

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-184677

(P2021-184677A)

(43) 公開日 令和3年12月2日(2021.12.2)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
H02P	29/028	(2016.01)	H02P	29/028		3D333		
H02P	21/22	(2016.01)	H02P	21/22		5H501		
H02P	25/22	(2006.01)	H02P	25/22		5H505		
B62D	5/04	(2006.01)	B62D	5/04				

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2020-89896 (P2020-89896)
 (22) 出願日 令和2年5月22日 (2020.5.22)

(71) 出願人 00004260
 株式会社デンソー
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
 (74) 代理人 100093779
 弁理士 服部 雅紀
 (72) 発明者 小林 大輔
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
 Fターム(参考) 3D333 CB13 CC04 CC13 CC28 CC39
 CD57 CE36
 5H501 AA20 BB08 DD04 DD08 EE08
 GG05 HA08 HB07 HB08 JJ03
 JJ04 JJ17 JJ26 KK06 LL22
 LL35 LL54 MM02 MM17

最終頁に続く

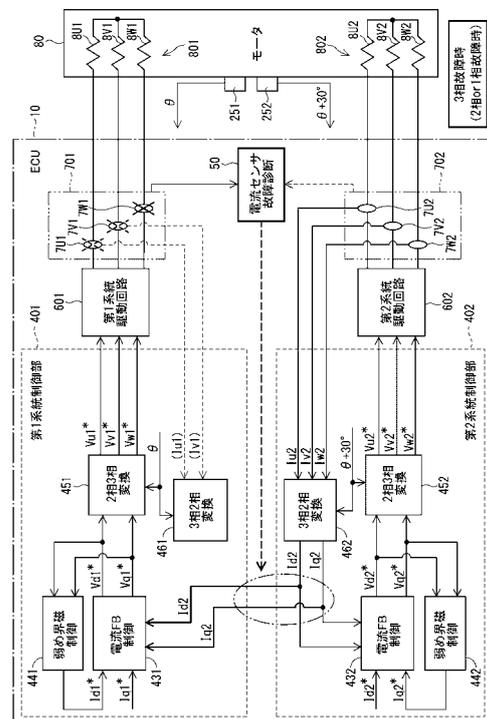
(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【要約】

【課題】複数系統のうち一部の系統の電流センサの故障時にモータ出力トルクの低下を防ぐモータ制御装置を提供する。

【解決手段】二系統のモータ制御装置30において、制御部401、402は、各相の電流センサ701、702の検出値を座標変換して算出したd q軸実電流I d 1、I q 1、I d 2、I q 2をd q軸電流指令値I d 1*、I q 1*、I d 2*、I q 2*に対してフィードバック制御し、駆動回路601、602に指令する駆動信号を演算する。第1系統制御部401は、電流センサ故障診断部50により自系統の1相以上の電流センサ701が故障と判定されたとき、第2系統制御部402が算出したd q軸実電流I d 2、I q 2を自系統のd q軸電流指令値I d 1*、I q 1*に対してフィードバック制御する「代理電流フィードバック制御」により自系統の駆動信号を演算し、自系統の駆動回路601によるモータ80の駆動を継続する場合がある。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数の多相巻線組（801、802）を有するモータ（80）の駆動を制御するモータ制御装置であって、

対応する前記多相巻線組に電力供給する複数の駆動回路（601、602）と、

前記駆動回路から前記多相巻線組に通電される各相電流を検出する複数の電流センサ（701、702）と、

前記駆動回路に対応して設けられ、各相の前記電流センサの検出値を座標変換して算出したd q軸実電流をd q軸電流指令値に対してフィードバック制御し、前記駆動回路に指令する駆動信号を演算する複数の制御部（401、402）と、

前記電流センサの故障を診断する電流センサ故障診断部（50）と、
を備え、

互いに対応する前記多相巻線組、前記駆動回路、前記電流センサ及び前記制御部を含む一群の構成要素の単位を系統と定義すると、

各系統の前記制御部は、前記電流センサ故障診断部により自系統の1相以上の前記電流センサが故障と判定されたとき、他系統の前記制御部が算出した他系統のd q軸実電流を自系統のd q軸電流指令値に対してフィードバック制御する代理電流フィードバック制御により自系統の前記駆動信号を演算し、自系統の前記駆動回路による前記モータの駆動を継続する場合があるモータ制御装置。

【請求項 2】

前記多相巻線組は3相巻線組であり、各系統に3相の前記電流センサを備え、

各系統の前記制御部は、

前記電流センサ故障診断部により故障と判定された自系統の前記電流センサについて、

3相の前記電流センサが故障したとき、又は、2相もしくは1相の前記電流センサが故障し且つ正常相の前記電流センサの検出値から故障相の電流を推定不能なとき、前記代理電流フィードバック制御を行い、

2相もしくは1相の前記電流センサが故障し且つ正常相の前記電流センサの検出値から故障相の電流を推定可能なとき、正常相の前記電流センサの検出値と故障相の電流推定値とを座標変換してd q軸推定電流を算出し、自系統のd q軸推定電流に基づく自助電流フィードバック制御を行う請求項1に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記電流センサ故障診断部は、前記電流センサの故障モードを判別可能であり、

各系統の前記制御部は、

自系統の1相以上の前記電流センサが実際の電流値にかかわらず一定値を出力する固着故障の場合、前記代理電流フィードバック制御を行い、

自系統の全相の前記電流センサが前記固着故障でなく、且つ、センサ出力特性のゲイン誤差及びオフセット誤差が所定範囲内の場合、自系統のd q軸実電流に基づく通常の電流フィードバック制御を行う請求項1に記載のモータ制御装置。

【請求項 4】

前記複数の駆動回路は、対応する前記多相巻線組に所定の位相差の相電流を通電する請求項1～3のいずれか一項に記載のモータ制御装置。

【請求項 5】

車両の電動パワーステアリング装置（90）に適用され、前記モータとして操舵アシストモータの駆動を制御する請求項1～4のいずれか一項に記載のモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、モータ制御装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

10

20

30

40

50

従来、複数系統が冗長的に設けられた多相モータの制御装置において、一部の系統の異常時に制御を切り替える装置が知られている。例えば特許文献1に開示された電動パワーステアリング装置は、3相モータで構成された操舵アシストモータの駆動について、二系統のうち一系統のモータ巻線又は駆動回路の異常時に異常系統の電力供給を停止し、正常系統のみでモータ駆動を継続する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開第2012-090471号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

多相モータに通電される相電流センサの検出値を用いて電流フィードバック制御により駆動信号を演算する二系統のモータ制御装置において、一系統の1相以上の電流センサが故障した場合を想定する。このとき、モータ巻線や駆動回路は正常であっても、電流センサが故障した系統では、電流フィードバック制御による駆動信号の演算ができなくなる。

【0005】

そこで特許文献1の従来技術により故障系統のモータ巻線への電力供給を停止し、正常系統のみでアシスト継続すると、二系統でモータ駆動する場合に比べてモータ出力トルクが低下する。電動パワーステアリング装置における操舵アシストモータの駆動では、正常系統のみでアシスト継続すると、二系統でアシストする場合に比べてアシスト出力が低下し、ドライバビリティを低下させるおそれがある。

20

【0006】

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、複数系統のうち一部の系統の電流センサの故障時にモータ出力トルクの低下を防ぐモータ制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、複数の多相巻線組(801、802)を有するモータ(80)の駆動を制御するモータ制御装置である。このモータ制御装置は、複数の駆動回路(601、602)と、複数の電流センサ(701、702)と、複数の制御部(401、402)と、電流センサ故障診断部(50)と、を備える。

30

【0008】

複数の駆動回路は、対応する多相巻線組に電力供給する。複数の電流センサは、駆動回路から多相巻線組に通電される各相電流を検出する。複数の制御部は、駆動回路に対応して設けられ、各相の電流センサの検出値を座標変換して算出したd q軸実電流をd q軸電流指令値に対してフィードバック制御し、駆動回路に指令する駆動信号を演算する。電流センサ故障診断部は、電流センサの故障を診断する。

【0009】

互いに対応する多相巻線組、駆動回路、電流センサ及び制御部を含む一群の構成要素の単位を系統と定義する。

40

【0010】

各系統の制御部は、電流センサ故障診断部により自系統の1相以上の電流センサが故障と判定されたとき、他系統の制御部が算出した他系統のd q軸実電流を自系統のd q軸電流指令値に対してフィードバック制御する「代理電流フィードバック制御」により自系統の駆動信号を演算し、自系統の駆動回路によるモータの駆動を継続する場合がある。

【0011】

本発明のモータ制御装置は、複数系統のうち一部の系統の1相以上の電流センサが故障したとき、故障系統の制御部が代理電流フィードバック制御を行うことで、全系統でのモータ駆動を継続し、モータ出力トルクの低下を防ぐことができる。例えば電動パワーステア

50

リング装置における操舵アシストモータの駆動では、正常系統の dq 軸実電流を用いて故障系統もアシスト継続させることで、アシスト出力の低下を防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】一実施形態の ECU が操舵アシストモータに適用される電動パワーステアリング装置の構成図。

【図2】二系統機電一体式モータの軸方向断面図。

【図3】図2の I I I - I I I 線断面図。

【図4】多相同軸モータの構成を示す模式図。

【図5】電流センサ正常時における ECU の制御構成を示すブロック図。

10

【図6】3相の電流センサ故障時における ECU の制御構成を示すブロック図。

【図7】2相の電流センサ故障時における ECU の制御構成を示すブロック図。

【図8】1相の電流センサ故障時における ECU の制御構成を示すブロック図。

【図9】電流センサが故障と判定された相の数に応じて電流フィードバック制御を切り替えるフローチャート。

【図10】電流センサの故障モードに応じて電流フィードバック制御を切り替えるフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0013】

(一実施形態)

20

以下、本発明の実施形態によるモータ制御装置を図面に基づいて説明する。本実施形態において「モータ制御装置」としての ECU は、車両の電動パワーステアリング装置に適用され、操舵アシストモータの通電を制御する。

【0014】

最初に電動パワーステアリング装置の構成について、図1～図4を参照して説明する。図1に、電動パワーステアリング装置90を含むステアリングシステム99の全体構成を示す。図1には、ECU10がモータ80の軸方向の一方側に一体に構成された「機電一体式」のモータ800を図示するが、ECU10とモータ80とがハーネスで接続された「機電別体式」の構成としてもよい。また、図1にはコラムアシスト式の装置を図示するが、ラックアシスト式の装置に適用されてもよい。

30

【0015】

ステアリングシステム99は、ハンドル91、ステアリングシャフト92、ピニオンギア96、ラック軸97、車輪98、及び、電動パワーステアリング装置90等を含む。ハンドル91にはステアリングシャフト92が接続されている。ステアリングシャフト92の先端に設けられたピニオンギア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对の車輪98が設けられる。運転者がハンドル91を回転させると、ハンドル91に接続されたステアリングシャフト92が回転する。ステアリングシャフト92の回転運動は、ピニオンギア96によりラック軸97の直線運動に変換され、ラック軸97の変位量に応じた角度に一对の車輪98が操舵される。

40

【0016】

電動パワーステアリング装置90は、操舵トルクセンサ93、ECU10、モータ80、及び、減速ギア94等を含む。操舵トルクセンサ93は、ステアリングシャフト92の途中に設けられ、運転者の操舵トルクを検出する。図1に示す形態では、二重化された操舵トルクセンサ93は、第1トルクセンサ931及び第2トルクセンサ932を含み、第1操舵トルク $trq1$ 及び第2操舵トルク $trq2$ を二重に検出する。操舵トルクセンサが冗長的に設けられない場合、一つの操舵トルク trq の検出値が二系統共通に用いられてもよい。

【0017】

ECU10は、操舵トルク $trq1$ 、 $trq2$ に基づいて、モータ80が所望のアシストトルクを発生するようにモータ80の駆動を制御する。モータ80が出力したアシスト

50

トルクは、減速ギア 9 4 を介してステアリングシャフト 9 2 に伝達される。

【 0 0 1 8 】

機電一体式モータ 8 0 0 の構成について、図 2、図 3 を参照して説明する。図 3 に示す形態では、ECU 1 0 は、モータ 8 0 の出力側とは反対側において、シャフト 8 7 の軸 Ax に対して同軸に配置されている。モータ 8 0 は 3 相ブラシレスモータであって、ステータ 8 4 0、ロータ 8 6 0、及びそれらを収容するハウジング 8 3 0 を備えている。

【 0 0 1 9 】

ステータ 8 4 0 は、ハウジング 8 3 0 に固定されたステータコア 8 4 5 と、ステータコア 8 4 5 に組み付けられた「複数の多相巻線組」としての二組の 3 相巻線組 8 0 1、8 0 2 とを有している。第 1 巻線組 8 0 1 を構成する各相巻線からは、リード線 8 5 1、8 5 3、8 5 5 が伸び出している。第 2 巻線組 8 0 2 を構成する各相巻線からは、リード線 8 5 2、8 5 4、8 5 6 が伸び出している。ロータ 8 6 0 は、リア軸受 8 3 5 及びフロント軸受 8 3 6 により支持されたシャフト 8 7 と、シャフト 8 7 が嵌入されたロータコア 8 6 5 とを有している。ロータ 8 6 0 は、ステータ 8 4 0 の内側に設けられており、ステータ 8 4 0 に対して相対回転可能である。シャフト 8 7 の一端には永久磁石 8 8 が設けられている。

10

【 0 0 2 0 】

ハウジング 8 3 0 は、リアフレームエンド 8 3 7 を含む有底筒状のケース 8 3 4 と、ケース 8 3 4 の一端に設けられたフロントフレームエンド 8 3 8 とを有している。ケース 8 3 4 及びフロントフレームエンド 8 3 8 は、ボルト等により互いに締結されている。各巻線組 8 0 1、8 0 2 のリード線 8 5 1、8 5 2 等は、リアフレームエンド 8 3 7 のリード線挿通孔 8 3 9 を挿通して ECU 1 0 側に延び、基板 2 3 0 に接続されている。

20

【 0 0 2 1 】

ECU 1 0 は、カバー 2 1 と、カバー 2 1 に固定されたヒートシンク 2 2 と、ヒートシンク 2 2 に固定された基板 2 3 0 と、基板 2 3 0 に実装された各種の電子部品とを備えている。カバー 2 1 は、外部の衝撃から電子部品を保護したり、ECU 1 0 内への埃や水等の浸入を防止したりする。カバー 2 1 は、外部からの給電ケーブルや信号ケーブルが接続される外部接続用コネクタ部 2 1 4 と、カバー部 2 1 3 とを有している。外部接続用コネクタ部 2 1 4 の給電用端子 2 1 5、2 1 6 は、図示しない経路を經由して基板 2 3 0 に接続されている。

30

【 0 0 2 2 】

基板 2 3 0 は、例えばプリント基板であり、リアフレームエンド 8 3 7 と対向する位置に設けられ、ヒートシンク 2 2 に固定されている。基板 2 3 0 には、二系統分の各電子部品が系統毎に独立して設けられており、完全冗長構成をなしている。基板 2 3 0 は一枚でもよく、二枚以上でもよい。基板 2 3 0 の二つの主面のうち、リアフレームエンド 8 3 7 に対向している面をモータ面 2 3 7 とし、その反対側の面、すなわちヒートシンク 2 2 に対向している面をカバー面 2 3 8 とする。

【 0 0 2 3 】

モータ面 2 3 7 には、複数のスイッチング素子 2 4 1、2 4 2、回転角センサ 2 5 1、2 5 2、カスタム IC 2 6 1、2 6 2 等が実装されている。複数のスイッチング素子 2 4 1、2 4 2 は各系統について 6 個であり、駆動回路の 3 相の上下アームを構成する。回転角センサ 2 5 1、2 5 2 は、シャフト 8 7 の先端に設けられた永久磁石 8 8 と対向するように配置される。カスタム IC 2 6 1、2 6 2 及びマイコン 3 0 1、3 0 2 は、ECU 1 0 の制御部を構成する。マイコン 3 0 1、3 0 2 は、マイコン間通信により各系統の電流指令値、電流制限値、故障情報等を共有する。

40

【 0 0 2 4 】

カバー面 2 3 8 には、マイコン 3 0 1、3 0 2、コンデンサ 2 8 1、2 8 2、及び、インダクタ 2 7 1、2 7 2 等が実装されている。特に、第 1 マイコン 3 0 1 及び第 2 マイコン 3 0 2 は、同一の基板 2 3 0 の同一側の面であるカバー面 2 3 8 に、所定間隔を空けて配置されている。コンデンサ 2 8 1、2 8 2 は、電源から入力された電力を平滑化し、ま

50

た、スイッチング素子 241、242 のスイッチング動作等に起因するノイズの流出を防止する。インダクタ 271、272 は、コンデンサ 281、282 と共にフィルタ回路を構成する。

【0025】

図 4 に示すように、ECU10 の制御対象であるモータ 80 は、二組の 3 相巻線組 801、802 が同軸に設けられた二重巻線式 3 相ブラシレスモータである。巻線組 801、802 は、抵抗やインダクタンス等の電気的特性が同等であり、共通のステータに互いに電気角 30° ずらして配置されている。これに応じて、巻線組 801、802 には、振幅が等しく位相差が 30° の相電流が通電されるように制御される。

【0026】

回転角センサ 251、252 が冗長的に設けられる場合、第 1 回転角センサ 251 及び第 2 回転角センサ 252 は、各系統の基準相（例えば U 相）電流の電気角を個別に検出可能である。或いは、一つの回転角センサが検出した一方の系統の基準相電流の電気角に基づき、他方の系統の基準相電流の電気角を（ $\pm 30^\circ$ ）として算出してもよい。本実施形態では、第 1 系統の基準相電流の電気角を θ とし、第 2 系統の基準相電流の電気角を（ $\theta + 30^\circ$ ）として扱う。

【0027】

次に図 5 を参照し、ECU10 の制御構成について説明する。ECU10 は、冗長二系統構成の駆動回路 601、602、電流センサ 701、702、制御部 401、402、及び、二系統共通に設けられた電流センサ故障診断部 50 を備える。ここで、互いに対応する巻線組、駆動回路、電流センサ及び制御部を含む一群の構成要素の単位を「系統」と定義する。各制御部 401、402 の視点から、その制御部が含まれる系統を「自系統」といい、他方の制御部が含まれる系統を「他系統」という。

【0028】

原則として、第 1 系統の構成要素の符号や電流等の記号の末尾に「1」を付し、第 2 系統の構成要素の符号や電流等の記号の末尾に「2」を付して記す。また、電流センサについては、第 1 系統の各相電流センサ 7U1、7V1、7W1 を包括して「701」の符号で表し、第 2 系統の各相電流センサ 7U2、7V2、7W2 を包括して「702」の符号で表す。

【0029】

図 5 には、二系統の全相電流センサ 701、702 の正常時における制御構成を示す。以下、本実施形態において電流センサ 701、702 以外の要素は正常であることを前提とし、電流センサ 701、702 にのみ故障の可能性を想定する。二系統の全相の電流センサ 701、702 が正常であるときを、単に「正常時」という。電流センサ故障診断部 50 は、二系統各相の電流センサの故障を診断する。なお、電流センサ故障診断部は、各系統の制御部 401、402 内に系統毎に設けられてもよい。また、故障診断の具体的な方法は周知技術を適宜組み合わせればよく、本明細書では特に言及しない。

【0030】

第 1 系統駆動回路 601 は、第 1 系統制御部 401 から指令された駆動信号に従って、対応する第 1 巻線組 801 に電力供給する。電流センサ 701（すなわち 7U1、7V1、7W1）は、第 1 系統駆動回路 601 から第 1 巻線組 801 に通電される各相電流を検出する。第 1 系統制御部 401 は第 1 系統駆動回路 601 に対応して設けられ、電流フィードバック制御により、第 1 系統駆動回路 601 に指令する駆動信号を演算する。

【0031】

第 2 系統駆動回路 602 は、第 2 系統制御部 402 から指令された駆動信号に従って、対応する第 2 巻線組 802 に電力供給する。電流センサ 702（すなわち 7U2、7V2、7W2）は、第 2 系統駆動回路 602 から第 2 巻線組 802 に通電される各相電流を検出する。第 2 系統制御部 402 は第 2 系統駆動回路 602 に対応して設けられ、電流フィードバック制御により、第 2 系統駆動回路 602 に指令する駆動信号を演算する。

【0032】

10

20

30

40

50

各系統の構成は実質的に同一であるため、以下、代表として第1系統の構成について説明する。駆動回路601は、3相上下アームのMOSFET等のスイッチング素子で構成される3相インバータ、及びそのドライバ回路に相当する。本実施形態では、二系統の駆動回路601、602は、対応する巻線組801、802に電気角位相差 30° の相電流を通電する。

【0033】

電流センサ701は、例えば各相の電流経路に設けられたシャント抵抗との接続点の端子電圧を換算して電流を検出する。図5には便宜上、駆動回路601から巻線組801へのモータ線上に電流センサ701を記載しているが、電流センサ701は、インバータの下アーム素子と低電位線との間や、上アーム素子と高電位線との間に設けられてもよい。

10

【0034】

制御部401は、図示しないCPU、ROM、RAM、I/O、及び、これらの構成を接続するバスライン等を備え、ROM等の実体的なメモリ装置（すなわち、読み出し可能非一時的有形記録媒体）に予め記憶されたプログラムをCPUで実行することによるソフトウェア処理や、専用の電子回路によるハードウェア処理による制御を実行する。具体的に制御部401は、回転座標系のdq軸を用いた電流フィードバック（図中「FB」）制御により3相モータ80を駆動制御するものであり、電流フィードバック制御部431、弱め界磁制御部441、2相3相変換部451、及び、3相2相変換部461を含む。

【0035】

電流フィードバック制御部431には、図示しないアシスト制御演算部が演算したアシスト指令に基づいて演算されたdq軸電流指令値 I_d1^* 、 I_q1^* が入力される。電流フィードバック制御部431は、3相2相変換部461から取得したdq軸実電流 I_d1 、 I_q1 をdq軸電流指令値 I_d1^* 、 I_q1^* に対してフィードバック制御し、dq軸電圧指令値 V_d1^* 、 V_q1^* を演算する。弱め界磁制御部441は、dq軸電圧指令値 V_d1^* 、 V_q1^* に基づき、弱め界磁を行う場合、d軸電流指令値 I_d1^* が負側に大きくなるように操作する。

20

【0036】

2相3相変換部451は、第1系統回転角センサ251から取得した電気角 θ を用いてdq軸電圧指令値 V_d1^* 、 V_q1^* を3相電圧指令値 V_u1^* 、 V_v1^* 、 V_w1^* に座標変換し、第1系統駆動回路601に出力する。なお、PWM等の変調部の図示を省略する。3相2相変換部461は、電流センサ701が検出した3相電流 I_u1 、 I_v1 、 I_w1 を、電気角 θ を用いてdq軸実電流 I_d1 、 I_q1 に座標変換し、電流フィードバック制御部431にフィードバックする。

30

【0037】

同様に第2系統制御部402は、電流フィードバック制御部432、弱め界磁制御部442、2相3相変換部452、3相2相変換部462を含む。第2系統制御部402は、第2系統回転角センサ252から取得された電気角 $(\theta + 30^\circ)$ を座標変換用の電気角として用いる。ここで、巻線組801、802に流れる相電流は第1系統と第2系統とで位相が電気角 30° ずれているが、座標変換後のdq軸実電流 I_d1 、 I_q1 と I_d2 、 I_q2 とは、両系統の電気的特性が等しければ理想的に同じ値となる。

40

【0038】

正常時、第1系統制御部401は、自系統の電流センサ701の検出値を座標変換して算出したdq軸実電流 I_d1 、 I_q1 に基づき電流フィードバック制御を行う。また、第2系統制御部402は、自系統の電流センサ702の検出値を座標変換して算出したdq軸実電流 I_d2 、 I_q2 に基づき電流フィードバック制御を行う。各系統の制御部401、402におけるこの動作を「通常の電流フィードバック制御」という。一方、各系統の制御部401、402は、電流センサ故障診断部50により自系統の1相以上の電流センサが故障と判定されたとき、後述する特有の電流フィードバック制御を行う。

【0039】

次に図6～図8を参照し、いずれか一系統の1相、2相、もしくは3相の電流センサの

50

故障時における ECU10 の制御構成について説明する。電流センサ 701 の故障は通常動作開始前のイニシャルチェックで検出される場合もあり、通常動作中に検出される場合もある。以下、第 2 系統の電流センサ 702 は正常であり、第 1 系統において 1 相以上の電流センサ 701 が故障するものとして説明する。

【0040】

図中、故障した電流センサに×印を付し、故障した電流センサから第 1 系統制御部 401 へのセンサ信号線を消去する。故障発生頻度の観点からは 1 相故障の場合が最も多く、2 相や 3 相の同時故障が発生する頻度は低いと考えられる。ただし、説明の都合上、最もわかりやすい 3 相同時故障の場合を先に説明してから、2 相同時故障及び 1 相故障の場合について説明する。

10

【0041】

また、一般に電圧値を出力する電流センサの故障モードには、大きく、固着故障と特性異常とがある。固着故障は、電流センサが実際の電流値にかかわらず一定値を出力する故障であり、ゼロ（例えば 0 [V]）固着、最大値（例えば 5 [V]）固着、中間値固着が含まれる。特性異常は、センサ出力特性におけるゲイン誤差やオフセット誤差が許容範囲を超える故障である。固着故障では実際の電流値情報が全く反映されないのに対し、特性異常では精度が低いながらも実際の電流値情報がある程度反映される。これらの故障モードに応じた制御の切り替えについて図 10 を参照して後述する。図 6 ~ 図 8 の説明では、主に固着故障の場合を想定する。

【0042】

20

図 6 に、第 1 系統の 3 相の電流センサ 7U1、7V1、7W1 の同時故障時における ECU10 の制御構成を示す。なお、U 相及び V 相の電流センサ 7U1、7V1 の×印を破線で示し、センサ信号線を破線で示したことは後述部分の説明に関する。まず、3 相同時故障時の説明では、U 相及び V 相の破線のセンサ信号線は無視する。電流センサ故障診断部 50 への、第 1 系統電流センサ 701 からの実線矢印は故障情報があることを示し、第 2 系統電流センサ 702 からの破線矢印は故障情報が無いことを示す。正常な第 2 系統制御部 402 では、図 5 と同様に dq 軸電流 I_d2 、 I_q2 が電流フィードバック制御部 432 にフィードバックされ、「通常の電流フィードバック制御」が行われる。

【0043】

この場合、第 1 系統制御部 401 において 3 相 2 相変換部 461 に相電流情報が入力されず、dq 軸電流 I_d1 、 I_q1 が演算されない。そこで第 1 系統制御部 401 は、他系統である第 2 系統制御部 402 が算出した第 2 系統の dq 軸電流 I_d2 、 I_q2 を自系統の dq 軸電流指令値 I_d1^* 、 I_q1^* に対してフィードバック制御する。つまり、第 2 系統の dq 軸電流 I_d2 、 I_q2 が両系統の電流フィードバック制御部 431、432 に入力される。この動作を「代理電流フィードバック制御」という。

30

【0044】

従来の冗長二系統構成のモータ駆動装置では、一系統の電流センサが故障して電流フィードバック制御が不能となった場合、故障系統を停止させて正常系統のみでモータ 80 を駆動する。しかし、この場合、二系統分のモータ出力トルクが一系統分に低下する。電動パワーステアリング装置 90 においてはアシスト出力が低下し、ドライバビリティを低下させるおそれがある。

40

【0045】

この課題に対し本実施形態の ECU10 は、故障系統の制御部 401 が代理電流フィードバック制御を行うことで、二系統でのモータ駆動を継続し、モータ出力トルクの低下を防ぐことができる。特に電動パワーステアリング装置 90 における操舵アシストモータ 80 の駆動では、正常系統の dq 軸実電流を用いて故障系統もアシスト継続させることで、アシスト出力の低下を防ぐことができる。よって、ドライバの利便性が向上する。

【0046】

ところで、代理電流フィードバック制御での動作中に第 1 系統駆動回路 601 や第 1 巻線組 801 に過電流系の故障が発生した場合、異常検出する手段が無くなるということが

50

懸念される。そのため、過電流系の故障に対しては電流センサ701を用いず、電源電流の過大を検出する等の別の異常検出手段を確保しておくことが好ましい。

【0047】

また、本実施形態では、電流センサ701が故障した第1系統においても制御部401の演算機能は正常であるため、他系統からd q軸実電流 I_{d2} 、 I_{q2} の情報さえ取得すれば、電流フィードバック制御部431は自系統のd q軸電圧指令値 V_{d1}^* 、 V_{q1}^* を通常通り演算可能である。その点で本実施形態は、他系統の制御部402が演算した駆動信号を用いて自系統の駆動回路601を動作させる技術とは異なる。

【0048】

さらに本実施形態では、他系統から取得する実電流は3相電流検出値そのものでなく、座標変換後のd q軸実電流である。二系統の電気角には 30° の位相差があるため、仮に他系統の3相電流検出値を自系統に用いる場合、補正演算が必要となる。それに対し本実施形態では、他系統のd q軸実電流をそのまま用いることができるため、演算が簡単になる。

【0049】

続いて、第1系統の2相もしくは1相の電流センサ701の故障時におけるECU10の制御構成についてまとめて説明する。一つの選択肢としては、図6にU相、V相の電流センサ7U1、7V1の×印を破線で示し、且つ、センサ信号線を破線で示したように、第1系統制御部401は、自系統の2相もしくは1相の電流センサの故障時にも3相故障時に準じて代理電流フィードバック制御を実施してもよい。

【0050】

ただし、可能な限り自系統の電流値情報を使うという観点から、図7、図8に示すように、第1系統制御部401は、正常相の電流センサの検出値から故障相の電流を推定してもよい。そして、第1系統制御部401は、正常相の電流センサの検出値と故障相の電流推定値とを座標変換してd q軸推定実電流 I_{d1_est} 、 I_{q1_est} を算出し、自系統のd q軸推定実電流 I_{d1_est} 、 I_{q1_est} に基づく電流フィードバック制御を行う。この動作を「自助電流フィードバック制御」という。

【0051】

図7に、第1系統のV相及びW相の電流センサ7V1、7W1の2相同時故障時におけるECU10の制御構成を示す。第1系統制御部401は、3相2相変換部461の入力側に電流推定部471を有する。電流推定部471は、正常相であるU相の電流センサ7U1の検出値 I_{u1} から故障相であるV相、W相の電流 I_{v1_est} 、 I_{w1_est} を推定する。

【0052】

1相の電流検出値から他の2相の電流を推定する技術は、[文献1]特開2004-159391号公報、[文献2]特開2008-86139号公報、[文献3]特開2013-172591号公報等が開示されている。例えば文献1の技術では、センサ相の電流検出値と、d q軸電流指令値から得られる指令電流位相角及び基準電気角とに基づき、電流振幅 I_a を算出する。そして、センサ相の相電流を電気角 $\pm 120^\circ$ ずらすことで、他の2相の電流を推定する。図7には一例として、d q軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* 及び電気角が電流推定部471に入力される構成を破線で示すが、それ以外のパラメータを用いて推定が行われてもよい。

【0053】

3相2相変換部461は、正常相の電流センサ7U1の検出値 I_{u1} と故障相の電流推定値 I_{v1_est} 、 I_{w1_est} とを座標変換してd q軸推定電流 I_{d1_est} 、 I_{q1_est} を算出する。電流フィードバック制御部431は、d q軸推定電流 I_{d1_est} 、 I_{q1_est} に基づく自助電流フィードバック制御を行う。

【0054】

図8に、第1系統のW相の電流センサ7W1の1相故障時におけるECU10の制御構成を示す。第1系統制御部401は、3相2相変換部461の入力側に電流推定部481

10

20

30

40

50

を有する。電流推定部 481 は、正常相である U 相、V 相の電流センサ 7U1、7V1 の検出値 I_{u1} 、 I_{v1} から、キルヒホッフの法則により、故障相である W 相の電流 I_{w1_est} を推定する。キルヒホッフの法則は基本的な技術常識であるため、説明を省略する。

【0055】

3 相 2 相変換部 461 は、正常相の電流センサ 7U1、7V1 の検出値 I_{u1} 、 I_{v1} と故障相の電流推定値 I_{w1_est} とを座標変換して d q 軸推定電流 I_{d1_est} 、 I_{q1_est} を算出する。電流フィードバック制御部 431 は、d q 軸推定電流 I_{d1_est} 、 I_{q1_est} に基づく自助電流フィードバック制御を行う。

【0056】

このように第 1 系統制御部 401 が電流推定部 471、481 を有する構成では、2 相もしくは 1 相の電流センサ故障時に故障相の電流を推定することで、自系統の電流情報に基づく駆動信号を演算し、自系統の駆動回路 601 によるモータ駆動を継続可能である。したがって、特に系統間の電気的特性のばらつきが大きい場合、代理電流フィードバック制御よりも精度が向上する。また、動作中の過電流系故障に対し電流センサ 701 を用いて異常検出できるため、他の異常検出手段を設ける必要がない。

【0057】

ただし、特に 1 相の電流検出値から他の 2 相の電流推定値を演算する電流推定部 471 を有する構成では演算負荷が増加するため、制御部 401 の処理能力等によっては推定が困難な場合もある。そこで、制御部 401 が故障相の電流を推定可能かどうかに応じて、代理電流フィードバック制御と自助電流フィードバック制御とを選択するようにしてもよい。なお、図 7、図 8 では第 2 系統の電流センサ 702 が正常であることを前提として図示を省略しているが、実際には、第 2 系統制御部 402 側にも同様の電流推定部が必要となる。

【0058】

図 9 のフローチャートに、電流センサが故障と判定された相の数に応じて自系統の制御部が電流フィードバック制御を切り替える処理について整理する。フローチャート中の記号「S」はステップを意味する。他系統の全相の電流センサ、並びに、自系統及び他系統における電流センサ以外の要素は全て正常であることを前提とする。なお、故障系統や故障相を特定せずに一般化して表す意図から、フローチャートの説明中、制御部等の符号や電流等の記号を記載しない。

【0059】

自系統の 3 相の電流センサが故障したとき、S11 で YES と判断される。自系統の 2 相もしくは 1 相の電流センサが故障したとき、S11 で NO、S12 で YES と判断され、S13 にて、正常相の電流センサの検出値から故障相の電流を推定可能であるか判断される。S11 で YES、又は、S13 で NO のとき（すなわち、故障相の電流を推定不能なとき）、S16 で制御部は、代理電流フィードバック制御を行う。

【0060】

S13 で YES のとき（すなわち、故障相の電流を推定可能なとき）、S14 で制御部は、正常相の電流センサの検出値と故障相の電流推定値とを座標変換して d q 軸推定電流を算出する。そして制御部は、S17 で自系統の d q 軸推定電流に基づく自助電流フィードバック制御を行う。S12 で NO のとき、全相の電流センサが正常であり、S18 で制御部は、通常の電流フィードバック制御を行う。

【0061】

上述のように、図 6 ~ 図 8 の説明では電流センサの故障モードが主に固着故障であると想定したが、電流センサ故障診断部 50 は電流センサの故障モードを判別可能であってもよい。図 10 のフローチャートに、電流センサ故障診断部 50 により判別された電流センサの故障モードに応じて制御部が電流フィードバック制御を切り替える処理を示す。

【0062】

S21 では、自系統の 1 相以上の電流センサの故障モードが固着故障であるか判断され

10

20

30

40

50

る。S 2 1でN Oの場合、すなわち、自系統の全相の電流センサが固着故障でない場合、S 2 2では、センサ出力特性のゲイン誤差及びオフセット誤差が所定範囲内であるか判断される。この所定範囲は正常時の誤差の許容範囲より大きくてもよい。つまり、故障発生時のバックアップ制御において、ある程度の操舵フィーリング悪化を許容する観点から、格別に大きなゲイン誤差やオフセット誤差でない限り所定範囲に含めてもよい。

【 0 0 6 3 】

S 2 1でY E S、又は、S 2 2でN O、すなわち、ゲイン誤差又はオフセット誤差が所定範囲を超える場合、S 2 3で制御部は、代理電流フィードバック制御を行う。S 2 2でN Oの場合、S 2 4で制御部は、自系統のd q軸電流に基づく通常の電流フィードバック制御を行う。

10

【 0 0 6 4 】

このようにすることで、代理電流フィードバック制御を行う場合を最小限とし、通常の電流フィードバック制御を行う機会を拡げる。したがって、自助電流フィードバック制御と同様に、系統間の電気的特性のばらつきが大きい場合の精度確保や、動作中の過電流系故障の異常検出の点で有利となる。ただし、各系統の制御部は、電流センサの故障モードにかかわらず、自系統の電流センサが故障と判定されたとき、常に代理電流フィードバック制御を実施してもよい。

【 0 0 6 5 】

(その他の実施形態)

(a)本発明は、二系統に限らず、三系統以上のモータ制御装置にも適用可能である。例えば第1、第2、第3系統からなる三系統のうち第1系統の1相以上の電流センサが故障と判定されたとき、第1系統の制御部は、正常な第2系統又は第3系統のd q軸実電流を用いて代理電流フィードバック制御を行う。この場合、第2系統又は第3系統のいずれのd q軸実電流を用いるかについて予め決められていてもよいし、都度、電流値等に応じて選択されてもよい。或いは、第2、第3系統のd q軸実電流の平均値を用いてもよい。これにより、三系統でのモータ駆動による出力トルクが約3分の2に低下することを防ぐことができる。

20

【 0 0 6 6 】

三系統以上のモータ制御装置を含めるように上記実施形態の作用効果を一般化すると、「二系統のうち一系統の故障」を「複数系統のうち一部の系統」に読み替えて解釈すればよい。

30

【 0 0 6 7 】

(b)本発明の制御対象であるモータ8 0において、二組の巻線組8 0 1、8 0 2の位相差は電気角3 0 °以外の「所定の位相差」に設定されてもよい。その場合、二系統の駆動回路6 0 1、6 0 2は、対応する巻線組8 0 1、8 0 2に所定の位相差の相電流を通電する。その場合でも座標変換後のd q軸実電流は、通電位相差に関係なく、補正演算なしでそのまま用いることができる。また、二組の巻線組8 0 1、8 0 2は同位相、すなわち位相差0 °で配置されてもよい。

【 0 0 6 8 】

(c)多相モータの相の数は3相に限らず4相以上でもよい。4相以上の構成でも1相のみの故障の場合、キルヒホッフの法則により故障相の電流を推定可能である。2相以上の故障時に故障相の推定が難しい場合は、代理電流フィードバック制御が有効である。

40

【 0 0 6 9 】

(d)本発明のモータ制御装置は、E P Sの操舵アシストモータに限らず、冗長構成のモータであれば、車両に搭載される他の用途のモータや車両以外のシステムのモータにも適用可能である。冗長構成では一部系統の故障時に他系統により制御を継続するという点で基本的なフェールセーフが担保されているが、さらに電流センサ故障時におけるモータ出力低下の防止が求められる用途では、本発明は有効である。

【 0 0 7 0 】

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、その趣旨を逸脱しない

50

範囲において、種々の形態で実施することができる。

【0071】

本開示に記載の制御部及びその手法は、コンピュータプログラムにより具体化された一つ乃至は複数の機能を実行するようにプログラムされたプロセッサ及びメモリを構成することによって提供された専用コンピュータにより、実現されてもよい。あるいは、本開示に記載の制御部及びその手法は、一つ以上の専用ハードウェア論理回路によってプロセッサを構成することによって提供された専用コンピュータにより、実現されてもよい。もしくは、本開示に記載の制御部及びその手法は、一つ乃至は複数の機能を実行するようにプログラムされたプロセッサ及びメモリと一つ以上のハードウェア論理回路によって構成されたプロセッサとの組み合わせにより構成された一つ以上の専用コンピュータにより、実現されてもよい。また、コンピュータプログラムは、コンピュータにより実行されるインストラクションとして、コンピュータ読み取り可能な非遷移有形記録媒体に記憶されていてもよい。

10

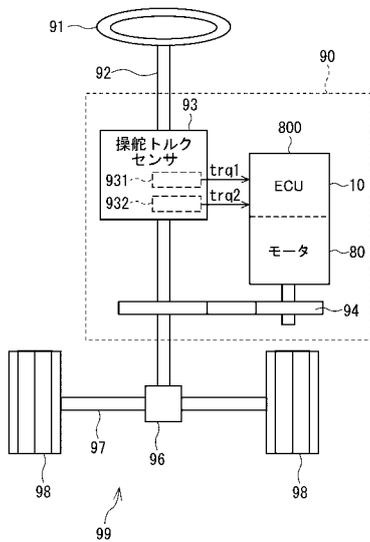
【符号の説明】

【0072】

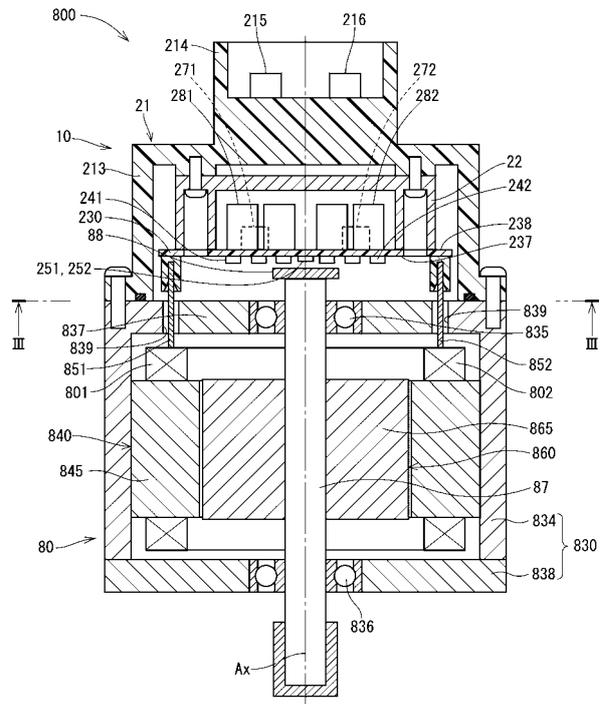
- 10・・・ECU（モータ制御装置）、
- 401、402・・・制御部、
- 50・・・電流センサ故障診断部、
- 601、602・・・駆動回路、
- 701、702・・・電流センサ、
- 80・・・モータ、 801、802・・・巻線組（多相巻線組）。

20

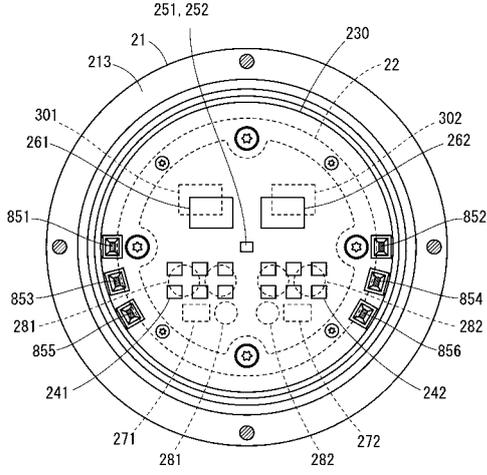
【図1】



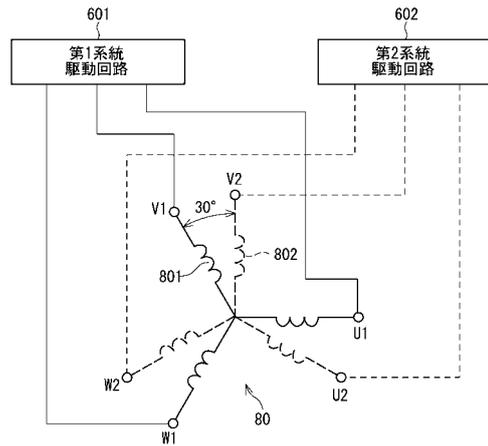
【図2】



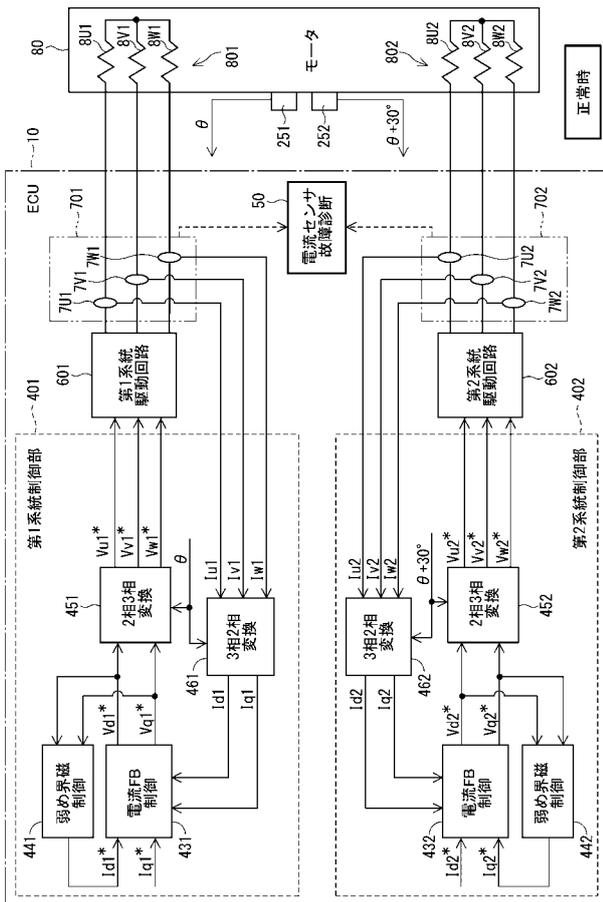
【図3】



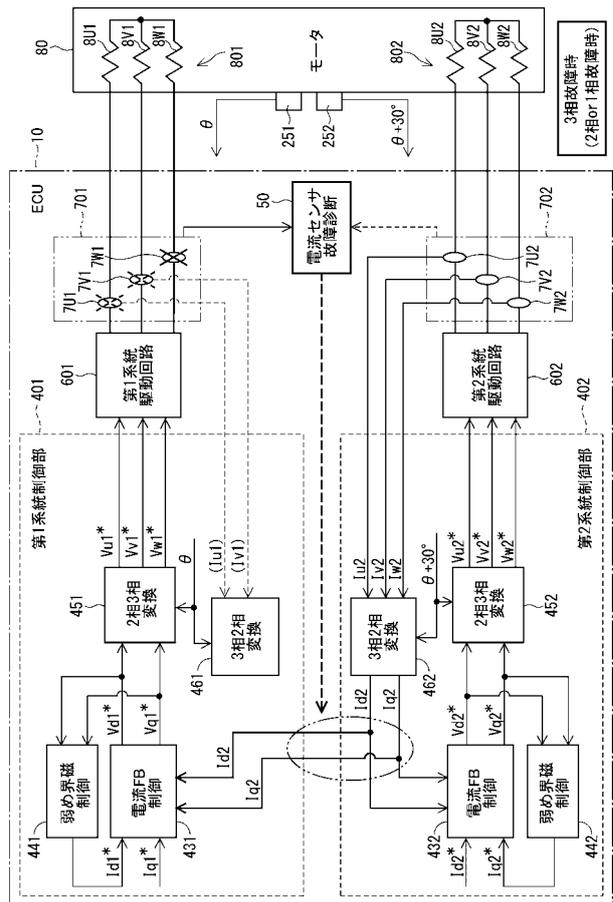
【図4】



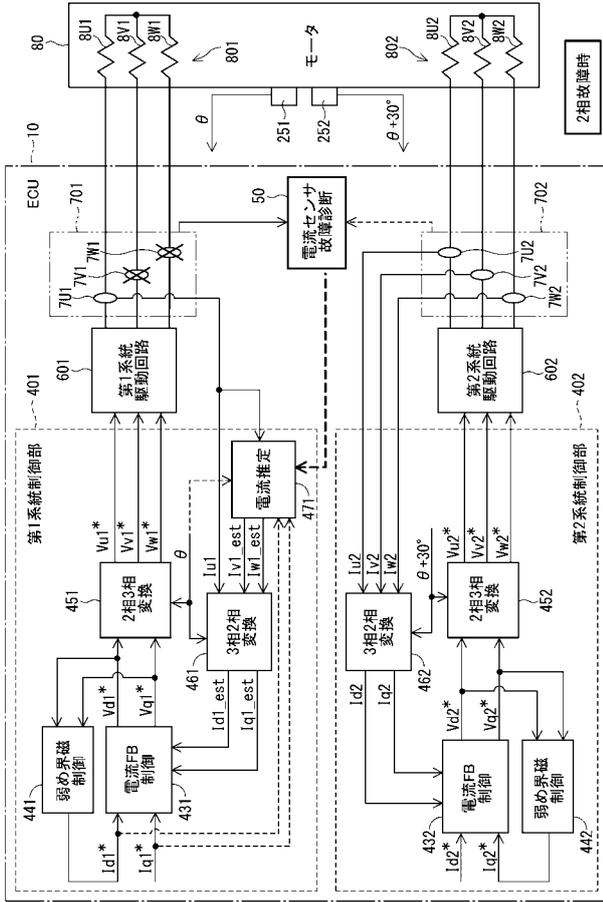
【図5】



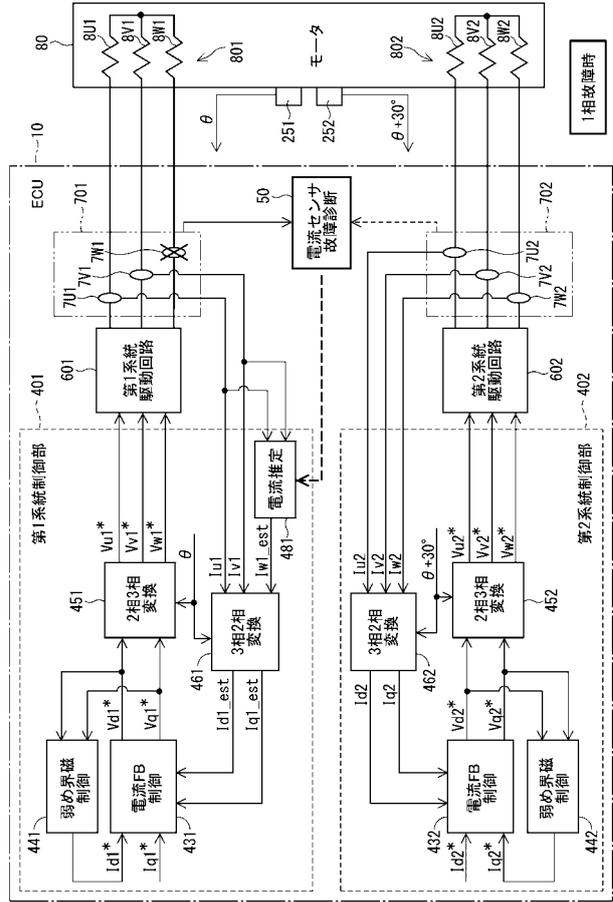
【図6】



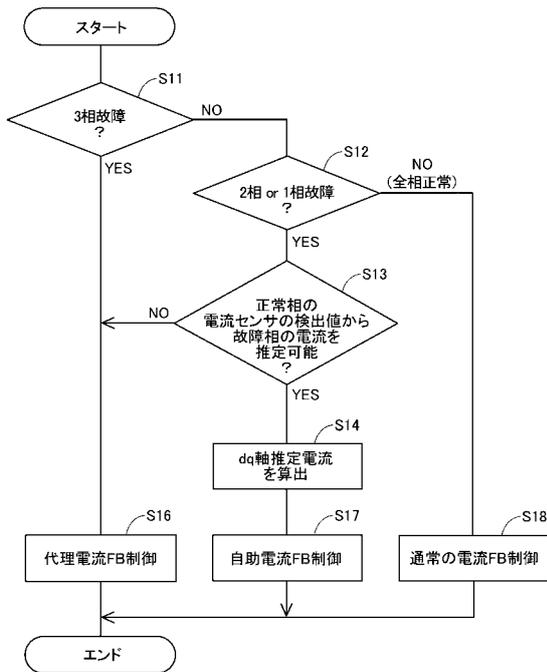
【図7】



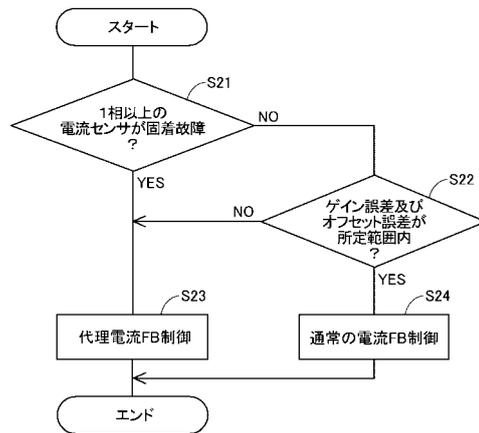
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H505 AA16 BB06 DD03 DD08 EE08 EE41 GG04 HA09 HB01 HB05
JJ03 JJ04 JJ17 JJ26 JJ28 KK06 LL22 LL41 LL57 MM02
MM13 MM17