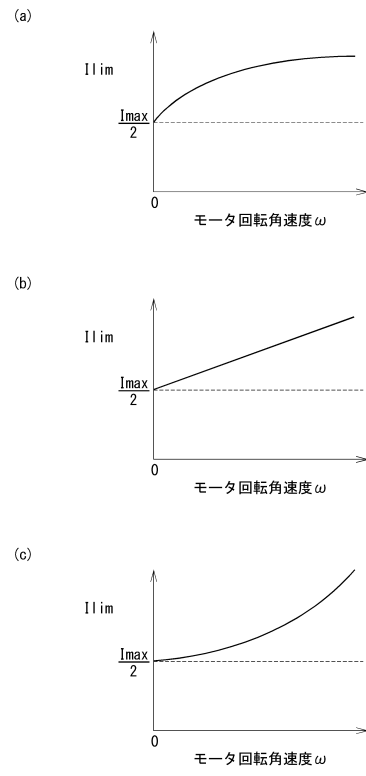
【図2】



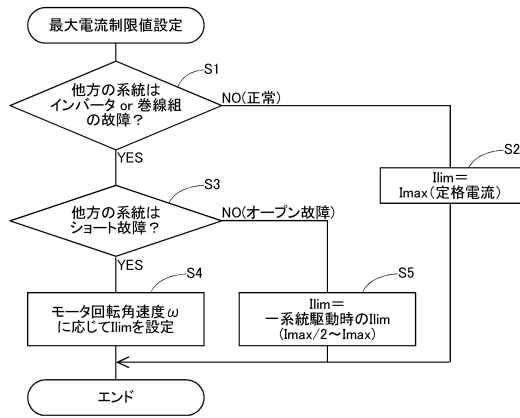
【図3】



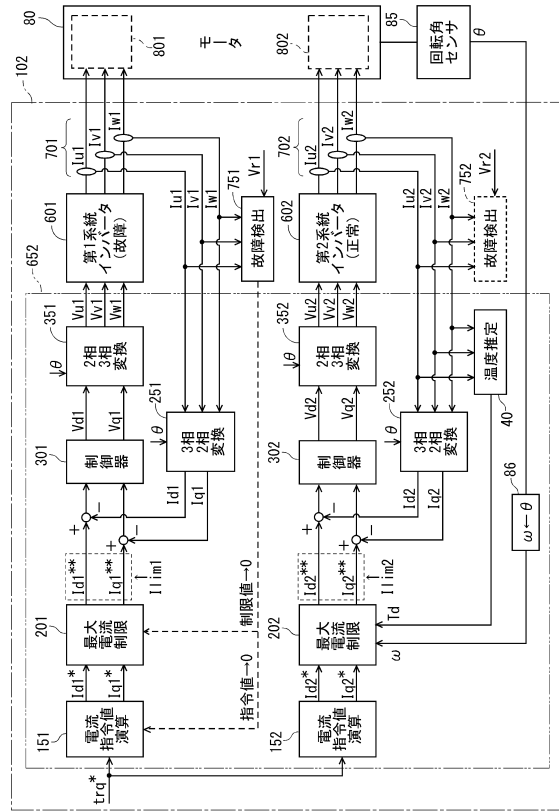
【図4】



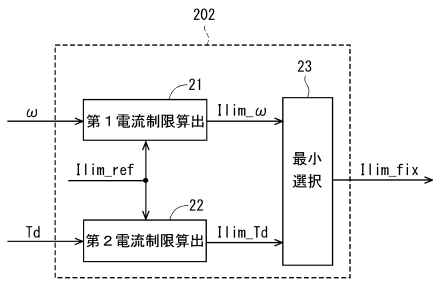
【図5】



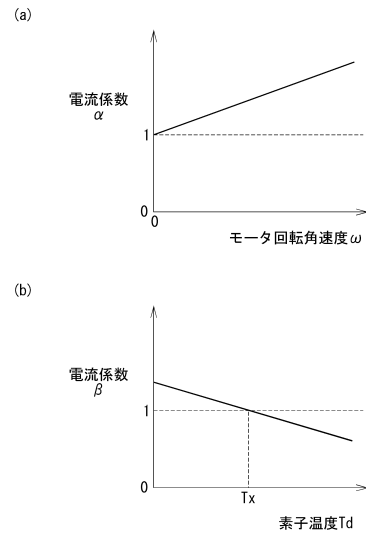
【図6】



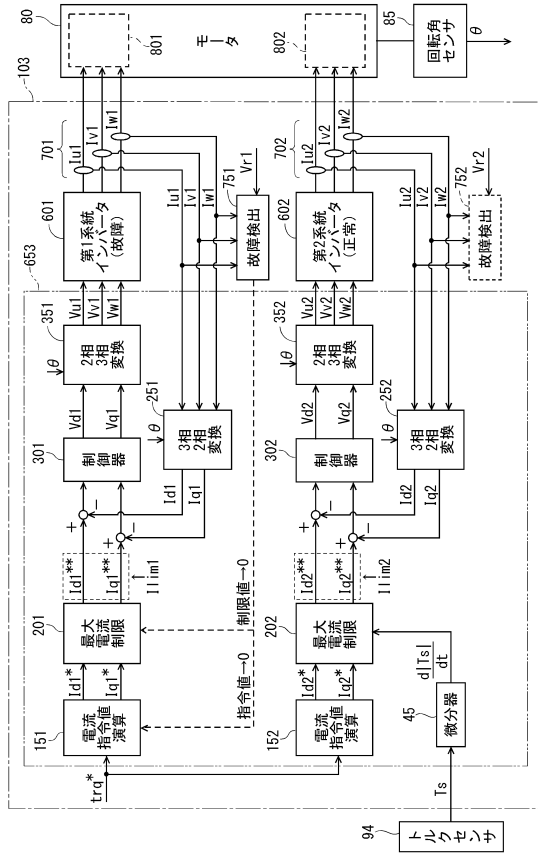
【図7】



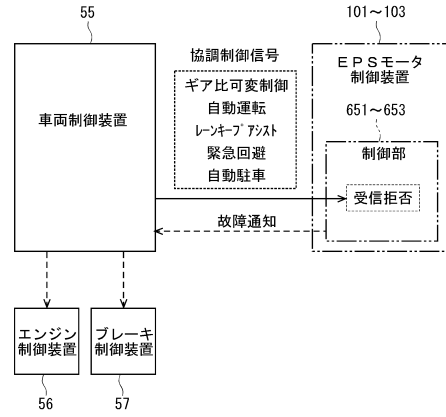
【図8】



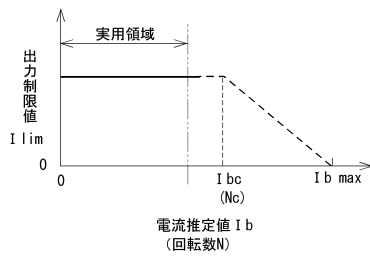
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

審査官 池田 貴俊

- (56)参考文献 特開2013-141869(JP,A)
特開平11-286278(JP,A)
特開2005-112162(JP,A)
特開2001-071791(JP,A)
米国特許出願公開第2004/0264075(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 27/06
B62D 5/04
B62D 6/00
B62D 119/00