

(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2020-184855

(P2020-184855A)

(43) 公開日 令和2年11月12日(2020.11.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02P 25/22 (2006.01)	H02P 25/22	3D232
B62D 5/04 (2006.01)	B62D 5/04	3D333
B62D 6/00 (2006.01)	B62D 6/00	5H505
H02P 27/08 (2006.01)	H02P 27/08	
H02P 21/06 (2016.01)	H02P 21/06	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2019-88832 (P2019-88832)
 (22) 出願日 令和1年5月9日 (2019.5.9)

(71) 出願人 000004260
 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 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 中島 信頼
 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 岡 篤子
 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

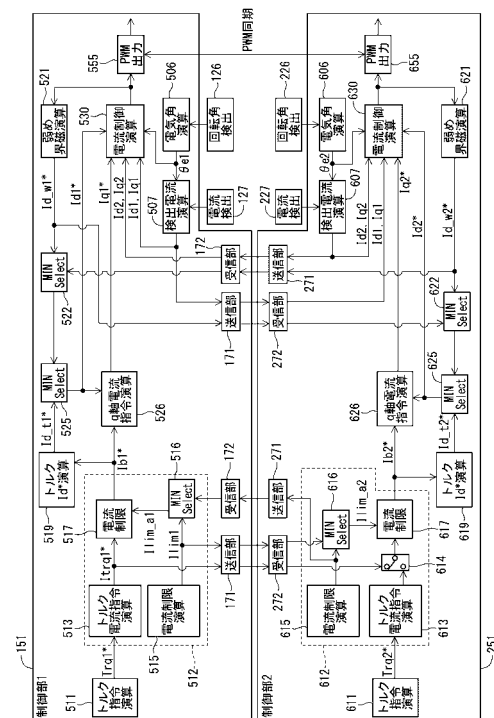
(54) 【発明の名称】 回転電機制御装置

(57) 【要約】

【課題】複数系統にて回転電機の駆動を適切に制御可能な回転電機制御装置を提供する。

【解決手段】 ECU10は、モータ巻線180、280を有するモータ80の駆動を制御するものであって、相互に通信可能な複数の制御部151、251を備える。制御部151、251は、基本指令演算部512、612、弱め界磁演算部521、621、ならびに、電流制御演算部530、630およびPWM出力部555、655を有する。電流制御演算部530、630およびPWM出力部555、655は、基本電流指令値 I_{b1}^* 、 I_{b2}^* と弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ とに基づいて演算されるd軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* およびq軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* に基づいてPWM信号を生成する。PWM信号の生成に用いられる指令値の少なくとも一部が、複数の制御部151、251にて共有される。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

モータ巻線（１８０、２８０）を有する回転電機（８０）の駆動を制御する回転電機制御装置であって、

トルク指令値に基づいて基本電流指令値を演算する基本指令演算部（５１２、５６０、６１２、６６０、６６１）、弱め界磁電流指令値を演算する弱め界磁演算部（５２１、６２１）、ならびに、前記基本電流指令値と前記弱め界磁電流指令値とに基づいて演算されるｄ軸電流指令値およびｑ軸電流指令値に基づいて駆動信号を生成する信号生成部（５３０、５５５、６３０、６５５）を有し、相互に通信可能である複数の制御部（１５１～１５４、２５１～２５４）を備え、

10

前記駆動信号の生成に用いられる指令値の少なくとも一部が、複数の前記制御部にて共有される回転電機制御装置。

【請求項 2】

前記制御部は、前記基本電流指令値に基づいて演算されるトルクｄ軸電流指令値、および、前記弱め界磁電流指令値に基づき、前記ｄ軸電流指令値を演算するｄ軸電流指令演算部（５２５、６２５）を有し、

前記ｄ軸電流指令演算部は、前記トルクｄ軸電流指令値、または、前記弱め界磁電流指令値の小さい方を、前記ｄ軸電流指令値として選択する請求項１に記載の回転電機制御装置。

20

【請求項 3】

それぞれの前記制御部で演算された前記弱め界磁電流指令値は、前記指令値として複数の前記制御部にて共有され、

前記制御部は、共有された前記弱め界磁電流指令値に基づいて調停後弱め界磁ｄ軸電流指令値を演算する弱め界磁ｄ軸電流指令調停部（５２２、６２２）を有し、

前記ｄ軸電流指令演算部は、前記調停後弱め界磁電流指令値を、前記弱め界磁電流指令値として用いる請求項２に記載の回転電機制御装置。

【請求項 4】

前記制御部のうちの１つをマスター制御部、前記マスター制御部以外の前記制御部をスレーブ制御部とすると、

前記マスター制御部は、前記トルク指令値に応じたトルク電流指令値であるマスタートルク電流指令値を、前記指令値として前記スレーブ制御部に送信し、

30

前記スレーブ制御部は、

前記マスタートルク電流指令値が正常であると判断した場合、前記マスタートルク電流指令値に基づいて前記基本電流指令値を演算し、

前記マスタートルク電流指令値が信頼できないと判断した場合、自身で演算した前記トルク電流指令値に基づいて前記基本電流指令値を演算する請求項１～３のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 5】

前記制御部のうちの１つをマスター制御部、前記マスター制御部以外の前記制御部をスレーブ制御部とすると、

40

前記マスター制御部は、当該マスター制御部にて演算された前記ｄ軸電流指令値および前記ｑ軸電流指令値を前記指令値として、前記スレーブ制御部に送信し、

前記スレーブ制御部は、

前記マスター制御部から送信された前記ｄ軸電流指令値であるマスターｄ軸電流指令値、および、前記マスター制御部から送信された前記ｑ軸電流指令値であるマスターｑ軸電流指令値が正常であると判断した場合、前記マスターｄ軸電流指令値および前記ｑ軸電流指令値を用いて前記駆動信号を生成し、

前記マスターｄ軸電流指令値および前記マスターｑ軸電流指令値が信頼できないと判断した場合、自身で演算した前記ｄ軸電流指令値および前記ｑ軸電流指令値を用いて前記駆動信号を生成する請求項１または２に記載の回転電機制御装置。

50

【請求項 6】

前記モータ巻線は、複数であって、

前記弱め界磁演算部は、複数の前記モータ巻線の q 軸電流の和である q 軸電流和に基づいて弱め界磁 d 軸電流制限値を演算し、制限前弱め界磁 d 軸電流指令値の絶対値が前記弱め界磁 d 軸電流制限値の絶対値以上である場合、前記弱め界磁電流指令値を前記弱め界磁 d 軸電流制限値に制限する請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 7】

前記弱め界磁演算部は、前記基本電流指令値に応じ、前記弱め界磁 d 軸電流制限値の演算を切り替える請求項 6 に記載の回転電機制御装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、回転電機の駆動を制御する回転電機制御装置が知られている。例えば特許文献 1 では、1 つのマスター制御部にて演算される指令値を、スレーブ制御部に送信することで、2 系統を協調動作させる。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0003】

【特許文献 1】特開 2018 - 130007 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 では、d 軸に係る電流フィードバック制御を q 軸と同様にしている。ところで例えば回転電機が I P M (Interior Permanent Magnet) モータの場合、d 軸インダクタンスと q 軸インダクタンスとの差により発生するリラクタンストルクの影響を考慮した d 軸電流制御が必要となる。本発明は、上述の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、複数系統にて回転電機の駆動を適切に制御可能な回転電機制御装置を提供すること

30

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の回転電機制御装置は、モータ巻線 (180、280) を有する回転電機 (80) の駆動を制御するものであって、相互に通信可能である複数の制御部 (151 ~ 154、251 ~ 254) を備える。制御部は、基本指令演算部 (512、560、612、660、661)、弱め界磁演算部 (521、621)、および、信号生成部 (530、555、630、655) を有する。

【0006】

基本指令演算部は、トルク指令値に基づいて基本電流指令値を演算する。弱め界磁演算部は、弱め界磁電流指令値を演算する。信号生成部は、基本電流指令値と弱め界磁電流指令値とに基づいて演算される d 軸電流指令値および q 軸電流指令値に基づいて駆動信号を生成する。駆動信号の生成に用いられる指令値の少なくとも一部は、複数の制御部にて共有される。これにより、指令値を共有しない独立制御と比較し、系統間誤差を低減することができ、d 軸電流を考慮しつつ、回転電機の駆動を適切に制御することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図 1】第 1 実施形態によるステアリングシステムの概略構成図である。

【図 2】第 1 実施形態による駆動装置の断面図である。

【図 3】図 2 の I I I - I I I 線断面図である。

50

【図４】第１実施形態によるＥＣＵを示すブロック図である。

【図５】第１実施形態による第１制御部を説明するブロック図である。

【図６】第１実施形態による第１制御部および第２制御部を説明するブロック図である。

【図７】第１実施形態による制限値制御マップを説明する説明図である。

【図８】第１実施形態による電流指令演算処理を説明するフローチャートである。

【図９】第１実施形態による弱め界磁ｄ軸電流指令演算処理を説明するフローチャートである。

【図１０】第２実施形態による第１制御部および第２制御部を説明するブロック図である。

【図１１】第２実施形態による電流指令演算処理を説明するフローチャートである。

10

【図１２】第３実施形態による第１制御部および第２制御部を説明するブロック図である。

【図１３】第３実施形態による電流指令演算処理を説明するフローチャートである。

【図１４】第４実施形態による第１制御部および第２制御部を説明するブロック図である。

【図１５】第４実施形態による電流指令演算処理を説明するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【０００８】

（第１実施形態）

以下、本発明による回転電機制御装置を図面に基づいて説明する。以下、複数の実施形態において、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。第１実施形態を図１～図９に示す。図１に示すように、回転電機制御装置としてのＥＣＵ１０は、回転電機としてのモータ８０とともに、例えば車両のステアリング操作を補助するための電動パワーステアリング装置８に適用される。

20

【０００９】

図１は、電動パワーステアリング装置８を備えるステアリングシステム９０の全体構成を示すものである。ステアリングシステム９０は、操舵部材であるステアリングホイール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、および、電動パワーステアリング装置８等を備える。

【００１０】

30

ステアリングホイール９１は、ステアリングシャフト９２と接続される。ステアリングシャフト９２には、操舵トルクを検出するトルクセンサ９４が設けられる。トルクセンサ９４は、第１トルク検出部１９４および第２トルク検出部２９４を有しており、各々自身の故障検出ができるセンサが二重化されている。ステアリングシャフト９２の先端には、ピニオンギア９６が設けられる。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が連結される。

【００１１】

運転者がステアリングホイール９１を回転させると、ステアリングホイール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によってラック軸９７の直線運動に変換される。一対の車輪９８は、ラック軸９７の変位量に応じた角度に操舵される。

40

【００１２】

電動パワーステアリング装置８は、モータ８０、モータ８０の回転を減速してステアリングシャフト９２に伝える動力伝達部としての減速ギア８９、および、ＥＣＵ１０等を備える。すなわち、本実施形態の電動パワーステアリング装置８は、所謂「コラムアシストタイプ」であるが、モータ８０の回転をラック軸９７に伝える所謂「ラックアシストタイプ」等としてもよい。本実施形態では、ステアリングシャフト９２が「駆動対象」に対応する。

【００１３】

図２および図３に示すように、モータ８０は、操舵に要するトルクの一部または全部を

50

出力するものであって、電源としてのバッテリー 191、291（図 4 参照）から電力が供給されることにより駆動され、減速ギア 89 を正逆回転させる。モータ 80 は、3 相ブラシレスモータであって、ロータ 860 およびステータ 840 を有する。

【0014】

モータ 80 は、第 1 モータ巻線 180 および第 2 モータ巻線 280 を有する。モータ巻線 180、280 は電気的特性が同等であり、共通のステータ 840 に、互いに電気角 30 [deg] ずらしてキャンセル巻きされる。これに応じて、モータ巻線 180、280 には、位相が 30 [deg] ずれた相電流が通電されるように制御される。通電位相差を最適化することで、出力トルクが向上する。また、6 次のトルクリプルを低減することができ、騒音、振動の低減することができる。また、電流も分散されることで発熱が分散、平準化されるため、各センサの検出値やトルク等、温度依存の系統間誤差を低減可能であるとともに、通電可能な電流量を増やすことができる。モータ巻線 180、280 の電気的特性は異なってもよい。

10

【0015】

以下、第 1 モータ巻線 180 の通電制御に係る第 1 インバータ回路 120 および第 1 制御部 151 等の組み合わせを第 1 系統 L1、第 2 モータ巻線 280 の通電制御に係る第 2 インバータ回路 220 および第 2 制御部 251 等の組み合わせを第 2 系統 L2 とする。また、第 1 系統 L1 に係る構成を主に 100 番台で付番し、第 2 系統 L2 に係る構成を主に 200 番台で付番する。また、後述の第 1 系統 L1 の第 1 制御部 151 に係る構成を 500 番台、第 2 系統 L2 の第 2 制御部 251 に係る構成を 600 番台で付番する。第 1 系統 L1 および第 2 系統 L2 において、同様または類似の構成には、下 2 桁が同じとなるように付番し、適宜説明を省略する。以下適宜、「第 1」を添え字の「1」、「第 2」を添え字の「2」として記載する。

20

【0016】

駆動装置 40 は、モータ 80 の軸方向の一方側に ECU 10 が一体的に設けられており、いわゆる「機電一体型」であるが、モータ 80 と ECU 10 とは別途に設けられていてもよい。ECU 10 は、モータ 80 の出力軸とは反対側において、シャフト 870 の軸 Ax に対して同軸に配置されている。ECU 10 は、モータ 80 の出力軸側に設けられていてもよい。機電一体型とすることで、搭載スペースに制約のある車両において、ECU 10 とモータ 80 とを効率的に配置することができる。

30

【0017】

モータ 80 は、ステータ 840、ロータ 860、および、これらを収容するハウジング 830 等を備える。ステータ 840 は、ハウジング 830 に固定されており、モータ巻線 180、280 が巻回される。ロータ 860 は、ステータ 840 の径方向内側に設けられ、内部に磁石が埋め込まれており、ステータ 840 に対して相対回転可能に設けられる。すなわち本実施形態のモータ 80 は、埋め込み磁石型（IPM：Interior Permanent Magnet）モータである。

【0018】

シャフト 870 は、ロータ 860 に嵌入され、ロータ 860 と一体に回転する。シャフト 870 は、軸受 835、836 により、ハウジング 830 に回転可能に支持される。シャフト 870 の ECU 10 側の端部は、ハウジング 830 から ECU 10 側に突出する。シャフト 870 の ECU 10 側の端部には、マグネット 875 が設けられる。

40

【0019】

ハウジング 830 は、リアフレームエンド 837 を含む有底筒状のケース 834、および、ケース 834 の開口側に設けられるフロントフレームエンド 838 を有する。ケース 834 とフロントフレームエンド 838 とは、ボルト等により互いに締結されている。リアフレームエンド 837 には、リード線挿通孔 839 が形成される。リード線挿通孔 839 には、モータ巻線 180、280 の各相と接続されるリード線 185、285 が挿通される。リード線 185、285 は、リード線挿通孔 839 から ECU 10 側に取り出され、基板 470 に接続される。

50

【 0 0 2 0 】

ＥＣＵ１０は、カバー４６０、カバー４６０に固定されているヒートシンク４６５、ヒートシンク４６５に固定されている基板４７０、および、基板４７０に実装される各種の電子部品等を備える。

【 0 0 2 1 】

カバー４６０は、外部の衝撃から電子部品を保護したり、ＥＣＵ１０の内部への埃や水等の浸入を防止したりする。カバー４６０は、カバー本体４６１、および、コネクタ部１０３、２０３が一体に形成される。コネクタ部１０３、２０３は、カバー本体４６１と別体であってもよい。コネクタ部１０３には、後述の電源コネクタ１１１、車両通信コネクタ１１２およびトルクコネクタが含まれ、コネクタ部２０３には、電源コネクタ２１１、車両通信コネクタ２１２およびトルクコネクタ２１３が含まれる（図４参照）。コネクタ部１０３、２０３の端子４６３は、図示しない配線等を経由して基板４７０と接続される。コネクタ数および端子数は、信号数等に応じて適宜変更可能である。コネクタ部１０３、２０３は、駆動装置４０の軸方向の端部に設けられ、モータ８０と反対側に開口する。

【 0 0 2 2 】

基板４７０は、例えばプリント基板であり、リアフレームエンド８３７と対向して設けられる。基板４７０には、２系統分の電子部品が系統ごとに独立して実装されており、完全冗長構成をなしている。本実施形態では、１枚の基板４７０に電子部品が実装されているが、複数枚の基板に電子部品を実装するようにしてもよい。

【 0 0 2 3 】

基板４７０の２つの主面のうち、モータ８０側の面をモータ面４７１、モータ８０と反対側の面をカバー面４７２とする。図３に示すように、モータ面４７１には、インバータ回路１２０を構成するスイッチング素子１２１、インバータ回路２２０を構成するスイッチング素子２２１、回転角検出部１２６、２２６、カスタムＩＣ１３５、２３５等が実装される。回転角検出部１２６、２２６は、マグネット８７５の回転に伴う磁界の変化を検出可能なように、マグネット８７５と対向する箇所に実装される。

【 0 0 2 4 】

カバー面４７２には、コンデンサ１２８、２２８、インダクタ１２９、２２９、および、制御部１５１、２５１を構成するマイコン等が実装される。図３では、制御部１５１、２５１を構成するマイコンについて、それぞれ「１５１」、「２５１」を付番した。コンデンサ１２８、２２８は、バッテリー１９１、２９１から入力された電力を平滑化する。また、コンデンサ１２８、２２８は、電荷を蓄えることで、モータ８０への電力供給を補助する。コンデンサ１２８、２２８、および、インダクタ１２９、２２９は、フィルタ回路を構成し、バッテリーを共用する他の装置から伝わるノイズを低減するとともに、駆動装置４０からバッテリーを共用する他の装置に伝わるノイズを低減する。なお、図３中には図示を省略しているが、電源リレー、モータリレー、および、電流検出部１２７、２２７等についても、モータ面４７１またはカバー面４７２に実装される。

【 0 0 2 5 】

図４に示すように、ＥＣＵ１０は、インバータ回路１２０、２２０、および、制御部１５１、２５１等を備える。ＥＣＵ１０には、電源コネクタ１１１、２１１、車両通信コネクタ１１２、２１２、および、トルクコネクタ１１３、２１３が設けられる。第１電源コネクタ１１１は、第１バッテリー１９１に接続され、第２電源コネクタ２１１は、第２バッテリー２９１に接続される。電源コネクタ１１１、２１１は、同一のバッテリーに接続されていてもよい。第１電源コネクタ１１１は、第１電源回路１１６を経由して、第１インバータ回路１２０と接続される。第２電源コネクタ２１１は、第２電源回路２１６を経由して、第２インバータ回路２２０と接続される。電源回路１１６、２１６は、例えば電源リレーである。

【 0 0 2 6 】

車両通信コネクタ１１２は車両通信網１９５に接続され、車両通信コネクタ２１２は車両通信網２９５に接続される。車両通信コネクタ１１２、２１２は、それぞれ別途の車両

10

20

30

40

50

通信網 195、295 に接続されているが、同一の車両通信網に接続されてもよい。また、図 4 では、車両通信網 195、295 として、CAN (Controller Area Network) を例示しているが、CAN - FD (CAN with Flexible Data rate) や Flex Ray 等、どのような規格のものでもよい。制御部 151、251 は、それぞれ、車両通信回路 117、217 を経由して車両通信網 195、295 と各種信号の送受信を行う。

【0027】

トルクコネクタ 113、213 は、トルクセンサ 94 と接続される。詳細には、第 1 トルクコネクタ 113 は、トルクセンサ 94 の第 1 トルク検出部 194 と接続される。第 2 トルクコネクタ 213 は、トルクセンサ 94 に第 2 トルク検出部 294 と接続される。図 4 では、第 1 トルク検出部 194 を「トルクセンサ 1」、第 2 トルク検出部 294 を「トルクセンサ 2」と記載した。

10

【0028】

第 1 制御部 151 は、トルクコネクタ 113 およびトルクセンサ入力回路 118 を経由して、トルクセンサ 94 の第 1 トルク検出部 194 から操舵トルク Ts に係るトルク信号を取得可能である。第 2 制御部 251 は、トルクコネクタ 213 およびトルクセンサ入力回路 218 を経由して、トルクセンサ 94 の第 2 トルク検出部 294 から操舵トルク Ts に係るトルク信号を取得可能である。これにより、制御部 151、251 は、トルク信号に基づき、操舵トルク Ts を演算可能である。

【0029】

第 1 インバータ回路 120 は、6 つのスイッチング素子 121 を有する 3 相インバータであって、第 1 モータ巻線 180 へ供給される電力を変換する。スイッチング素子 121 は、第 1 制御部 151 から出力される制御信号に基づいてオンオフ作動が制御される。第 2 インバータ回路 220 は、6 つのスイッチング素子 221 を有する 3 相インバータであって、第 2 モータ巻線 280 へ供給される電力を変換する。スイッチング素子 221 は、第 2 制御部 251 から出力される制御信号に基づいてオンオフ作動が制御される。

20

【0030】

第 1 電流検出部 127 は、第 1 モータ巻線 180 の各相に通電される電流を検出し、検出値を第 1 制御部 151 に出力する。第 2 電流検出部 227 は、第 2 モータ巻線 280 の各相に通電される電流を検出し、検出値を第 2 制御部 251 に出力する。第 1 回転角検出部 126 は、モータ 80 の回転角を検出し、検出値を第 1 制御部 151 に出力する。第 2 回転角検出部 226 は、モータ 80 の回転角を検出し、検出値を第 2 制御部 251 に出力する。

30

【0031】

制御部 151、251 は、マイコン等を主体として構成され、内部にはいずれも図示しない 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ている。制御部 151、251 における各処理は、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であってもよいし、専用の電子回路によるハードウェア処理であってもよい。第 1 制御部 151 および第 2 制御部 251 は、相互に通信可能に設けられる。以下、制御部 151、251 間の通信を、「マイコン間通信」という。通信方法は、SPI や SENT 等のシリアル通信や、CAN 通信、Flex Ray 通信等、どのような方法を用いてもよい。後述の実施形態の各制御部についても同様である。

40

【0032】

図 5 および図 6 に示すように、第 1 制御部 151 は、電気角演算部 506、検出電流演算部 507、トルク指令演算部 511、基本指令演算部 512、トルク d 軸電流指令演算部 519、弱め界磁演算部 521、弱め界磁 d 軸電流指令調停部 522、d 軸電流指令演算部 525、q 軸電流指令演算部 526、電流制御演算部 530、PWM 出力部 555、送信部 171、および、受信部 172 等を有する。

【0033】

第 2 制御部 251 は、電気角演算部 606、検出電流演算部 607、トルク指令演算部

50

6 1 1、基本指令演算部 6 1 2、トルク d 軸電流指令演算部 6 1 9、弱め界磁演算部 6 2 1、弱め界磁 d 軸電流指令調停部 6 2 2、d 軸電流指令演算部 6 2 5、q 軸電流指令演算部 6 2 6、電流制御演算部 6 3 0、PWM 出力部 6 5 5、送信部 2 7 1、および、受信部 2 7 2 等を有する。

【0034】

送信部 1 7 1 は、第 1 制御部 1 5 1 にて演算された値を第 2 制御部 2 5 1 に送信する。受信部 1 7 2 は、第 2 制御部 2 5 1 から送信された値を受信する。送信部 2 7 1 は、第 2 制御部 2 5 1 にて演算された値を第 1 制御部 1 5 1 に送信する。受信部 2 7 2 は、第 1 制御部 1 5 1 から送信された値を受信する。図 6 等では、記載の都合上、送信部 1 7 1、2 7 1 および受信部 1 7 2、2 7 2 を適宜分けて記載した。以下、自系統の値と他系統の値とを読み替えれば同様である点については、第 2 制御部 2 5 1 に係る説明は適宜省略し、第 1 制御部 1 5 1 を例に説明する。なお、図 5 については、第 1 制御部 1 5 1 について示しており、第 2 制御部 2 5 1 の記載は省略した。

【0035】

電気角演算部 5 0 6 は、回転角検出部 1 2 6 の検出値に基づき、電気角 e_1 を演算する。検出電流演算部 5 0 7 は、電流検出部 1 2 7 の検出値に基づいて各相電流 I_{u1} 、 I_{v1} 、 I_{w2} を演算する。また、検出電流演算部 5 0 7 は、電気角 e_1 を用いて各相電流 I_{u1} 、 I_{v1} 、 I_{w1} を d q 変換し、d 軸電流検出値 I_{d1} および q 軸電流検出値 I_{q1} を演算する。以下、d 軸と q 軸の値をまとめて記載する場合、「d q 軸」とする。d q 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} は、自系統での電流制御演算に用いられる他、マイコン間通信にて第 2 制御部 2 5 0 に送信され、他系統での電流制御にも用いられる。

【0036】

図 5 に示すように和差演算部 5 0 8 は、第 1 系統 L 1 の d q 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、および、第 2 系統 L 2 の d q 軸電流検出値 I_{d2} 、 I_{q2} を取得する。和差演算部 5 0 8 は、d 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{d2} の和である d 軸電流和 I_{d+} 、d 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{d2} の差である d 軸電流差 I_{d-} 、q 軸電流検出値 I_{q1} 、 I_{q2} の和である q 軸電流和 I_{q+} 、および、q 軸電流検出値 I_{q1} 、 I_{q2} の差である q 軸電流差 I_{q-} を演算する。トルク電流演算部 5 0 9 は、d 軸電流和 I_{d+} および I_{q+} 軸電流和 I_{q+} に基づき、トルク電流検出値 I_{trq1} を演算する。本実施形態では、トルク電流検出値 I_{trq1} をモニタすることで、モータ 8 0 の出力トルクをモニタしている。

【0037】

図 6 に示すように、トルク指令演算部 5 1 1 は、操舵トルクや車速等に基づき、トルク指令値 $Trq1^*$ を演算する。第 1 制御部 1 5 1 の基本指令演算部 5 1 2 は、トルク電流指令演算部 5 1 3、電流制限演算部 5 1 5、電流制限調停部 5 1 6、および、電流制限部 5 1 7 を有し、基本電流指令値 I_{b1}^* を演算する。第 2 制御部 2 5 1 の基本指令演算部 6 1 2 は、トルク電流指令演算部 6 1 3、切替部 6 1 4、電流制限演算部 6 1 5、電流制限調停部 6 1 6、および、電流制限部 6 1 7 を有し、基本電流指令値 I_{b2}^* を演算する。

【0038】

トルク電流指令演算部 5 1 3、6 1 3 は、トルク指令値 $Trq1^*$ 、 $Trq2^*$ に基づき、例えば所定の係数を乗じることで、トルク電流指令値 I_{trq1}^* 、 I_{trq2}^* を演算する。第 1 トルク電流指令値 I_{trq1}^* は、第 2 制御部 2 5 1 に送信される。

【0039】

切替部 6 1 4 は、制御に用いるトルク電流指令値 I_{trq1}^* 、 I_{trq2}^* を切替可能である。本実施形態では、第 1 制御部 1 5 1 をマスター制御部、第 2 制御部 2 5 1 をスレーブ制御部とし、第 2 制御部 2 5 1 は、第 1 トルク電流指令値 I_{trq1}^* が正常であれば、第 1 トルク電流指令値 I_{trq1}^* を優先的に用いる。また、故障等により第 1 トルク電流指令値 I_{trq1}^* が取得できない、或いは、トルク電流指令値 I_{trq1}^* 、 I_{trq2}^* の差が異常判定閾値より大きい等、トルク電流指令値 I_{trq1}^* が信頼できない場合には、自系統のトルク電流指令値 I_{trq2}^* を用いる。ここでは、第 1 トルク電流

10

20

30

40

50

指令値 I_{trq1}^* が正常であって、切替部 614 にて第 1 トルク電流指令値 I_{trq1}^* が選択されるものとする。

【0040】

電流制限演算部 515 は、過熱保護等のための電流制限値 I_{lim1} を演算する。電流制限値 I_{lim1} は、第 2 制御部 251 に送信される。また、第 1 制御部 151 は、第 2 制御部 251 で演算された電流制限値 I_{lim2} を取得する。

【0041】

電流制限調停部 516 は、自系統の電流制限値 I_{lim1} 、および、他系統の電流制限値 I_{lim2} に基づき、調停後電流制限値 I_{lim_a1} を演算する。本実施形態では、ミニマムセレクトにて、調停後電流制限値 I_{lim_a1} を演算する。すなわち、自系統の電流制限値 I_{lim1} が他系統の電流制限値 I_{lim2} より小さい場合、自系統の電流制限値 I_{lim1} を調停後電流制限値 I_{lim_a1} とし、自系統の電流制限値 I_{lim1} が他系統の電流制限値 I_{lim2} 以上の場合、他系統の電流制限値 I_{lim2} を調停後電流制限値 I_{lim_a1} とする。

10

【0042】

電流制限部 517 は、トルク電流指令値 I_{trq1}^* および調停後電流制限値 I_{lim_a1} に基づき、基本電流指令値 I_{b1}^* を演算する。トルク電流指令値 I_{trq1}^* が調停後電流制限値 I_{lim_a1} より小さい場合、トルク電流指令値 I_{trq1}^* を基本電流指令値 I_{b1}^* とし、トルク電流指令値 I_{trq1}^* が調停後電流制限値 I_{lim_a1} 以上の場合、調停後電流制限値 I_{lim_a1} を基本電流指令値 I_{b1}^* とする。電流制限部 617 では、切替部 614 で選択されたトルク電流指令値および調停後電流制限値 I_{lim_a2} に基づき、基本電流指令値 I_{b2}^* を演算する。

20

【0043】

トルク d 軸電流指令演算部 519 は、基本電流指令値 I_{b1}^* に基づき、マップ演算等によりトルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ を演算する。

【0044】

弱め界磁演算部 521 は、電流制限値 I_{lim1} 、最大印加電圧に対する飽和値、および、電圧指令値の変調率等に基づき、制限前弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wb1}^*$ を演算する。

30

【0045】

また、弱め界磁演算部 521 は、和差演算部 508 から q 軸電流和 I_{q+} を取得し、q 軸電流和 I_{q+} に基づいて弱め界磁 d 軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ を演算する。本実施形態では、図 7 に示すマップを用いたマップ演算により弱め界磁 d 軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ を演算する。図 7 では、系統を示す添え字を省略する。弱め界磁 d 軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ の演算に用いるマップは、基本電流指令値 I_{b1}^* に基づいて選択される。詳細には、基本電流指令値 I_{b1}^* がマップ切替判定値より大きい場合、制限値算出マップ H_i を用い、基本電流指令値 I_{b1}^* がマップ切替判定値以下の場合、制限値算出マップ L_o を用いる。マップ切替判定値は任意に設定可能である。また、図 7 の例では 2 つのマップを切り替えているが、切り替えるマップ数は 1 つでも 3 つ以上であってもよい。

40

【0046】

弱め界磁演算部 521 は、制限前弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wb1}^*$ の絶対値が弱め界磁 d 軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ の絶対値より小さい場合、制限前弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wb1}^*$ をそのまま弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ とする。また、制限前弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wb1}^*$ の絶対値が弱め界磁 d 軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ の絶対値以上の場合、弱め界磁 d 軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ を弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ とする。弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ は、第 2 制御部 251 に送信される。また、第 1 制御部 151 は、第 2 制御部 251 で演算された弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w2}^*$ を取得する。すなわち電流制限において、d 軸電流が負の値であれば、絶対値が小さい方の値が選択される。

50

【0047】

弱め界磁 d 軸電流指令調停部 522 は、自系統の弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、および、他系統の弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w2}^*$ に基づき、調停後弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ を演算する。本実施形態では、ミニマムセレクトにて、調停後弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ を演算する。すなわち、自系統の弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ が他系統の弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa2}^*$ より小さい場合、自系統の弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ を調停後弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ とし、自系統の弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ が他系統の弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa2}^*$ 以上の場合、他系統の弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa2}^*$ を調停後弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ とする。なお、d 軸電流が負の値であれば、ミニマムセレクトでは、絶対値が大きい方の値が選択されることを補足しておく。他の d 軸電流に係るミニマムセレクトも同様である。なお、図 5 では、簡略化のため、弱め界磁 d 軸電流指令調停部 522 の記載を省略し、自系統の弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ が d 軸電流指令演算部 525 に入力されるものとして記載した。

10

【0048】

d 軸電流指令演算部 525 は、トルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ および調停後弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ に基づき、d 軸電流指令値 I_{d1}^* を演算する。本実施形態では、ミニマムセレクトにて、d 軸電流指令値 I_{d1}^* を演算する。すなわち、トルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ が調停後弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ より小さい場合、トルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ を d 軸電流指令値 I_{d1}^* とし、トルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ が調停後弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ より大きい場合、調停後弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ を d 軸電流指令値 I_{d1}^* とする。q 軸電流指令演算部 526 は、基本電流指令値 I_{b1}^* および d 軸電流指令値 I_{d1}^* に基づき、例えばマップ演算により q 軸電流指令値 I_{q1}^* を演算する。

20

【0049】

電流制御演算部 530 は、減算器 531 ~ 534、電流フィードバック制御部 541 ~ 544、および、電圧指令演算部 550 等を有する。減算器 531 は、d 軸電流指令値 I_{d1}^* から d 軸電流和 I_{d+} を減算し、d 軸電流和偏差 I_{d+} を演算する。減算器 532 は、q 軸電流指令値 I_{q1}^* から q 軸電流和 I_{q+} を減算し、q 軸電流和偏差 I_{q+} を演算する。減算器 533 は、d 軸電流差指令値 I_{d-}^* から d 軸電流差 I_{d-} を減算し、d 軸電流差偏差 I_{d-} を演算する。減算器 534 は、q 軸電流差指令値 I_{q-}^* から q 軸電流差 I_{q-} を減算し、q 軸電流差偏差 I_{q-} を演算する。

30

【0050】

電流フィードバック制御部 541 ~ 544 は、それぞれ、d 軸電流和偏差 I_{d+} 、q 軸電流和偏差 I_{q+} 、d 軸電流差偏差 I_{d-} 、q 軸電流差偏差 I_{q-} が 0 に収束するように、例えば P I 演算等により、d 軸電圧和指令値 V_{d+}^* 、q 軸電圧和指令値 V_{q+}^* 、d 軸電圧差指令値 V_{d-}^* 、q 軸電圧差指令値 V_{q-}^* を演算する。電圧指令演算部 550 は、d 軸電圧和指令値 V_{d+}^* 、q 軸電圧和指令値 V_{q+}^* 、d 軸電圧差指令値 V_{d-}^* 、および、q 軸電圧差指令値 V_{q-}^* に基づき、電圧指令値 V_{d1}^* 、 V_{q1}^* 、 V_{d2}^* 、 V_{q2}^* を演算する。

40

【0051】

PWM 出力部 555 は、電圧指令値 V_{d1}^* 、 V_{q1}^* を逆 d q 変換した 3 相電圧指令 V_{u1}^* 、 V_{v1}^* 、 V_{w1}^* に基づき、PWM 信号を生成する。PWM 信号は、信号タイミングが系統間で揃うよう、例えば同期信号等により同期される。同期信号は、一方の系統から他方の信号に送信されるようにしてもよいし、両系統が外部から取得するようにしてもよい。

【0052】

本実施形態の電流指令演算処理を図 8 のフローチャートに基づいて説明する。この処理は、制御部 151、251 にて所定の周期で実行されるものであって、主に d 軸電流指令演算について示すものである。以下、ステップ S11 の「ステップ」を省略し、単に記号

50

「S」と記す。他のステップも同様である。S 1 1、S 1 2およびS 1 7以降の処理については、制御部 1 5 1、2 5 1にて共通であるので、主に第 1 制御部 1 5 1での制御として説明する。第 2 制御部 2 5 1については、自系統の値と他系統の値とを読み替えばよい。他の実施形態の制御についても、制御部 1 5 1、2 5 1で共通の制御については同様とする。フローチャートにおいては、系統を示す添え字の「1」、「2」を省略し、自系統の値を「自」、他系統の値を「他」とした。

【0053】

S 1 1では、トルク電流指令演算部 5 1 3はトルク電流指令値 I_{trq1}^* を演算し、電流制限演算部 5 1 5は電流制限値 I_{lim1} を演算する。S 2 2では、弱め界磁演算部 5 2 1は、弱め界磁 d 軸電流指令値 I_{dw1}^* を演算する。弱め界磁 d 軸電流指令演算処理を図 9 のサブフローに基づいて説明する。

10

【0054】

S 1 2 1では、弱め界磁演算部 5 2 1は、制限前弱め界磁 d 軸電流指令値 I_{dwb1}^* を演算する。S 1 2 2では、弱め界磁演算部 5 2 1は、和差演算部 5 0 8 から q 軸電流和 I_{q+} を取得する。S 1 2 3では、q 軸電流和 I_{q+} に基づくマップ演算（図 7 参照）により、弱め界磁 d 軸電流制限値 I_{dlimw1} を演算する。S 1 2 1と、S 1 2 2およびS 1 2 3との処理順は入れ替えてもよい。

【0055】

S 1 2 4では、弱め界磁演算部 5 2 1は、制限前弱め界磁 d 軸電流指令値 I_{dwb1}^* の絶対値が弱め界磁 d 軸電流制限値 I_{dlimw1} の絶対値より小さいか否かを判断する。制限前弱め界磁 d 軸 I_{dwb1}^* の絶対値が弱め界磁 d 軸電流制限値 I_{dlimw1} の絶対値より小さいと判断された場合（S 1 2 4：YES）、S 1 2 5へ移行し、制限前弱め界磁 d 軸電流指令値 I_{dwb1}^* を、弱め界磁 d 軸電流指令値 I_{dw1}^* とする。制限前弱め界磁 d 軸 I_{dwb1}^* の絶対値が弱め界磁 d 軸電流制限値 I_{dlimw1} の絶対値以上であると判断された場合（S 1 2 4：NO）、S 1 2 6へ移行し、弱め界磁 d 軸電流制限値 I_{dlimw1} を、弱め界磁 d 軸電流指令値 I_{dw1}^* とする。

20

【0056】

図 8 へ戻り、S 1 3では、制御部 1 5 1、2 5 1は、自系統が電流指令値演算に係るマスター系統か否かを判断する。自系統が電流指令値演算に係るマスター系統であると判断された場合（S 1 3：YES）、S 1 4へ移行し、自系統が電流指令値演算に係るマスター系統ではないと判断された場合（S 1 3：NO）、すなわち自系統が電流指令値演算に係るスレーブ系統である場合、S 1 5へ移行する。本実施形態では、第 1 系統 L 1 をマスター、第 2 系統 L 2 をスレーブとするので、第 1 制御部 1 5 1では肯定判断され、第 2 制御部 2 5 1では否定判断されるので、S 1 4については第 1 制御部 1 5 1の処理として説明し、S 1 5およびS 1 6については第 2 制御部 2 5 1の処理として説明する。図 1 3 中の S 5 4～S 5 6、および、図 1 5 中の S 8 8～S 9 0も同様とする。

30

【0057】

自系統がマスター系統である場合に移行する S 1 4では、第 1 制御部 1 5 1は、トルク電流指令値 I_{trq1}^* を送信し、電流制限値 I_{lim1} 、 I_{lim2} および弱め界磁 d 軸電流指令値 I_{dw1}^* 、 I_{dw2}^* を送受信する。自系統がスレーブ系統である場合に移行する S 1 5では、第 2 制御部 2 5 1は、マスター系統のトルク電流指令値 I_{trq1}^* を受信し、電流制限値 I_{lim1} 、 I_{lim2} および弱め界磁 d 軸電流指令値 I_{dw1}^* 、 I_{dw2}^* を送受信する。また、フローチャート中の記載は省略しているが、S 1 4およびS 1 5では、同時に d q 軸の電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} を送り合う。d q 軸の電流検出値に替えて、3 相の電流検出値を送り合い、受信した側で d q 変換を行ってもよい。後述の S 3 3、S 5 4、S 5 5、S 7 3も同様である。

40

【0058】

S 1 6では、第 2 制御部 2 5 1は、制御に用いるトルク電流指令を選択する。本実施形態では、マイコン間通信が正常、マスター系統である第 1 系統 L 1 の駆動が正常、かつ、

50

トルク電流指令値 I_{trq1}^* 、 I_{trq2}^* の差がトルク指令異常判定閾値以下の場合、制御に用いるトルク電流指令値として、マスター系統のトルク電流指令値 I_{trq1}^* を選択する。また、マイコン間通信が異常、第1系統 $L1$ が正常動作していない、または、トルク電流指令値 I_{trq1}^* 、 I_{trq2}^* の差が異常判定閾値より大きい場合、制御に用いるトルク電流指令値として、自系統のトルク電流指令値 I_{trq2}^* を選択する。

【0059】

S17では、電流制限調停部516は、自系統の電流制限値 I_{lim1} が他系統の電流制限値 I_{lim2} より小さいか否かを判断する。自系統の電流制限値 I_{lim1} が他系統の電流制限値 I_{lim2} より小さいと判断された場合 (S17: YES)、S18へ移行し、自系統の電流制限値 I_{lim1} を、調停後電流制限値 I_{lim_a1} とする。自系統の電流制限値 I_{lim1} が他系統の電流制限値 I_{lim2} 以上であると判断された場合 (S17: NO)、S19へ移行し、他系統の電流制限値 I_{lim2} を、調停後電流制限値 I_{lim_a1} とする。

10

【0060】

S20では、電流制限部517は、トルク電流指令値 I_{trq1}^* が調停後電流制限値 I_{lim_a1} より小さいか否かを判断する。トルク電流指令値 I_{trq1}^* が調停後電流制限値 I_{lim_a1} より小さいと判断された場合 (S20: YES)、S21へ移行し、トルク電流指令値 I_{trq1}^* を基本電流指令値 I_{b1}^* とする。トルク電流指令値 I_{trq1}^* が調停後電流制限値 I_{lim_a1} 以上であると判断された場合 (S20: YES)、S20へ移行し、調停後電流制限値 I_{lim_a1} を、基本電流指令値 I_{b1}^* とする。

20

【0061】

S23では、トルクd軸電流指令演算部519は、トルクd軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ を演算する。トルクd軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ の演算は、基本電流指令値 I_{b1}^* の演算後、S27までのいずれのタイミングで行ってもよく、ステップ順は適宜入れ替え可能である。

【0062】

S24では、弱め界磁d軸電流指令調停部522は、自系統の弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ が他系統の弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w2}^*$ より小さいか否かを判断する。自系統の弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ が他系統の弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w2}^*$ より小さいと判断された場合 (S24: YES)、S25へ移行し、自系統の弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ を、調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ とする。自系統の弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ が他系統の弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w2}^*$ 以上であると判断された場合 (S24: NO)、S26へ移行し、他系統の弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w2}^*$ を、調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ とする。

30

【0063】

S27では、d軸電流指令演算部625は、トルクd軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ が調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ より小さいか否かを判断する。トルクd軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ が調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ より小さいと判断された場合 (S27: YES)、S28へ移行し、トルクd軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ を、d軸電流指令値 I_{d1}^* とする。トルクd軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ が調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ 以上であると判断された場合 (S27: NO)、S29へ移行し、調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ を、d軸電流指令値 I_{d1}^* とする。演算されたd軸電流指令値 I_{d1}^* は、q軸電流指令演算、および、電流制御演算に用いられる。

40

【0064】

本実施形態では、マスター系統のトルク電流指令値 I_{trq1}^* を全系統で用いるとともに、電流制限値 I_{lim1} 、 I_{lim2} および弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ を系統間で共有している。これにより、各系統の電流制御演算部530、6

50

30にて用いられる最終的なd軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* およびq軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* が揃うので、d軸電流でもトルクが発生するIPMモータにも好適に適用可能である。

【0065】

また、各系統にて共有される値は、電流検出値を共有するタイミングにて同時に送受信可能であって、最終的なd軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* およびq軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* はそれぞれの系統で演算している。そのため、制御性を悪化させることなく、1回の電流制御における双方向通信回数を1回とすることができるので、複数回の通信を行う場合と比較して、演算負荷を低減することができる。

【0066】

以上説明したように、ECU10は、モータ巻線180、280を有するモータ80の駆動を制御するものであって、相互に通信可能な複数の制御部151、251を備える。制御部151、251は、基本指令演算部512、612、弱め界磁演算部521、621、および、信号生成部を有する。本実施形態では、電流制御演算部530、630およびPWM出力部555、655が「信号生成部」に対応し、基本電流指令値 I_{b1}^* 、 I_{b2}^* と弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ とに基づいて演算されるd軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* およびq軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* に基づいて駆動信号としてのPWM信号を生成する。

【0067】

本実施形態では、PWM信号の生成に用いられる指令値の少なくとも一部が、複数の制御部151、251にて共有される。これにより、指令値を共有しない独立制御と比較し、系統間誤差を低減することができ、d軸電流を考慮しつつ、モータ80の駆動を適切に制御することができる。

【0068】

d軸電流指令演算部625、625は、基本電流指令値 I_{b1}^* 、 I_{b2}^* に基づいて演算されるトルクd軸電流指令値 I_{d_t1} 、 I_{d_t2} 、および、弱め界磁電流指令値に基づき、d軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* を演算する。本実施形態では、トルクd軸電流指令値 I_{d_t1} 、 I_{d_t2} 、または、d軸に係る値である弱め界磁電流指令値の小さい方の値を、d軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* として選択する。

【0069】

本実施形態では、弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ が複数の制御部151、251にて共有され、弱め界磁d軸電流指令調停部522、622は、共有された弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ に基づいて調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ 、 $I_{d_wa2}^*$ を演算する。本実施形態では、調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ 、 $I_{d_wa2}^*$ として、弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ の小さい方の値を選択する。d軸電流指令演算部525、625は、調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ 、 $I_{d_wa2}^*$ を「弱め界磁電流指令値」として用いる。これにより、d軸電流を系統間で揃えることができる。また、駆動信号の生成に用いられる最終的なd軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* は、各制御部151、251にて演算されたものを用いるため、最終的なd軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* を共有する場合と比較し、制御性を低下させることなく、演算負荷を低減することができる。

【0070】

第1制御部151は、トルク指令値 t_{rq1}^* に応じたトルク電流指令値 I_{trq1}^* をマスタートルク電流指令値として第2制御部251に送信し、第2制御部251は、マスタートルク電流指令値であるトルク電流指令値 I_{trq1}^* が正常である場合、トルク電流指令値 I_{trq1}^* に基づいて基本電流指令値 I_{b2}^* を演算し、トルク電流指令値 I_{trq1}^* が信頼できない場合、自身で演算したトルク電流指令値 I_{trq2}^* に基づいて基本電流指令値 I_{b2}^* を演算する。

【0071】

ここで、「トルク電流指令値が信頼できない場合」とは、通信異常等によりトルク電流

10

20

30

40

50

指令値が取得できない場合、マスター制御部に係る系統が異常停止している場合、および、自系統のトルク電流指令値との差が異常判定閾値より大きい場合の少なくとも1つを含む。その他の情報を用いて信頼できるか否か判定してもよい。第4実施形態におけるd軸電流指令値についても同様である。

【0072】

これにより、正常時のトルク電流指令値を揃えることができるとともに、マスタートルク電流指令値が信頼できない場合であっても、モータ80の駆動制御を継続することができる。

【0073】

特に本実施形態では、トルク電流指令値 I_{trq1}^* が第1制御部151から第2制御部251に送信されることで共有され、弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ が相互に送受信されることで共有される。トルク電流指令値 I_{trq1}^* に加え、弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ を共有することで、d軸電流でもトルクが発生するIPMモータであっても各系統から出力されるトルクを揃えることができる。

【0074】

弱め界磁演算部521、621は、複数のモータ巻線180、280のq軸電流の和であるq軸電流和 I_{q+} に基づいて弱め界磁d軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ 、 $I_{d_lim_w2}$ を演算し、制限前弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wb1}^*$ 、 $I_{d_wb2}^*$ の絶対値が弱め界磁d軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ 、 $I_{d_lim_w2}$ の絶対値以上である場合、弱め界磁電流指令値を弱め界磁d軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ 、 $I_{d_lim_w2}$ に制限する。また、弱め界磁演算部521、621は、基本電流指令値 I_{b1}^* 、 I_{b2}^* に応じ、弱め界磁d軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ 、 $I_{d_lim_w2}$ の演算を切り替える。本実施形態では、基本電流指令値 I_{b1}^* 、 I_{b2}^* に応じ、演算に用いるマップを切り替える。これにより、弱め界磁電流指令値を適切に演算することができる。

【0075】

(第2実施形態)

第2実施形態を図10および図11に示す。図10に示すように、本実施形態の制御部152、252は、基本指令演算部560、660が上記実施形態と異なる。基本指令演算部560は、トルク電流指令演算部513、電流制限演算部515、および、電流制限部517を有する。基本指令演算部660は、トルク電流指令演算部613、電流制限演算部615、および、電流制限部617を有する。

【0076】

本実施形態では、第1制御部152から第2制御部252へのトルク電流指令値 I_{trq1}^* の送信を行っておらず、電流制限値 I_{lim1} 、 I_{lim2} の送受信を行っていないため、切替部614および電流制限調停部516、616が省略されている。すなわち、本実施形態では、弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ を共有して調停しており、トルク電流指令値 I_{trq1}^* および電流制限値 I_{lim1} 、 I_{lim2} は共有していない。

【0077】

本実施形態の電流指令演算処理を図11のフローチャートに基づいて説明する。S31およびS32の処理は、図8中のS11およびS12の処理と同様である。S33では、制御部152、252は、弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ を送受信する。S34～S43の処理は、図8中のS20～S29の処理と同様である。

【0078】

本実施形態では、電流検出値と同時の1回の通信にて、弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ を系統間で共有することができ、例えばd軸電流指令演算部525、625にて、調停後弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wa1}^*$ 、 $I_{d_wa2}^*$ が選択されれば、d軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* を揃えることができる。また、上記実施形態と同様の効果を奏する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 9 】

(第 3 実施形態)

第 3 実施形態を図 1 2 および図 1 3 に示す。本実施形態の制御部 1 5 3、2 5 3 では、弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 、 $I_{d_w2}^*$ が共有されておらず、弱め界磁 d 軸電流指令調停部 5 2 2、6 2 2 が省略されている点を除き、第 1 実施形態の制御部 1 5 1、2 5 1 と同様である。

【 0 0 8 0 】

本実施形態の電流指令演算処理を図 1 3 のフローチャートに基づいて説明する。S 5 1 ~ S 5 3 の処理は、図 8 中の S 1 1 ~ S 1 3 の処理と同様である。自系統がマスター系統である場合に移行する S 5 4 では、第 1 制御部 1 5 1 は、トルク電流指令値 I_{trq1}^* を送信し、電流制限値 I_{lim1} 、 I_{lim2} を送受信する。自系統がスレーブ系統である場合に移行する S 5 5 では、トルク電流指令値 I_{trq1}^* を受信し、電流制限値 I_{lim1} 、 I_{lim2} を送受信する。

10

【 0 0 8 1 】

S 5 6 ~ S 6 3 は、図 8 中の S 1 6 ~ S 2 3 と同様である。S 6 4 では、d 軸電流指令演算部 5 2 5 は、トルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ が弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ より小さいか否か判断する。トルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ が弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ より小さいと判断された場合 (S 6 4 : Y E S)、S 6 5 へ移行し、トルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ を、d 軸電流指令値 I_{d1}^* とする。トルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ が弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ 以上であると判断された場合 (S 6 4 : N O)、S 6 6 へ移行し、弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_w1}^*$ を、d 軸電流指令値 I_{d1}^* とする。

20

【 0 0 8 2 】

本実施形態では、電流検出値と同時の 1 回の通信にて、トルク電流指令値 I_{trq1}^* 、 I_{trq2}^* を系統間で共有することができるので、モータ 8 0 が S P M モータであれば、q 軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* が揃えることができる。また、上記実施形態と同様の効果を奏する。

【 0 0 8 3 】

(第 4 実施形態)

第 4 実施形態を図 1 4 および図 1 5 に示す。本実施形態の第 1 制御部 1 5 4 は、トルク電流指令値 I_{trq1}^* に替えて、最終的な d 軸電流指令値 I_{d1}^* および q 軸電流指令値 I_{q1}^* を第 2 制御部 2 5 4 に送信している点が第 3 実施形態の第 1 制御部 1 5 3 と異なる。

30

【 0 0 8 4 】

第 2 制御部 2 5 4 の基本指令演算部 6 6 1 は、切替部 6 1 4 が省略されている点が上記実施形態の基本指令演算部 6 1 2 と異なる。本実施形態では、第 1 制御部 1 5 4 からトルク電流指令値 I_{trq1}^* が送信されないため、電流制限部 6 1 7 では、自系統のトルク電流指令値 I_{trq2}^* を用いる。

【 0 0 8 5 】

また、第 2 制御部 2 5 4 は、トルク電流指令値 I_{trq1}^* に替えて、最終的な d 軸電流指令値 I_{d1}^* および q 軸電流指令値 I_{q1}^* を取得しており、切替部 6 6 5、6 6 6 を備える。切替部 6 6 5 は、電流制御演算部 6 3 0 にて用いる q 軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* を切替可能である。また、切替部 6 6 6 は、電流制御演算部 6 3 0 にて用いる d 軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{d2}^* を切替可能である。

40

【 0 0 8 6 】

本実施形態では、第 1 制御部 1 5 4 をマスター、第 2 制御部 2 5 4 をスレーブとし、マスター系統の d q 軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* が正常であれば、d q 軸の電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* を優先的に用いる。また、故障等により、マスター系統の d q 軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* が取得できない、或いは、マスター系統の d q 軸の電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* と I_{d2}^* 、 I_{q2}^* との差が異常判定閾値より大きい等、d q 軸電流指令値 I

50

$d1^*$ 、 $Iq1^*$ が信頼できない場合には、自系統の dq 軸電流指令値 $Id2^*$ 、 $Iq2^*$ を用いる。

【0087】

本実施形態の電流指令演算処理を図15のフローチャートに基づいて説明する。S71およびS72の処理は、図8中のS11およびS12の処理と同様である。S73では、制御部154、254は、電流制限値 $Ilim1$ 、 $Ilim2$ および弱め界磁 d 軸電流 Id_w1^* 、 Id_w2^* を送受信する。S74～S86の処理は、図8中のS17～S29の処理と同様である。

【0088】

S87の処理は、図8中のS13の処理と同様であって、自系統がマスター系統であると判断された場合(S87: YES)、S88へ移行し、自系統がスレーブ系統であると判断された場合(S87: NO)、S89へ移行する。

10

【0089】

自系統がマスター系統である場合に移行するS88では、第1制御部154は、 dq 軸電流指令値 $Id1^*$ 、 $Iq1^*$ を第2制御部254に送信する。自系統がスレーブ系統である場合に移行するS89では、第2制御部254は、 dq 軸電流指令値 $Id1^*$ 、 $Iq2^*$ を第1制御部154から受信する。

【0090】

S90では、第2制御部254は、電流制御に用いる dq 軸電流指令を選択する。本実施形態では、マイコン間通信が正常、マスター系統である第1系統L1の駆動が正常、 d 軸電流指令値 $Id1^*$ 、 $Id2^*$ の差が d 軸異常判定閾値以下、かつ、 q 軸電流指令値 $Iq1^*$ 、 $Iq2^*$ の差が q 軸異常判定閾値以下の場合、電流制御演算部630での演算に用いる電流指令として、マスター系統の dq 軸電流指令値 $Id1^*$ 、 $Iq1^*$ を選択する。また、マイコン間通信が異常、第1系統L1が正常動作していない、 d 軸電流指令値 $Id1^*$ 、 $Id2^*$ の差が d 軸異常判定閾値より大きい、または、 q 軸電流指令値 $Iq1^*$ 、 $Iq2^*$ の差が q 軸異常判定閾値より大きい場合、電流制御演算部630での演算に用いる電流指令として、自系統の dq 軸の電流指令値 $Id2^*$ 、 $Iq2^*$ を選択する。

20

【0091】

本実施形態では、第1制御部154は、マスター d 軸電流指令値として d 軸電流指令値 $Id1^*$ 、マスター q 軸電流指令値として q 軸電流指令値 $Iq1^*$ を第2制御部254に送信する。第2制御部254は、 dq 軸電流指令値 $Id1^*$ 、 $Iq1^*$ が正常である場合、 dq 軸電流指令値 $Id1^*$ 、 $Iq1^*$ を用いて駆動信号を生成し、 dq 軸電流指令値 $Id1^*$ 、 $Iq1^*$ が信頼できない場合、自身で演算した dq 軸電流指令値 $Id2^*$ 、 $Iq2^*$ を用いて駆動信号を生成する。

30

【0092】

本実施形態では、最終的な dq 軸の電流指令値 $Id1^*$ 、 $Iq1^*$ をマスターからスレーブに送るので、正常時において、各系統から出力されるトルクを揃えることができる。また、マスター側の dq 軸電流指令値 $Id1^*$ 、 $Iq1^*$ が信頼できない場合であっても、スレーブ側にて自身で演算した dq 軸電流指令値 $Id2^*$ 、 $Iq2^*$ を用いることで、モータ80の駆動制御を継続することができる。また、上記実施形態と同様の効果を奏する。

40

【0093】

上記実施形態では、ECU10が「回転電機制御装置」、モータ80が「回転電機」、電流制御演算部530、630およびPWM出力部555、655が「信号生成部」、PWM信号が「駆動信号」に対応する。また、第1制御部151～154および第2制御部251～254が「制御部」、第1制御部151～154が「マスター制御部」、第2制御部251～254が「スレーブ制御部」に対応し、トルク電流指令値 $Itrq1^*$ が「マスタートルク電流指令値」、 d 軸電流指令値 $Id1^*$ が「マスター d 軸電流指令値」、 q 軸電流指令値 $Iq1^*$ が「マスター q 軸電流指令値」に対応する。

【0094】

(他の実施形態)

50

上記実施形態では、制御部は2つである。他の実施形態では、制御部は3つ以上であってもよい。例えば第1実施形態等のように、マスタースレーブ構成とする場合、1つの制御部をマスター制御部、残りの制御部をスレーブ制御部とする。上記実施形態では、弱め界磁d軸電流指令調停部では、ミニマムセレクトにて、弱め界磁d軸電流指令値を演算する。他の実施形態では、例えば平均値等の演算値を弱め界磁d軸電流指令値とする、といった具合に、調停演算はミニマムセレクトに限らない。ミニマムセレクトとした他の演算処理についても同様である。

【0095】

上記実施形態では、モータ巻線およびインバータ部が2つずつ設けられる。他の実施形態では、モータ巻線およびインバータ部は、1つまたは3つ以上であってもよい。また、例えば複数のモータ巻線およびインバータ部に対して1つの制御部を設ける、或いは、1つの制御部に対して複数のインバータ部およびモータ巻線を設ける、といった具合に、モータ巻線、インバータ部および制御部の数が異なってもよい。

【0096】

上記実施形態では、回転電機は、3相ブラシレスのIPMモータである。他の実施形態では、回転電機は、IPMモータに限らず、SPMモータであってもよい。また、回転電機は、ブラシレスモータに限らず、発電機の機能を併せ持つ、所謂モータジェネレータであってもよい。また、上記実施形態では、回転電機制御装置は、電動パワーステアリング装置に適用される。他の実施形態では、回転電機制御装置を、ステアバイワイヤ装置等、操舵を司る電動パワーステアリング装置以外の装置に適用してもよい。

【0097】

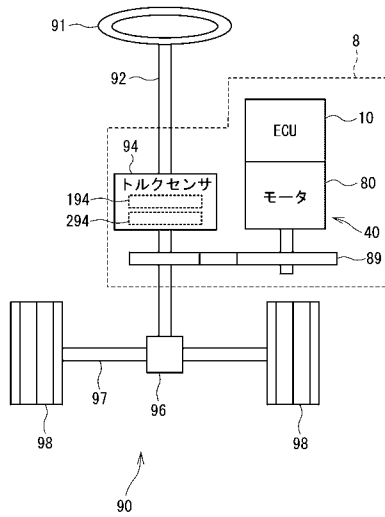
本開示に記載の制御部及びその手法は、コンピュータプログラムにより具体化された一つ乃至は複数の機能を実行するようにプログラムされたプロセッサ及びメモリを構成することによって提供された専用コンピュータにより、実現されてもよい。あるいは、本開示に記載の制御部及びその手法は、一つ以上の専用ハードウェア論理回路によってプロセッサを構成することによって提供された専用コンピュータにより、実現されてもよい。もしくは、本開示に記載の制御部及びその手法は、一つ乃至は複数の機能を実行するようにプログラムされたプロセッサ及びメモリと一つ以上のハードウェア論理回路によって構成されたプロセッサとの組み合わせにより構成され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。以上、本発明は、上記実施形態になんら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可能である。

【符号の説明】

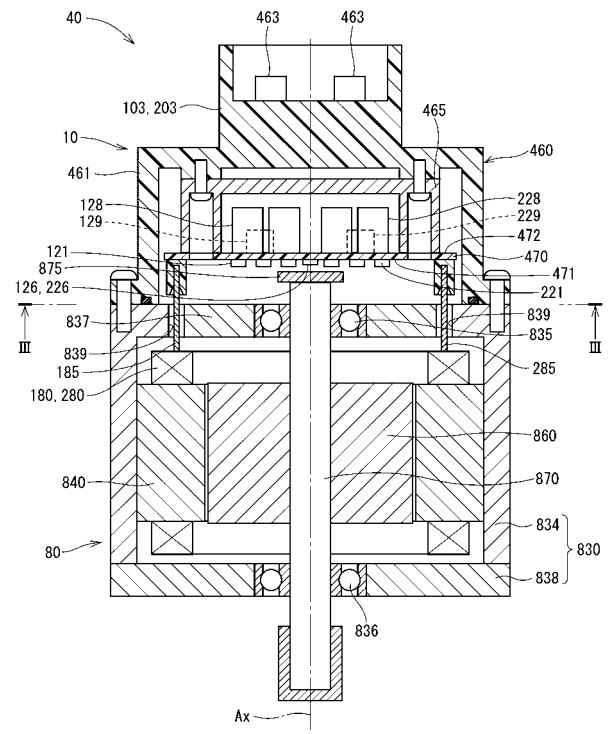
【0098】

- 10・・・ECU（回転電機制御装置）
- 80・・・モータ（回転電機）
- 151～154・・・第1制御部（制御部、マスター制御部）
- 251～254・・・第2制御部（制御部、スレーブ制御部）
- 512、560、612、660、661・・・基本指令演算部
- 521、621・・・弱め界磁演算部
- 522、622・・・d軸電流指令調停部
- 525、625・・・d軸電流指令演算部
- 530、630・・・電流制御演算部（信号生成部）
- 555、655・・・PWM出力部（信号生成部）

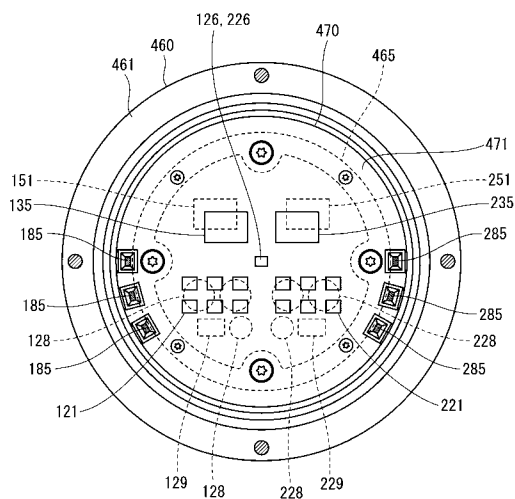
【図 1】



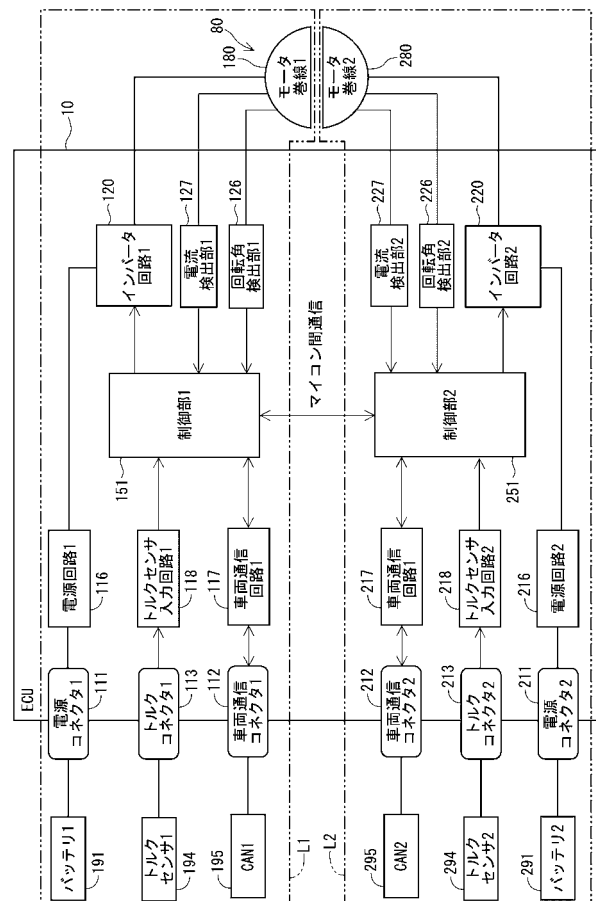
【図 2】



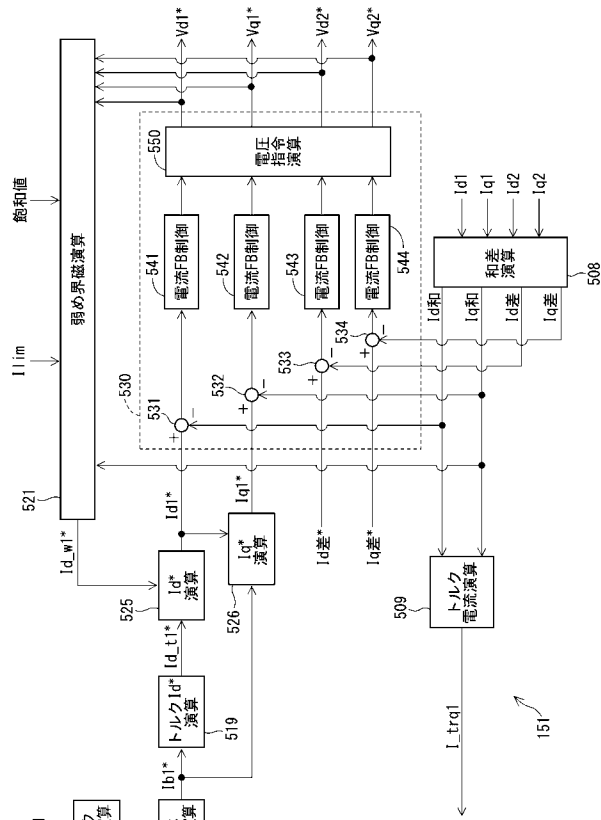
【図 3】



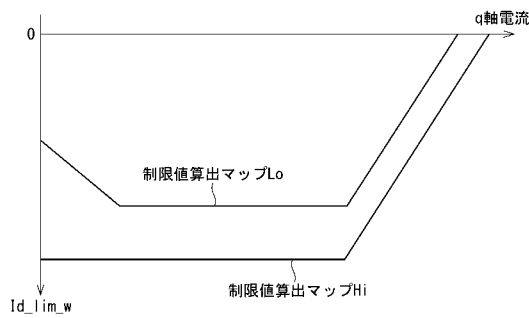
【図 4】



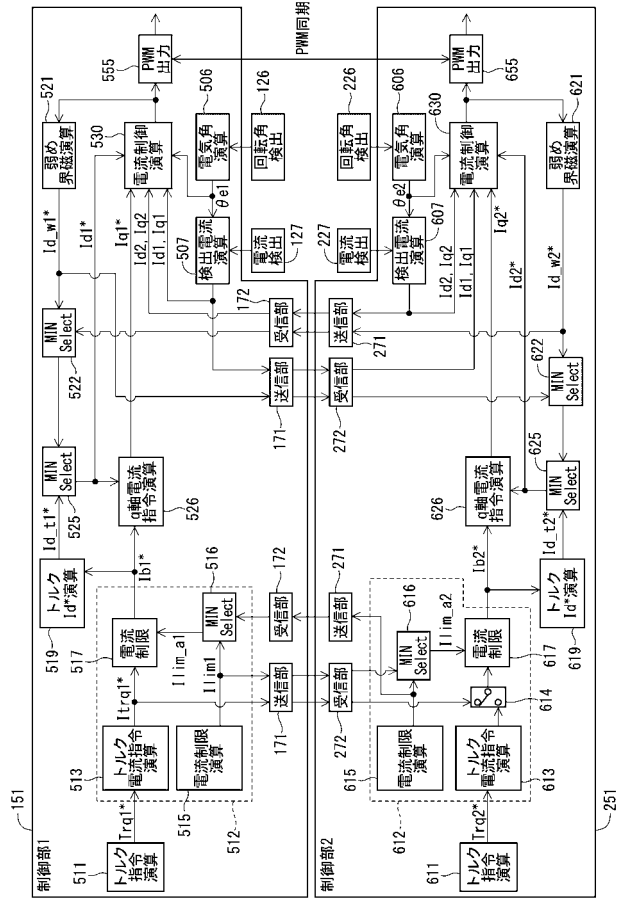
【図5】



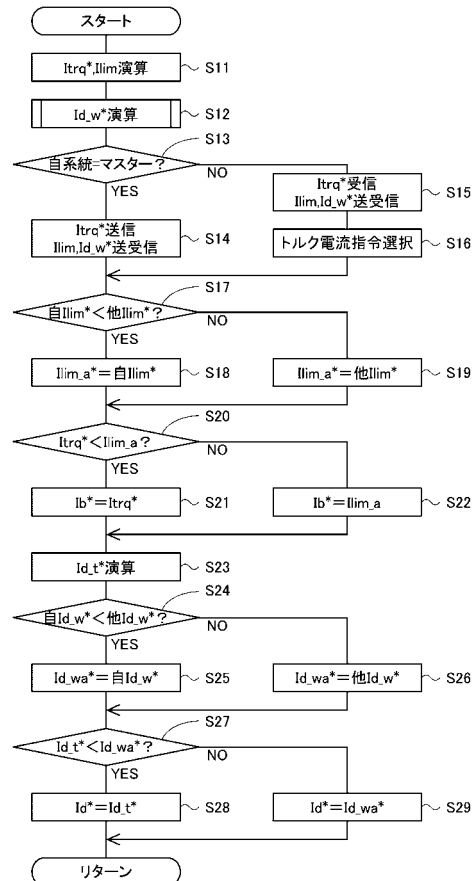
【図7】



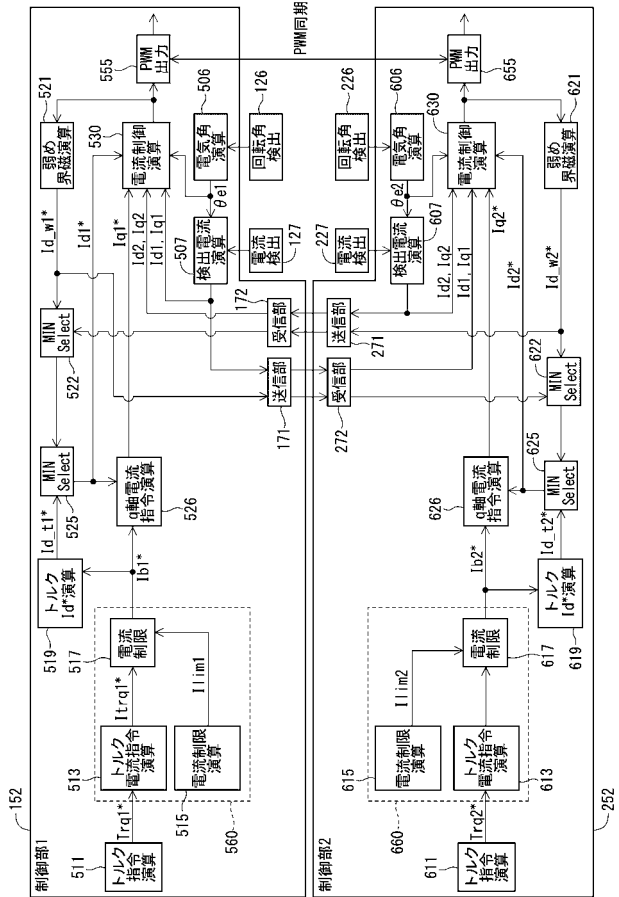
【図6】



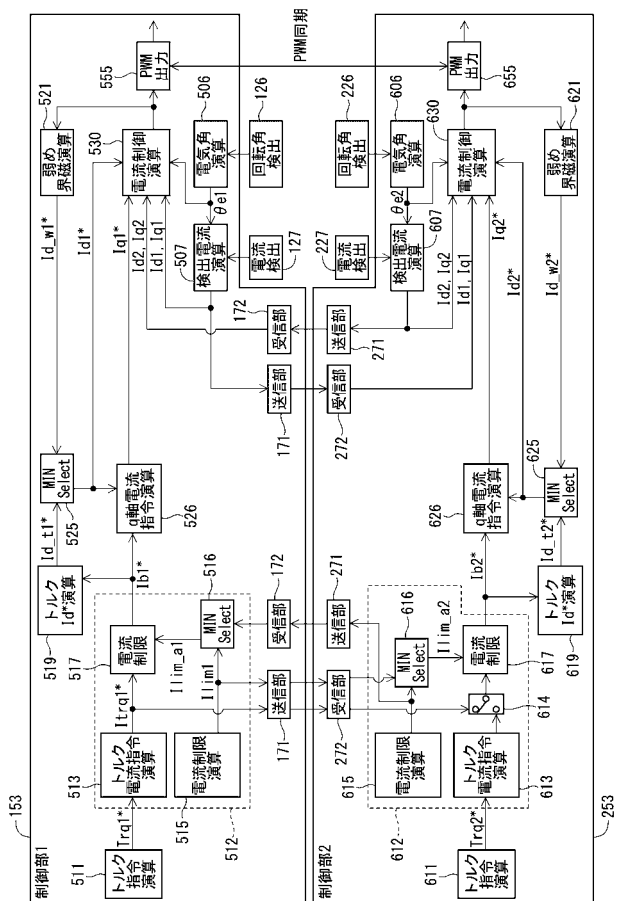
【図8】



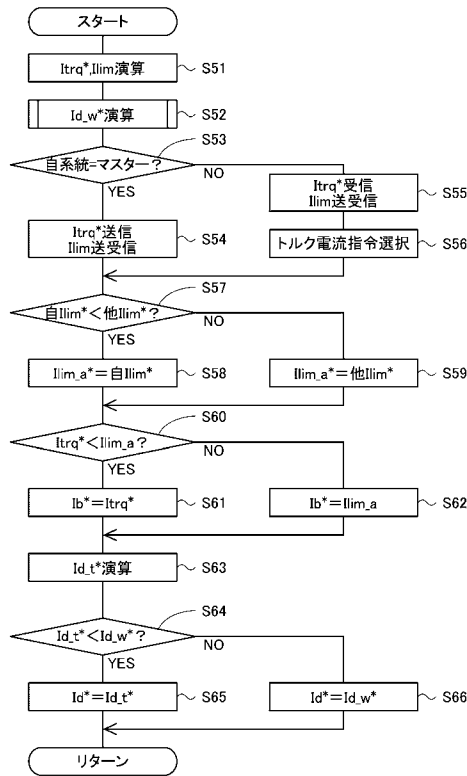
【 図 1 0 】



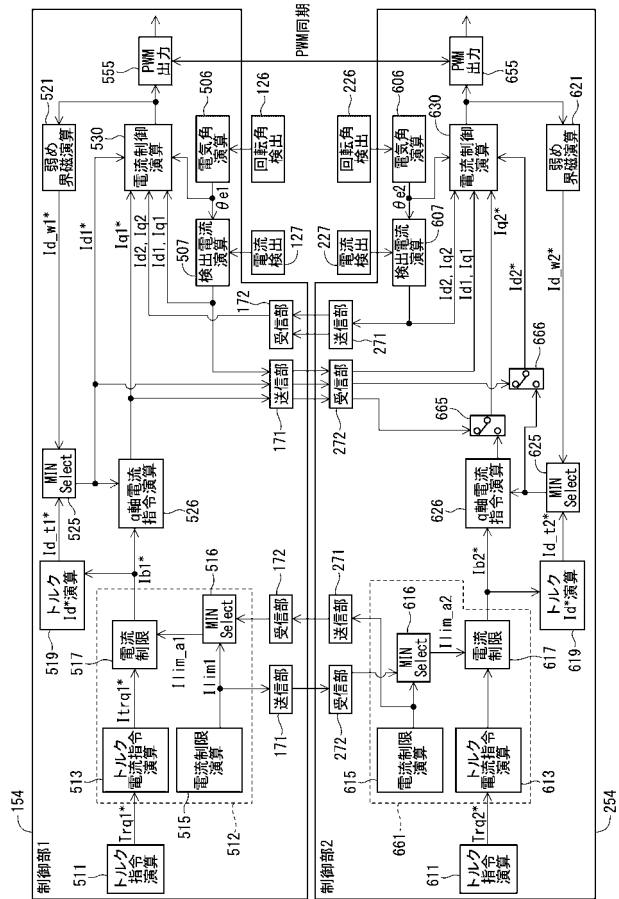
【 図 1 2 】



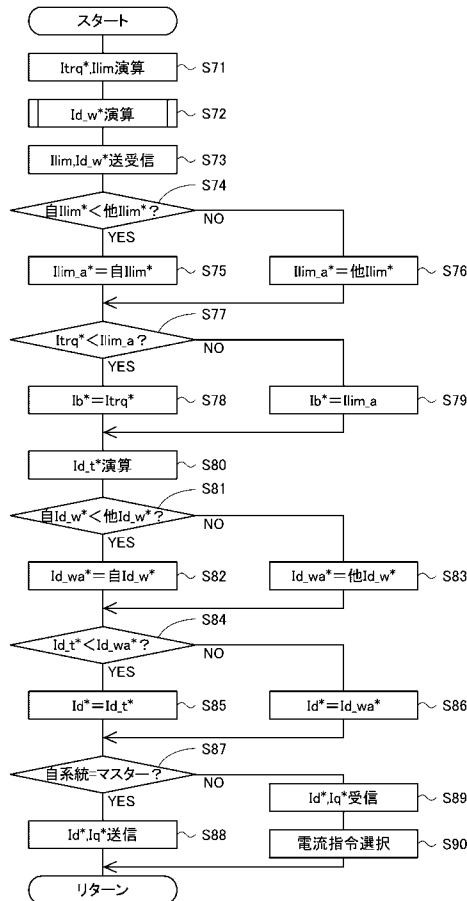
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

F ターム(参考) 3D232 CC32 CC33 DA15 DA23 DA63 DA64 DA65 DC08 DC29 DC33
DC34 DD01 DD10 DD17 DE05 EB11 EC23
3D333 CB02 CB13 CC06 CC44 CC45 CC46 CC47 CD04 CD07 CD14
CD16 CD21 CD23 CD31 CD56 CD57 CD58 CD59 CD60 CE05
CE16 CE29 CE30 CE31 CE32
5H505 AA16 CC04 DD08 EE30 EE41 EE49 GG04 HB01 HB05 JJ03
JJ30 LL22 LL41 LL55 MM13