

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2024-174448
(P2024-174448A)

(43)公開日 令和6年12月17日(2024.12.17)

(51)国際特許分類
H 0 2 P 25/22 (2006.01)
H 0 2 P 27/08 (2006.01)

F I
H 0 2 P 25/22
H 0 2 P 27/08

テーマコード (参考)
5 H 5 0 5

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全37頁)

(21)出願番号	特願2023-92274(P2023-92274)	(71)出願人	000004260
(22)出願日	令和5年6月5日(2023.6.5)		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	110003214
			弁理士法人服部国際特許事務所
		(72)発明者	新立 剛丈
			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	大竹 弘泰
			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)	5H505 AA16 BB06 CC04 DD03 DD08 EE08 EE30 EE41 EE49 GG04 HB01 HB05 JJ03 JJ12 JJ17 JJ24
			最終頁に続く

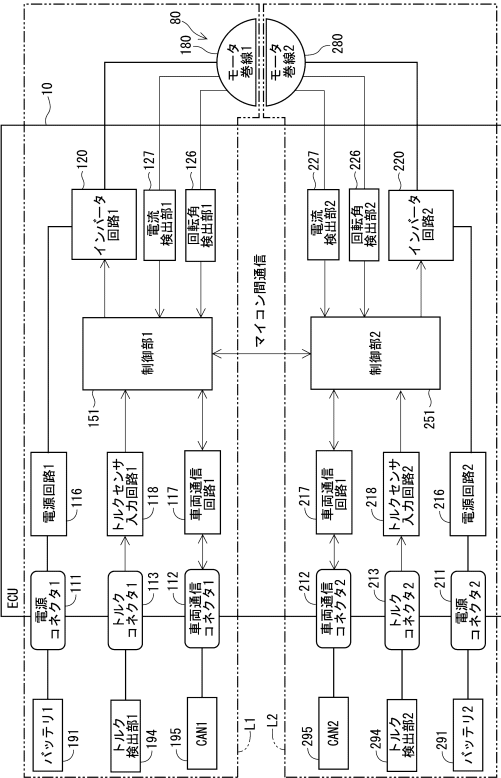
(54)【発明の名称】 回転電機制御装置

(57)【要約】

【課題】 過電流を抑制可能な回転電機制御装置を提供する。

【解決手段】 ECU10は、複数組のモータ巻線180、280を有するモータ80の駆動を制御するものであって、複数の制御部151、251を備える。制御部151、251は、電流検出値および電流指令値に基づいてモータ巻線180、280に印加する電圧指令値を演算し、電圧指令値に基づいてモータ巻線180、280の通電を制御する通電制御部を有し、モータ巻線180、280ごとに設けられて相互に通信可能である。ECU10は、系統間で少なくとも1つのパラメータを共用して通電制御を行う協調駆動制御を実施可能である。第2制御部251は、第1制御部151から送信された電流指令値を用いてモータ巻線の通電制御を行う。第1制御部151は、第2制御部251に送信したものと同一電流指令値を用いてモータ巻線の通電制御を行う。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数組のモータ巻線（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、

前記モータ巻線に通電される電流の電流検出値および電流指令値に基づいて前記モータ巻線に印加する電圧指令値を演算し、前記電圧指令値に基づいて前記モータ巻線の通電を制御する通電制御部（５００、６００）を有し、前記モータ巻線ごとに設けられて相互に通信可能である複数の制御部（１５１、２５１）を備え、

前記モータ巻線と対応する前記制御部との組み合わせを系統とし、系統間で少なくとも１つのパラメータを共用して通電制御を行う協調駆動制御を実施可能であって、

１つの前記制御部（１５１）をメイン制御部、他の前記制御部（２５１）をサブ制御部とすると、

前記サブ制御部は、前記メイン制御部から送信された前記電流指令値を用いて前記モータ巻線の通電制御を行い、

前記メイン制御部は、前記サブ制御部に送信したものと同一前記電流指令値を用いて前記モータ巻線の通電制御を行う、回転電機制御装置。

【請求項 2】

前記メイン制御部は、前記サブ制御部に送信する前記電流指令値を格納可能な送信部（１７１）を有し、前記送信部に格納した前記電流指令値を用いて前記モータ巻線の通電制御を行う請求項 1 に記載の回転電機制御装置。

【請求項 3】

前記メイン制御部は、前記サブ制御部に送信する前記電流指令値を格納可能な送信部（１７１）を有し、前記送信部に格納されている前記電流指令値が更新されていない場合、前記電流指令値として前回値を保持して前記モータ巻線の通電制御を行う請求項 1 に記載の回転電機制御装置。

【請求項 4】

前記サブ制御部は、前記メイン制御部から送信された前記電流指令値を前記メイン制御部に送り返し、

前記メイン制御部にて、前記サブ制御部から送り返された前記電流指令値と、自系統の前記電流指令値とを比較し、値が異なっていた場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する請求項 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】

複数組のモータ巻線（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、

前記モータ巻線に通電される電流の電流検出値および電流指令値に基づいて前記モータ巻線に印加する電圧指令値を演算し、前記電圧指令値に基づいて前記モータ巻線の通電を制御する通電制御部（５００、６００）を有し、前記モータ巻線ごとに設けられて相互に通信可能である複数の制御部（１５１、２５１）を備え、

前記モータ巻線と対応する前記制御部との組み合わせを系統とし、系統間で少なくとも１つのパラメータを共用して通電制御を行う協調駆動制御を実施可能であって、

前記通電制御部は、自系統の前記電流検出値と他系統の前記電流検出値との電流和および電流差を用いた電流フィードバック制御において、電流和に基づくフィードバック演算結果である和のフィードバック制御量、および、電流差に基づくフィードバック演算結果である差のフィードバック制御量の上下限を制限する回転電機制御装置。

【請求項 6】

前記和のフィードバック制御量の上下限を制限する和の制限値と、前記差のフィードバック制御量の上下限を制限する差の制限値とは等しい、請求項 5 に記載の回転電機制御装置。

【請求項 7】

前記通電制御部は、前記和のフィードバック制御量または前記差のフィードバック制御

10

20

30

40

50

量の一方が制限値で制限されている場合、前記和のフィードバック制御量または前記差のフィードバック制御量の他方は、前回値を保持する請求項 5 に記載の回転電機制御装置。

【請求項 8】

1 つの前記制御部は、電流制御演算に用いる定数である設定定数を、他の前記制御部に送信する請求項 1 ～ 3、5 ～ 7 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 9】

前記制御部は、電流制御に用いる定数である設定定数について、自身で持つ値と他の前記制御部の値とが異なっている場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する請求項 1 ～ 3、5 ～ 7 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 10】

前記制御部は、前記電流検出値、または、複数系統の前記電流検出値の和が電流異常判定閾値より大きい場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する請求項 1 ～ 3、5 ～ 7 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 11】

前記制御部は、前記電圧指令値が電圧異常判定閾値より大きい場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する請求項 1 ～ 3、5 ～ 7 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 12】

前記制御部は、前記モータ巻線の通電の切り替えに係るインバータ回路（120、220）が実装される基板（20）の温度が過熱判定閾値より高い場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する請求項 1 ～ 3、5 ～ 7 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 13】

前記制御部は、自系統で前回の電流制御演算に用いた指令値である前回自系統指令値と、他系統で前回の電流制御演算に用いた指令値である前回他系統指令値とを比較し、前記前回自系統指令値と前記前回他系統指令値とが異なっていた場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する請求項 1 ～ 3、5 ～ 7 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 14】

前記電流指令値は、トルク指令値に基づいて演算されるトルク電流指令値であって、前記制御部は、前記トルク電流指令値に基づいて演算され、電流フィードバック制御に用いられる d 軸電流指令値および q 軸電流指令値を電流フィードバック制御演算の前に他系統に係る値と比較し、前記 d 軸電流指令値および前記 q 軸電流指令値の少なくとも一方が他系統に係る値と異なる場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する請求項 1 ～ 3、5 ～ 7 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 15】

前記制御部は、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止するとき、ドライバに警告する警告部（565、665）を有する請求項 1 ～ 3、5 ～ 7 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【発明の詳細な説明】

【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、複数の系統を協調させて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、第 1 制御部にて演算された指令値に基づき、第 1 系統および第 2 系統の通電を制御する。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 8 - 1 3 0 0 0 7 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

第 1 制御部から通信にて送られる指令値を用いて第 2 制御部での演算を行う場合、例えば第 1 制御部側にて演算負荷増大等により指令演算が通信タイミングに間に合わず、第 1 制御部と第 2 制御部とで異なる指令値を用いた制御が行われると、電圧指令値が増大し、過電流が生じる虞がある。

【 0 0 0 5 】

また、協調駆動制御において、複数系統の電流和および電流差を制御している場合、系統間で電流指令値が異なると、制御量が増大する。また、この状態で電流和と電流差の制御量のバランスが崩れると、過電流が生じる虞がある。

【 0 0 0 6 】

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、過電流を抑制可能な回転電機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】

【 0 0 0 7 】

本発明の回転電機制御装置は、複数組のモータ巻線（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、モータ巻線に通電される電流の電流検出値および電流指令値に基づいてモータ巻線に印加する電圧指令値を演算し、電圧指令値に基づいてモータ巻線の通電を制御する通電制御部（500、600）を有し、モータ巻線ごとに設けられて相互に通信可能である複数の制御部（151、251）を備える。回転電機制御装置は、モータ巻線と対応する制御部との組み合わせを系統とし、系統間で少なくとも 1 つのパラメータを共用して通電制御を行う協調駆動制御を実施可能である。

【 0 0 0 8 】

1 つの態様では、1 つの制御部（151）をメイン制御部、他の制御部（251）をサブ制御部とすると、サブ制御部は、メイン制御部から送信された電流指令値を用いてモータ巻線の通電制御を行い、メイン制御部は、サブ制御部に送信したのと同じ電流指令値を用いてモータ巻線の通電制御を行う。

【 0 0 0 9 】

もう 1 つの態様では、通電制御部は、自系統の電流検出値と他系統の電流検出値との電流和および電流差を用いた電流フィードバック制御において、電流和に基づくフィードバック演算結果である和のフィードバック制御量、および、電流差に基づくフィードバック演算結果である差のフィードバック制御量の上下限を制限する。これにより、過電流を防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】第 1 実施形態による電動パワーステアリング装置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。

【図 4】第 1 実施形態による E C U の構成を示すブロック図である。

【図 5】第 1 実施形態による第 1 制御部の通電制御部を示すブロック図である。

【図 6】第 1 実施形態による第 1 制御部および第 2 制御部の通電制御部を示すブロック図である。

【図 7】参考例による電流制御処理を説明するタイムチャートである。

【図 8】第 1 実施形態による電流制御処理を説明するタイムチャートである。

【図 9】第 1 実施形態による電流制御処理を説明するフローチャートである。

【図 10】第 2 実施形態による電流制御処理を説明するフローチャートである。

【図 11】第 2 実施形態による電流制御処理を説明するタイムチャートである。

10

20

30

40

50

- 【図 1 2】第 2 実施形態による電流制御処理を説明するタイムチャートである。
- 【図 1 3】第 2 実施形態による電流制御処理を説明するタイムチャートである。
- 【図 1 4】第 3 実施形態による設定定数送信処理を説明するフローチャートである。
- 【図 1 5】電流検出値および電流指令値を示すタイムチャートである。
- 【図 1 6】電流指令値が異なる場合の第 1 制御部の F B 制御量を示すタイムチャートである。
- 【図 1 7】電流指令値が異なる場合の第 2 制御部の F B 制御量を示すタイムチャートである。
- 【図 1 8】和の F B 制御量と差の F B 制御量の制限値が異なる場合の電圧指令値を示すタイムチャートである。
- 【図 1 9】和の F B 制御量と差の F B 制御量の制限値が異なる場合の電流を示すタイムチャートである。
- 【図 2 0】第 4 実施形態による F B 制御量制限処理を説明するフローチャートである。
- 【図 2 1】第 4 実施形態による F B 制御量および電圧指令値を示すタイムチャートである。
- 【図 2 2】第 4 実施形態による F B 制御量を示すタイムチャートである。
- 【図 2 3】第 4 実施形態による F B 制御量を示すタイムチャートである。
- 【図 2 4】第 5 実施形態による異常判定処理を説明するフローチャートである。
- 【図 2 5】第 5 実施形態による異常時処置への移行を説明するタイムチャートである。
- 【図 2 6】第 6 実施形態による異常判定処理を説明するフローチャートである。
- 【図 2 7】第 7 実施形態による第 1 制御部における指令値比較処理を説明するフローチャートである。
- 【図 2 8】第 7 実施形態による第 2 制御部における指令値比較処理を説明するフローチャートである。
- 【図 2 9】第 7 実施形態による指令値比較処理を説明するタイムチャートである。
- 【図 3 0】第 7 実施形態による指令値比較処理を説明するタイムチャートである。
- 【図 3 1】第 8 実施形態による第 1 制御部における指令値比較処理を説明するフローチャートである。
- 【図 3 2】第 8 実施形態による第 2 制御部における指令値比較処理を説明するフローチャートである。
- 【図 3 3】第 8 実施形態による指令値比較処理を説明するタイムチャートである。
- 【図 3 4】第 9 実施形態による第 1 制御部における指令値比較処理を説明するフローチャートである。
- 【図 3 5】第 9 実施形態による第 2 制御部における指令値比較処理を説明するフローチャートである。
- 【図 3 6】第 9 実施形態による指令値比較処理を説明するタイムチャートである。
- 【図 3 7】第 1 0 実施形態による第 1 制御部における設定定数比較処理を説明するフローチャートである。
- 【図 3 8】第 1 0 実施形態による第 1 制御部における設定定数比較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】

【0 0 1 1】

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。

【0 0 1 2】

(第 1 実施形態)

図 1 に示すように、回転電機制御装置としての E C U 1 0 は、回転電機としてのモータ 8 0 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。

【0 0 1 3】

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。

【0014】

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。

【0015】

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。

【0016】

図 1 および図 2 に示すように、電動パワーステアリング装置 8 は、駆動装置 1、および、動力伝達部である減速ギア 89 等を備える。駆動装置 1 は、モータ 80、および、ECU 10 を有する。駆動装置 1 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。

【0017】

減速ギア 89 は、モータ 80 の回転を減速して駆動対象であるステアリングシャフト 92 に伝える。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。

【0018】

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出力するものであって、2 組のモータ巻線 180、280 を有する。モータ 80 には、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、モータ巻線 180、280 への通電を制御す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、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。

【0019】

以下、第 1 モータ巻線 180 の通電制御に係る構成の組み合わせを第 1 系統 L1、第 2 モータ巻線 280 の通電制御に係る構成の組み合わせを第 2 系統 L2 とし、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、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 系統 L1 に係る値に添え字の「1」、第 2 系統 L2 に係る値に添え字の「2」を付して記載する。

【0020】

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

10

20

30

40

50

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。

【0021】

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。モータ巻線 180、280 の各相と接続されるリード線 185、285 は、リード線挿通孔 839 に挿通され、ECU10 側に取り出されて基板 20 に接続される。

【0022】

ロータ 860 は、ステータ 840 の径方向内側に設けられる。ステータ 840 の径方向外側には、マグネットが設けられており、ステータ 840 に対して相対回転可能に設けられる。

【0023】

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 ECU10 側の端部は、ハウジング 830 から ECU10 側に突出する。シャフト 870 の ECU10 側の端部には、マグネット 875 が設けられる。

【0024】

ECU10 は、カバー 11、カバー 11 に固定されているヒートシンク 15、ヒートシンク 15 に固定されている基板 20、および、基板 20 に実装される各種の電子部品等を備える。

【0025】

カバー 11 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 11 は、カバー本体 12 およびコネクタ部 13 が一体に形成されている。コネクタ部 13 は、カバー本体 12 とは別体であってもよい。コネクタ部 13 には、後述する電源コネクタ 111、211、車両通信コネクタ 112、212、および、トルクコネクタ 113、213 が含まれる。コネクタ端子 14 は、基板 20 と接続される。本実施形態では、コネクタ部 13 は、系統毎に設けられており、間口が 2 つであって、モータ 80 と反対側に開口している。間口の数や向き、端子数等は、適宜変更可能である。

【0026】

基板 20 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 20 には、2 系統分の電子部品が系統毎に領域を分けて実装されている。本実施形態では、1 枚の基板 20 に電子部品が実装されているが、複数の基板に分けて電子部品を実装してもよい。また、基板 20 をモータ 80 側（例えばリアフレームエンド 837）に固定してもよい。

【0027】

基板 20 の 2 つの主面のうち、モータ 80 側の面をモータ面 21、モータ 80 と反対側の面をカバー面 22 とする。図 3 に示すように、モータ面 21 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 IC 135、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。

【0028】

カバー面 22 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」と付番した。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 191、291 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 1 からバッテリー 191、291 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

10

20

30

40

50

検出部 1 2 7、2 2 7 等についても、モータ面 2 1 またはカバー面 2 2 に実装される。

【0029】

図 4 に示すように、E C U 1 0 は、インバータ回路 1 2 0、2 2 0、および、制御部 1 5 1、2 5 1 等を備える。E C U 1 0 には、電源コネクタ 1 1 1、2 1 1、車両通信コネクタ 1 1 2、2 1 2、および、トルクコネクタ 1 1 3、2 1 3 が設けられる。第 1 電源コネクタ 1 1 1 は、第 1 バッテリ 1 9 1 に接続され、第 2 電源コネクタ 2 1 1 は、第 2 バッテリ 2 9 1 に接続される。電源コネクタ 1 1 1、2 1 1 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 1 1 1 は、第 1 電源回路 1 1 6 を経由して、第 1 インバータ回路 1 2 0 と接続される。第 2 電源コネクタ 2 1 1 は、第 2 電源回路 2 1 6 を経由して、第 2 インバータ回路 2 2 0 と接続される。電源回路 1 1 6、2 1 6 には、例えば電源リレー等が含まれる。

10

【0030】

車両通信コネクタ 1 1 2 は車両通信網 1 9 5 に接続され、車両通信コネクタ 2 1 2 は車両通信網 2 9 5 に接続される。車両通信コネクタ 1 1 2、2 1 2 は、それぞれ別途の車両通信網 1 9 5、2 9 5 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 1 9 5、2 9 5 として、C A N (Controller Area Network) を例示しているが、C A N - F D (C A N with Flexible Data rate) や F l e x R a y 等、どのような規格のものでもよい。制御部 1 5 1、2 5 1 は、それぞれ、車両通信回路 1 1 7、2 1 7 を経由して車両通信網 1 9 5、2 9 5 と各種信号の送受信を行う。

【0031】

トルクコネクタ 1 1 3、2 1 3 は、トルクセンサ 9 4 と接続される。詳細には、第 1 トルクコネクタ 1 1 3 は、第 1 トルク検出部 1 9 4 と接続される。第 2 トルクコネクタ 2 1 3 は、第 2 トルク検出部 2 9 4 と接続される

20

【0032】

第 1 制御部 1 5 1 は、トルクコネクタ 1 1 3 およびトルクセンサ入力回路 1 1 8 を経由して、第 1 トルク検出部 1 9 4 から操舵トルク T s に係るトルク信号を取得可能である。第 2 制御部 2 5 1 は、トルクコネクタ 2 1 3 およびトルクセンサ入力回路 2 1 8 を経由して、第 2 トルク検出部 2 9 4 から操舵トルク T s に係るトルク信号を取得可能である。これにより、制御部 1 5 1、2 5 1 は、トルク信号に基づき、操舵トルク T s を演算可能である。

30

【0033】

第 1 インバータ回路 1 2 0 は、6 つのスイッチング素子 1 2 1 を有する 3 相インバータであって、第 1 モータ巻線 1 8 0 へ供給される電力を変換する。スイッチング素子 1 2 1 は、第 1 制御部 1 5 1 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 2 2 0 は、6 つのスイッチング素子 2 2 1 を有する 3 相インバータであって、第 2 モータ巻線 2 8 0 へ供給される電力を変換する。スイッチング素子 2 2 1 は、第 2 制御部 2 5 1 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。

【0034】

第 1 電流検出部 1 2 7 は、第 1 モータ巻線 1 8 0 の各相に通電される電流を検出し、検出値を第 1 制御部 1 5 1 に出力する。第 2 電流検出部 2 2 7 は、第 2 モータ巻線 2 8 0 の各相に通電される電流を検出し、検出値を第 2 制御部 2 5 1 に出力する。第 1 回転角検出部 1 2 6 は、モータ 8 0 の回転角を検出し、検出値を第 1 制御部 1 5 1 に出力する。第 2 回転角検出部 2 2 6 は、モータ 8 0 の回転角を検出し、検出値を第 2 制御部 2 5 1 に出力する。

40

【0035】

制御部 1 5 1、2 5 1 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 C P U、R O M、R A M、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 1 5 1、2 5 1 における各処理は、R O M 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 C P U 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

50

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、FlexRay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。

【0036】

本実施形態の電流制御を図5および図6に示す。図5および図6では、簡略化のため、制御線やブロックを一部省略している。図5は、第1制御部151について示しており、第2制御部251の記載は省略した。また、図6では、記載の都合上、送信部171、271および受信部172、272を適宜分けて記載した。以下、第1系統L1の値と第2系統L2の値とを読み替えれば同様である点については、d軸電流演算等、第2制御部251に係る説明は適宜省略し、第1制御部151を例に説明する。

10

【0037】

本実施形態では、第1系統L1をメイン系統、第2系統L2をサブ系統として説明する。ここでは、どちらの指令を優先的に使用するかを区別するために便宜的に「メイン」、「サブ」としているが、出力は同等である。以下、第1系統L1をメイン、第2系統L2をサブとして第1系統L1と第2系統L2とを協調させる制御を「協調駆動制御」、第1系統L1と第2系統L2とを協調させずに2系統で駆動する制御を「独立駆動制御」、第1系統L1または第2系統L2の一方で駆動する制御を「片系統駆動制御」とする。

【0038】

図5および図6に示すように、第1制御部151は、通電制御部500、異常判定部560、警告部565、送信部171、および、受信部172等を有する。通電制御部500は、第1モータ巻線180の通電を制御するものであって、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、および、PWM出力部555等が含まれる。

20

【0039】

第2制御部251は、通電制御部600、異常判定部660、警告部665、送信部271、および、受信部272、等を有する。通電制御部600は、第2モータ巻線280の通電を制御するものであって、電気角演算部606、検出電流演算部607、トルク指令演算部611、基本指令演算部612、トルクd軸電流指令演算部619、弱め界磁演算部621、弱め界磁d軸電流指令調停部622、d軸電流指令演算部625、q軸電流指令演算部626、電流制御演算部630、および、PWM出力部655等が含まれる。

30

【0040】

送信部171は、第1制御部151にて演算された値が格納され、通信タイミングにて格納されている値を第2制御部251に送信する。受信部172は、第2制御部251から送信された値を受信する。送信部271は、第2制御部251にて演算された値が格納され、通信タイミングにて格納されている値を第1制御部151に送信する。受信部272は、第1制御部151から送信された値を受信する。

【0041】

電気角演算部506は、回転角検出部126の検出値に基づき、電気角 θ_{e1} を演算する。検出電流演算部507は、電流検出部127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507は、電気角 θ_{e1} を用いて各相電流 I_{u1} 、 I_{v1} 、 I_{w1} をdq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、「dq軸」とする。dq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250に送信され、他系統での電流制御にも用いられる。

40

【0042】

図5に示すように和差演算部508は、第1系統L1のdq軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、および、第2系統L2のdq軸電流検出値 I_{d2} 、 I_{q2} を取得する。和差演算部5

50

08は、d軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{d2} の和であるd軸電流和 I_{d_a} 、d軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{d2} の差であるd軸電流差 I_{d_s} 、q軸電流検出値 I_{q1} 、 I_{q2} の和であるq軸電流和 I_{q_a} 、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_s} 演算する。トルク電流演算部509は、d軸電流和 I_{d_a} およびq軸電流和 I_{q_a} 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80の出力トルクをモニタしている。

【0043】

図6に示すように、トルク指令演算部511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。基本指令演算部512は、トルク電流指令演算部513、電流制限演算部515、電流制限調停部516、および、電流制限部517を有し、基本電流指令値 I_{b1}^* を演算する。基本指令演算部612は、トルク電流指令演算部613、切替部614、電流制限演算部615、電流制限調停部616、および、電流制限部617を有し、基本電流指令値 I_{b2}^* を演算する。

10

【0044】

トルク電流指令演算部513、613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251に送信される。

【0045】

切替部614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、切替部614は、協調駆動制御のとき、第1トルク電流指令値 I_{trq1}^* を用い、独立駆動制御または第2系統L2での片系統駆動制御のとき、第2トルク電流指令値 I_{trq2}^* を選択する。

20

【0046】

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。

【0047】

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_m1} を演算する。本実施形態では、ミニマムセレクトにて、自系統の電流制限値 I_{lim1} または他系統の電流制限値 I_{lim2} の小さい方の値を調停後電流制限値 I_{lim_m1} とする。

30

【0048】

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_m1} に基づき、小さい方の値を基本電流指令値 I_{b1}^* を演算する。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_m2} に基づき、小さい方の値を基本電流指令値 I_{b2}^* を演算する。

【0049】

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。

【0050】

40

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。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_a} を取得し、q軸電流和 I_{q_a} 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。弱め界磁演算部521は、制限前弱め界磁d軸電流指令値 $I_{d_wb1}^*$ および弱め界磁d軸電流制限値 $I_{d_lim_w1}$ に基づき、絶対値が小さい方の値を弱め界磁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。

【0051】

50

弱め界磁 d 軸電流指令調停部 5 2 2 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 $I_{d_wm1}^*$ 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 $I_{d_wm1}^*$ を演算する。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 5 2 2 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 5 2 5 に入力されるものとして記載した。

【0052】

d 軸電流指令演算部 5 2 5 は、トルク d 軸電流指令値 $I_{d_t1}^*$ および調停後弱め界磁 d 軸電流指令値 $I_{d_wm1}^*$ に基づき、ミニマムセレクトにて、d 軸電流指令値 I_{d1}^* を演算する。q 軸電流指令演算部 5 2 6 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。

【0053】

電流制御演算部 5 3 0 は、電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* 等に基づき、電流和指令値 $I_{d_a}^*$ 、 $I_{q_a}^*$ および電流差指令値 $I_{d_s}^*$ 、 $I_{q_s}^*$ を演算する。図 5 に示すように、電流制御演算部 5 3 0 は、減算器 5 3 1～5 3 4、電流フィードバック制御部 5 4 1～5 4 4、および、電圧指令演算部 5 5 0 等を有する。

【0054】

減算器 5 3 1 は、d 軸電流和指令値 $I_{d_a}^*$ から d 軸電流和 I_{d_a} を減算し、d 軸電流和偏差 ΔI_{d_a} を演算する。減算器 5 3 2 は、q 軸電流和指令値 $I_{q_a}^*$ から q 軸電流和 I_{q_a} を減算し、q 軸電流和偏差 ΔI_{q_a} を演算する。減算器 5 3 3 は、d 軸電流差指令値 $I_{d_s}^*$ から d 軸電流差 I_{d_s} を減算し、d 軸電流差偏差 ΔI_{d_s} を演算する。減算器 5 3 4 は、q 軸電流差指令値 $I_{q_s}^*$ から q 軸電流差 I_{q_s} を減算し、q 軸電流差偏差 ΔI_{q_s} を演算する。

【0055】

電流フィードバック制御部 5 4 1～5 4 4 は、それぞれ、d 軸電流和偏差 ΔI_{d_a} 、q 軸電流和偏差 ΔI_{q_a} 、d 軸電流差偏差 ΔI_{d_s} 、q 軸電流差偏差 ΔI_{q_s} が 0 に収束するように、例えば P I 演算等により、和の F B 制御量 $F B_{d_a}$ 、 $F B_{q_a}$ 、および、差の F B 制御量 $F B_{d_s}$ 、 $F B_{q_s}$ を演算する。電圧指令演算部 5 5 0 は、F B 制御量 $F B_{d_a}$ 、 $F B_{q_a}$ 、 $F B_{d_s}$ 、 $F B_{q_s}$ に基づき、電圧指令値 V_{d1}^* 、 V_{q1}^* 、 V_{d2}^* 、 V_{q2}^* を演算する。すなわち本実施形態の協調駆動制御では、2 系統の電流和と電流差を制御する「和と差の制御」を行っている。これにより、相互インダクタンスの影響を打ち消すことができる。

【0056】

PWM 出力部 5 5 5 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。

【0057】

異常判定部 5 6 0 は、電流検出値等の異常を判定する。異常が検出された場合、異常時処置を行う。警告部 5 6 5 は、異常時処置を行う場合、ワーニングランプ等によりドライバに異常を警告する。ドライバへの警告は、ワーニングランプの点灯に限らず、ディスプレイ表示や音声での警告としてもよい。異常判定および異常時処置の詳細は、後述の実施形態にて説明する。

【0058】

協調駆動制御において、第 2 系統 L 2 では、第 1 系統 L 1 からマイコン間通信にて送信される電流指令値を用いて電流制御を行う。詳細には、第 1 系統 L 1 から送信される電流指令値は、第 1 トルク電流指令値 I_{trq1}^* であるが、以下適宜、説明の簡略化のため

10

20

30

40

50

、協調駆動制御時に制御部 151、251 にて共通して用いられる電流指令値を、電流指令値 I^* とする。

【0059】

電流制御演算を図 7 および図 8 のタイムチャートに基づいて説明する。図 7 および図 8 では、共通時間軸を横軸とし、上段から、第 1 制御部 151 での電流指令演算、送信電流指令値格納、第 1 制御部 151 での電流フィードバック制御、マイコン間通信、受信電流指令値格納、第 2 制御部 251 での電流フィードバック制御である。以下、「フィードバック」を、適宜「FB」と記載する。

【0060】

図 7 等において、上から 3 段は第 1 制御部 151 での処理であり、下 2 段は第 2 制御部 251 での処理であり、図中の「(L1)」は第 1 制御部 151 での処理、「(L2)」は第 2 制御部 251 での処理であることを意味する。また、「<Ca>」といった具合に適宜演算値を記載するとともに、演算値のやり取りを一点鎖線の矢印で示した。また図 7 および図 8 では、指令演算周期（例えば 400 [μ s]）よりも電流 FB 演算周期（例えば 200 [μ s]）の方が短い場合を例示した。

【0061】

図 7 に示すように、時刻 $x10$ ～時刻 $x11$ にて、第 1 制御部 151 で演算された電流指令値 I^* の値を Ca とすると、時刻 $x12$ にて電流指令値 I^* として値 Ca が送信部 171 に格納される。時刻 $x12$ は、時刻 $x13$ にて開始するマイコン間通信の格納データ更新タイミングである。時刻 $x13$ にて第 1 制御部 151 から第 2 制御部 251 に送信された電流指令値 I^* は、時刻 $x14$ にて受信部 272 に格納される。また、時刻 $x15$ では、電流制御演算部 530、630 における電流指令値 I^* の値は共に Ca であって、同一の値を用いた電流 FB 演算が行われる。

【0062】

ここで、時刻 $x16$ からの電流指令値演算において、演算負荷の増大等により、電流指令値 I^* の演算がマイコン間通信の格納データ更新タイミングである時刻 $x17$ に間に合わなかった場合、送信部 171 には前回値 Ca が保持され、時刻 $x18$ では、電流指令値 I^* として値 Ca が第 2 制御部 251 に送信される。第 2 制御部 251 では、時刻 $x19$ にて、電流指令値 I^* として値 Ca を用いた電流 FB 演算が行われる。

【0063】

参考例として、時刻 $x19$ において、第 1 制御部 151 での電流 FB 演算に電流指令値 I^* として最新の値 Cb を用いると、制御部 151、251 にて、異なる指令値での電流 FB 制御が行われることになる。各系統で電流指令値 I^* が異なる場合、電圧指令値が増大し、異常電流が発生する虞がある。

【0064】

そこで本実施形態では、第 1 制御部 151 および第 2 制御部 252 にて同一の電流指令値 I^* を用いた電流 FB 演算を行うべく、第 1 制御部 151 では、送信部 171 に格納されている値を電流 FB 演算に用いる。

【0065】

図 8 に示すように、時刻 $x20$ ～時刻 $x21$ にて、第 1 制御部 151 での電流指令演算で演算された値 Ca は、時刻 $x22$ にて送信部 171 に格納され、時刻 $x23$ にてマイコン間通信にて第 2 制御部 251 に送信される。第 2 制御部 252 側の処理は、図 7 と同様である。第 1 制御部 151 は、時刻 $x24$ において、送信部 171 に格納されている値 Ca を電流指令値 I^* として用いて電流 FB 演算を行う。

【0066】

時刻 $x30$ からの電流指令演算において、電流指令値 I^* の演算がマイコン間通信の格納データ更新タイミングの時刻 $x31$ に間に合わなかった場合、送信部 171 には前回更新時の値 Ca が保持されているので、時刻 $x33$ では、第 1 制御部 151 は電流指令値 I^* として値 Ca を用いて電流 FB 演算を行う。すなわち、第 1 制御部 151 は、時刻 $x32$ にて電流指令値 I^* の演算が完了しているが、第 2 制御部 251 と用いる値を揃えるべ

く、時刻 $x32$ にて演算された値 Cb ではなく、送信部 171 に格納されている前回値である値 Ca を用いて電流 FB 演算を行う。

【0067】

次のデータ更新タイミングである時刻 $x34$ では、時刻 $x32$ にて演算完了した値 Cb が電流指令値 I^* として送信部 171 に格納され、時刻 $x35$ にて第2制御部 251 に送信される。時刻 $x36$ では、制御部 151、251 は、共に値 Cb を電流指令値 I^* として用いて電流 FB 制御を行う。

【0068】

本実施形態の電流制御処理を図9のフローチャートに基づいて説明する。この処理は、メイン制御部である第1制御部 151 における処理である。以下、ステップ $S101$ 等の「ステップ」を省略し、単に記号「 S 」と記す。

10

【0069】

$S101$ では、第1制御部 151 は、電流指令値 I^* を演算する。 $S102$ では、第1制御部 151 は、所定の更新タイミングにて送信部 171 のデータを更新する。ここでは、電流指令演算が終わっていない場合、前回値が保持される。 $S103$ では、第1制御部 151 は、マイコン間通信にて送信部 171 に格納されているデータを第2制御部 251 へ送信する。 $S104$ では、第1制御部 151 は、送信部 171 に格納されている電流指令値 I^* を用いて電流 FB 制御演算を行う。

【0070】

本実施形態では、第1系統 $L1$ と第2系統 $L2$ で同一の電流指令値 I^* を用いた電流 FB 演算が行われるように、第1制御部 151 では、送信部 171 に格納されている値を用いて電流 FB 演算を行う。これにより、マイコン間通信タイミングに電流指令値 I^* の演算が間に合わなかった場合であっても、制御部 151、251 にて、同じ値を用いた電流フィードバック演算を行うことができる。

20

【0071】

以上説明したように、 $ECU10$ は、複数組のモータ巻線 180、280 を有するモータ 80 の駆動を制御するものであって、複数の制御部 151、251 を備える。制御部 151、251 は、通電制御部 500、600 を有し、モータ巻線 180、280 ごとに設けられて相互に通信可能である。通電制御部 500、600 は、モータ巻線 180、280 に通電される電流の電流検出値および電流指令値に基づいてモータ巻線 180、280 に印加する電圧指令値を演算し、電圧指令値に基づいてモータ巻線 180、280 の通電を制御する。

30

【0072】

$ECU10$ は、モータ巻線 180、280 と対応する制御部 151、251 との組み合わせを系統とし、系統間で少なくとも1つのパラメータを共用して通電制御を行う協調駆動制御を実施可能である。パラメータには、電流指令値や電流検出値等が含まれる。電流以外に係る指令値や検出値を含んでもよい。詳細には、本実施形態では、協調駆動制御において、電流検出値 $Id1$ 、 $Iq1$ 、 $Id2$ 、 $Iq2$ 、および、トルク電流指令値 $Itrq1^*$ 等が共用される。

【0073】

40

1つの制御部 151 をメイン制御部、他の制御部 251 をサブ制御部とすると、第2制御部 251 は、第1制御部 151 から送信された電流指令値 I^* を用いてモータ巻線 280 の通電制御を行う。第1制御部 151 は、第2制御部 251 に送信したものと同一電流指令値 I^* を用いてモータ巻線 180 の通電制御を行う。制御部 151、251 で同じ電流指令値 I^* を用いることで、系統間での指令値乖離による異常電流の発生を防ぐことができる。

【0074】

第1制御部 151 は、第2制御部 251 に送信する電流指令値 I^* を格納可能な送信部 171 を有し、送信部 171 に格納した電流指令値 I^* を用いてモータ巻線 180 の通電制御を行う。これにより、例えば演算負荷等により、電流指令値 I^* の演算がマイコン間

50

通信に間に合わなかった場合であっても、第 1 制御部 151 は、第 2 制御部 251 に送信した値と同じ値を用いた電流 F B 制御演算を行うことができる。

【0075】

(第 2 実施形態)

第 2 実施形態を図 10～図 13 に示す。本実施形態の電流制御処理を図 10 のフローチャートに基づいて説明する。以下適宜、演算タイミングを、適宜添え字の (n)、(n-1) 等で示す。S121 では、第 1 制御部 151 は、S101 と同様、電流指令値 I^* を演算する。

【0076】

S122 では、第 1 制御部 151 は、送信部 171 に格納する今回値 $I^*_{(n)}$ が前回値 $I^*_{(n-1)}$ と異なるか否か判断する。今回値 $I^*_{(n)}$ が前回値 $I^*_{(n-1)}$ と等しいと判断された場合 (S122: NO)、S123 をスキップし、送信部 171 の値を更新しない。今回値 $I^*_{(n)}$ が前回値 $I^*_{(n-1)}$ と異なると判断された場合 (S122: YES)、S123 へ移行し、所定の更新タイミングで送信部 171 のデータを更新する。S124 では、制御部 151 は、マイコン間通信にて送信部 171 に格納されているデータを第 2 制御部 251 へ送信する。

【0077】

S125 では、第 1 制御部 151 は、送信部 171 に格納されている電流指令値 I^* が更新されたか否か判断する。送信部 171 の電流指令値 I^* が更新されていると判断された場合 (S125: YES)、S126 へ移行し、電流指令値 I^* を更新して電流 F B 制御演算を行う。送信部 171 の電流指令値 I^* が更新されていないと判断された場合 (S124: NO)、S127 へ移行し、電流指令値 I^* を更新せず電流 F B 制御演算を行う。

【0078】

電流制御処理を説明するタイムチャートを図 11～図 13 に示す。図 11 に示すように、時刻 x40～時刻 x41 にて、第 1 制御部 151 で演算された電流指令値 I^* の値が Cb であって、送信部 171 に格納されている値 Ca と異なっているので、マイコン間通信の格納データ更新タイミングである時刻 x42 にて値 Cb が送信部 171 に格納される。

【0079】

時刻 x43 では、マイコン間通信にて電流指令値 I^* が第 2 制御部 251 に送信される。時刻 x44 では、第 1 制御部 151 は、送信部 171 に格納されている電流指令値 I^* が値 Cb に更新されているので、値 Cb を用いて電流 F B 演算を行う。これにより、時刻 x44 において、制御部 151、251 では、同じ値 Cb を用いた電流 F B 制御演算が行われる。

【0080】

図 12 に示すように、時刻 x50 からの電流指令演算において、電流指令値 I^* の演算がマイコン間通信の格納データ更新タイミングである時刻 x51 に間に合わなかった場合、送信部 171 のデータは更新されず、値 Ca が保持され、時刻 x52 にて第 2 制御部 251 に送信される。第 2 制御部 251 では、時刻 x54 にて、電流指令値 I^* として値 Ca を用いた電流 F B 制御演算が行われる。また、時刻 x54 にて、第 1 制御部 151 は、送信部 171 のデータが更新されていないので、電流 F B 制御演算に用いる指令値を更新せず、電流指令値 I^* として値 Ca を用いて電流 F B 制御演算を行う。すなわち、送信部 171 に格納された値が更新されていなければ、電流 F B 制御演算に使用する電流指令値 I^* も更新しない。

【0081】

時刻 x51 の次のデータ更新タイミングである時刻 x55 では、送信部 171 に格納される電流指令値 I^* が時刻 x53 にて演算完了した値 Cb に更新され、時刻 x56 にて第 2 制御部 251 へ送信される。時刻 x57 にて、第 2 制御部 252 は、電流指令値 I^* として値 Cb を用いて電流 F B 演算を行う。また、第 1 制御部 151 は、送信部 171 のデータが更新されているので、電流指令値 I^* を値 Cb に更新し、電流 F B 制御演算を行う

10

20

30

40

50

。

【0082】

図13に示すように、時刻x58に演算完了した電流指令値 I^* の値が、送信部171に格納されている値Caと同じである場合、送信部171に格納されている値を更新しない。制御部151、251は、次の電流指令値 I^* の演算まで、電流指令値 I^* として値Caを用いた演算を継続する。

【0083】

本実施形態では、第1制御部151では、送信部171に格納された電流指令値 I^* の更新状況を判定し、値が更新されている場合は、電流FB制御演算に用いる電流指令値 I^* を更新する。また、送信部171に格納された電流指令値 I^* が更新されていない場合、電流FB演算に用いる電流指令値 I^* を更新せず、前回値での電流FB演算を行う。これにより、制御部151、251にて、同じ値を用いた電流FB演算を行うことができる。

10

【0084】

第1制御部151は、送信部171に格納されている電流指令値 I^* が更新されていない場合、電流指令値として前回値を保持してモータ巻線180の通電制御を行う。これにより、例えば演算負荷等により、電流指令値 I^* の演算がマイコン間通信に間に合わなかった場合、第1制御部151においても電流指令値 I^* を更新せず前回値での電流FB制御演算が実施されるので、系統間での指令値乖離による異常電流の発生を防ぐことができる。また上記実施形態と同様の効果を奏する。

20

【0085】

(第3実施形態)

第3実施形態を図14に示す。上記実施形態では、制御部151、251にて、電流指令値 I^* として同じ値を用いて電流FB制御を行う。ここで、電流指令値 I^* が同じであっても、電流FB制御に用いる設定定数が異なっている場合、電流FB制御演算結果としての電圧指令値が異なり、異常電流が発生する虞がある。

【0086】

そこで本実施形態では、第1制御部151側が全ての設定定数を持っており、第2制御部251では、第1制御部151から送信された設定定数を用いて電流制御演算を行う。設定定数には、例えば電流制限値、PIゲイン、および、異常判定閾値等が含まれる。なお、第2制御部251側で設定定数を持つように構成し、第2制御部251から第1制御部151へ設定定数を送るように構成してもよい。

30

【0087】

本実施形態の設定定数送信処理を図14のフローチャートに基づいて説明する。この処理は、例えばECU10が起動されたイニシャルチェック時に行われる処理であるが、イニシャルチェック以外の任意のタイミングで行ってもよい。第10実施形態も同様である。

【0088】

S201では、第1制御部151は、第2制御部251へ設定定数を送信する。S202では、第2制御部251は、第1制御部151から設定定数を受信する。S203では、第2制御部251は、受信した設定定数を図示しない記憶部に格納する。

40

【0089】

本実施形態では、1つの制御部151は、電流制御演算に用いる定数である設定定数を、他の制御部251に送信する。換言すると、本実施形態では、1つの制御部151のみに設定定数が格納されており、設定定数を他の制御部251と共用する。これにより、制御部151、251にて同じ設定定数を用いての電流制御演算を行うことができるので、設定定数の違いによる演算値の乖離を防ぐことができる。また上記実施形態と同様の効果を奏する。

【0090】

(第4実施形態)

50

第４実施形態を図１５～図２３に示す。上記実施形態では、制御部１５１、２５１にて電流指令値 I^* を共通にしている。本実施形態では、制御部１５１、２５１で電流指令値 I^* が異なっている場合を説明する。

【００９１】

まず、電流ＦＢ制御演算について、 q 軸電流を例に説明する。第１系統Ｌ１の q 軸電流検出値を I_{q1} 、第２系統Ｌ２の q 軸電流検出値を I_{q2} 、 q 軸電流和 I_{q_a} を式（１）、 q 軸電流差 I_{q_s} を式（２）とする。また、電流差指令値を０とし、電流検出値が安定しているとき、電流和指令値と電流和とは一致する。また、式（１）、（２）を前提とすれば、電流検出値 I_{q1} 、 I_{q2} は、電流和と電流差から、式（３）、（４）となる。

10

【００９２】

$$I_{q_a} = I_{q1} + I_{q2} \quad \dots (1)$$

$$I_{q_s} = I_{q1} - I_{q2} \quad \dots (2)$$

$$I_{q1} = (I_{q_a} + I_{q_s}) / 2 \quad \dots (3)$$

$$I_{q2} = (I_{q_a} - I_{q_s}) / 2 \quad \dots (4)$$

【００９３】

第１系統Ｌ１の電流和指令値を x 、第２系統Ｌ２の電流和指令値を y とすると、式（５）～（７）となり、ＦＢ制御量 $F B q_a1$ 、 $F B q_a2$ 、 $F B q_s1$ 、 $F B q_s2$ の傾きは全て同じとなる。すなわち、第１系統Ｌ１では、和のＦＢ制御量 $F B q_a1$ と差のＦＢ制御量 $F B q_s1$ は逆方向に同じだけ増え、第２系統Ｌ２では和のＦＢ制御量 $F B q_a2$ と差のＦＢ制御量 $F B q_s2$ は同じ方向に同じだけ増える。また、和のＦＢ制御量と差のＦＢ制御量とが同様に変化している場合、電圧指令値は変化しない。

20

【００９４】

第１系統の電流和指令値－電流和

$$= I_{q_a1}^* - I_{q_a} = x - (x + y) / 2 = (x - y) / 2 \quad \dots (5)$$

第２系統の電流和指令値－電流和

$$= I_{q_a2}^* - I_{q_a} = y - (x + y) / 2 = - (x - y) / 2 \quad \dots (6)$$

電流差指令値－電流差

$$\begin{aligned} &= I_{q_s1}^* - I_{q_s} = I_{q_s2}^* - I_{q_s} \\ &= 0 - (x - y) / 2 = - (x - y) / 2 \quad \dots (7) \end{aligned}$$

30

【００９５】

また、第１系統Ｌ１の電圧指令値 V_{q1}^* を式（８）、第２系統Ｌ２の電圧指令値 V_{q2}^* を式（９）とする。

【００９６】

$$V_{q1}^* = (F B q_a1 + F B q_s1) / 2 \quad \dots (8)$$

$$V_{q2}^* = (F B q_a2 - F B q_s2) / 2 \quad \dots (9)$$

【００９７】

図１５～図１７は、いずれも横軸を時間とし、図１５は電流指令値および電流検出値、図１６は第１制御部１５１の和と差のＦＢ制御量、図１７は第２制御部２５１の和と差のＦＢ制御量を示している。図１５に示すように、第１制御部１５１の電流和指令値 $I_{q_a1}^*$ および電流検出値 I_{q1} と、第２制御部２５１の $I_{q_a2}^*$ および電流検出値 I_{q2} とが異なっているものとする。

40

【００９８】

図１６に示すように、第１制御部１５１では、検出値である q 軸電流和 I_{q_a} が電流和指令値 $I_{q_a1}^*$ より小さいため、和のＦＢ制御量 $F B q_a1$ は電流和を大きくする側に演算される。図１７に示すように、第２制御部２５１では、 q 軸電流和 I_{q_a} が電流和指令値 $I_{q_a2}^*$ より大きいいため、和のＦＢ制御量 $F B q_a2$ は電流和を小さくする側に演算される。また、図１６および図１７に示すように、電流検出値 I_{q1} 、 I_{q2} に差が生じているので、差のＦＢ制御量 $F B q_s1$ 、 $F B q_s2$ は電流差を小さくする側に演算される。

50

【0099】

本実施形態では、電流制御演算部530、630において、制御のオーバーフローを防ぐべく、FB制御量の上下限にガードをかける。和のFB制御量の制限値を A_lim 、差のFB制御量の制限値を S_lim とすると、1系統駆動時の出力が狙い通りとなるように、和の制限値 A_lim を差の制限値 S_lim より大きく設定する、といった具合に、和の制限値 A_lim と差の制限値 S_lim とを異ならせる場合がある。

【0100】

図18は、第1系統L1のq軸電流に係る値であって、上段から、和のFB制御量 FBq_a1 、差のFB制御量 FBq_s1 、電圧指令値 $Vq1^*$ を示している。この例では、和の制限値 A_lim （図18には不図示）と差の制限値 S_lim とが異なっており、 $|S_lim| < |A_lim|$ である。時刻 x_r にて、差のFB制御量 FBq_s1 が制限値 $-S_lim$ となると、 $FBq_s1 = -S_lim$ で制限される。一方、和のFB制御量 $FBq_a1 < A_lim$ であるので、電圧指令値 $Vq1^*$ は、和のFB制御量 FBq_a1 の増加に伴って増大する。図19に示すように、電流和が一定であっても、電圧指令値 $Vq1^*$ 、 $Vq2^*$ の増大に伴って電流検出値 $Iq1$ 、 $Iq2$ が増大すると、過電流となる虞がある。

10

【0101】

そこで本実施形態では、和のFB制御量 FBq_a または差のFB制御量 FBq_s の一方が制限値で制限される場合、他方は前回値を保持する。本実施形態のFB制御量制限処理を図20のフローチャートに基づいて説明する。図20では、和の制限値 A_lim が差の制限値 S_lim より大きいものとして説明する。

20

【0102】

S301では、電流制御演算部530、630は、差のFB制御量 FBq_s が差の制限値 S_lim で制限されているか否か判断する。差のFB制御量 FBq_s が差の制限値 S_lim で制限されていないと判断された場合（S301：NO）、S302へ移行し、和のFB制御量 FBq_a として今回の演算値を用いる。差のFB制御量 FBq_s が差の制限値 S_lim で制限されていると判断された場合（S301：YES）、S303へ移行し、和のFB制御量 FBq_a として前回値を保持する。

【0103】

図21では、第1系統L1を例とし、共通時間軸を横軸とし、上段から、和のFB制御量 FBq_a1 、差のFB制御量 FBq_s1 、電圧指令値 $Vq1^*$ を示している。図21に示すように、 $|S_lim| < |A_lim|$ であって、時刻 x_{60} にて、差のFB制御量 FBq_s1 が差の制限値 $-S_lim$ で制限されると、和のFB制御量 FBq_a1 は前回値を保持する。これにより、電圧指令値 $Vq1^*$ が保持されるため、過電流を防ぐことができる。

30

【0104】

なお、制限値は、d軸の和と差、q軸の和と差でそれぞれ揃っていればよく、d軸に係る値とq軸に係る値とで等しくてもよく、異なってもよい。図22および図23では、第1系統L1を例とし、共通時間軸を横軸とし、上段から、d軸の和のFB制御量 FBd_a1 、差のFB制御量 FBd_s1 、q軸の和のFB制御量 FBq_a1 、差のFB制御量 FBq_s1 を示す。また、d軸の和の制限値を Ad_lim 、d軸の差の制限値を Sd_lim 、q軸の和の制限値を Aq_lim 、q軸の差の制限値を Sq_lim とする。

40

【0105】

図22の例では、d軸の差の制限値 Sd_lim とq軸の差の制限値 Sq_lim とが異なっており、 $Sd_lim < Sq_lim$ である。時刻 x_{61} にてd軸の差のFB制御量 FBd_s1 が制限値 Sd_lim で制限されるので、和のFB制御量 FBd_a1 は前回値が保持される。また、時刻 x_{62} にてq軸の差のFB制御量 FBq_s1 が制限値 Sq_lim で制限されるので、和のFB制御量 FBq_a1 は前回値が保持される。

【0106】

50

また、FB制御量の傾きは等しいので、図23に示すように、d軸の和の制限値 A_{d_lim} と差の制限値 S_{d_lim} 、q軸の和の制限値 A_{q_lim} と差の制限値 S_{q_lim} を、それぞれ同じ値にすることも過電流を防ぐことができる。図23の例では、時刻x65にて、d軸の和のFB制御量 FB_{d_a1} および差のFB制御量 FB_{s_s1} が共に制限値で制限される。また、時刻x66にて、q軸の和のFB制御量 FB_{q_a1} および差のFB制御量 FB_{q_s1} が共に制限値で制限される。

【0107】

本実施形態では、通電制御部500、600は、自系統の電流検出値と他系統の電流検出値との電流和および電流差を用いた電流フィードバック制御において、電流和に基づくフィードバック演算結果である和のFB制御量 FB_a 、および、電流差に基づくフィードバック演算結果である差のFB制御量 FB_s の上下限を制限する。詳細には、協調駆動制御時において、和のFB制御量 FB_a と差のFB制御量 FB_s とが同時に制限されるように上下限を制限する。ここで「同時」とは、均衡が崩れて大電流にならない程度の誤差は許容されるものとする。これにより、制御のオーバーフローを防ぐことができる。

10

【0108】

通電制御部500、600は、和のFB制御量 FB_a または差のFB制御量 FB_s の一方が制限値で制限されている場合、和のFB制御量 FB_a または差のFB制御量 FB_s の他方は、前回値を保持する。これにより、和の制限値 A_lim と差の制限値 S_lim とが異なる値に設定されている場合であっても、協調駆動制御時には、和のFB制御量 FB_a と差のFB制御量 FB_s とを同時に制限可能であり、過電流を防ぐことができる。

20

【0109】

また、和のFB制御量 FB_a の上下限を制限する和の制限値 A_lim と、差のFB制御量 FB_s の上下限を制限する差の制限値 S_lim とを等しくしてもよい。これにより、和と差のFB制御量の均衡が崩れることがなく、過電流を防ぐことができる。また上記実施形態と同様の効果を奏する。

【0110】

(第5実施形態)

第5実施形態を図24および図25に示す。第5実施形態～第10実施形態では、異常時処置を中心に、主に第1系統L1を例に説明する。第1系統L1のq軸電流検出値 I_{q1} が正方向に増大し、第2系統L2のq軸電流検出値 I_{q2} が負方向に増大する場合、加算すると0となり、大電流が流れていないように見える場合がある(図19参照)。一方、均衡が崩れると、大電流が表面化し、制御対象の故障に繋がる虞がある。

30

【0111】

そこで本実施形態では、1以上の系統で電流検出値に異常が生じた場合、異常時処置を行う。本実施形態の異常判定処理を図24のフローチャートおよび図25のタイムチャートに基づいて説明する。図24に示すように、S401では、異常判定部560は、各系統の電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} を取得する。

【0112】

S402では、異常判定部560は、各系統の電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} が電流異常判定閾値 TH_i より小さいか否かを判断する。ここでは絶対値での判断とする。電流異常判定閾値 TH_i は、d軸に係る値とq軸に係る値とで等しくてもよいし異なってもよい。各系統の電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} が電流異常判定閾値 TH_i より小さいと判断された場合(S402: YES)、S403へ移行し、2系統での通常の協調駆動制御を継続する。各系統の電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} の少なくとも1つが電流異常判定閾値 TH_i 以上であると判断された場合(S402: NO)、S404へ移行し、異常時処置とする。異常時処置を行う場合、警告部565により、ワーニングランプ等での警告を行う。後述の実施形態における異常時処置実施時についても同様である。

40

50

【0113】

図25では、共通時間軸を横軸とし、上段に検出電流、下段に状態遷移を示す。ここでは、検出電流として、q軸電流検出値 I_{q1} を例示した。時刻x68にて、q軸電流検出値 I_{q1} が電流異常判定閾値 TH_i を超えると、異常時処置として、2系統での協調駆動制御から独立駆動制御へ移行する。異常時処置として、独立駆動制御への移行に替えて、電流異常が検出された系統を停止させる片系統駆動制御への移行、または、アシスト停止としてもよい。また、異常時処置として、2系統での協調駆動制御を継続しつつ、過電流が発生しないように、電流FB演算結果に基づいて演算される値である電圧指令値を制限してもよい。

【0114】

また、S402では、電流検出値での判定に替えて、d軸電流和 I_{d_a} またはq軸電流和 I_{q_a} を用いて判定してもよい。さらにまた、電圧指令値 V_{d^*} 、 V_{q^*} が電圧異常判定閾値 TH_v を超えた場合に異常時処置を行うようにしてもよい。また、電流指令値および電圧指令値は、dq軸の値に限らず、3相の値を異常判定に用いてもよい。

【0115】

制御部151、251は、電流検出値、または、複数系統の電流検出値の和が電流異常判定閾値 TH_i より大きい場合、電圧指令値を制限する、または、協調駆動制御を停止する。協調駆動制御の停止には、独立駆動制御への移行、片系統駆動制御への移行、および、アシスト停止が含まれる。

【0116】

また、制御部151、251は、電圧指令値が電圧異常判定閾値 TH_v より大きい場合、電圧指令値を制限する、または、協調駆動制御を停止してもよい。電圧指令値制限やアシスト停止とすることで、モータ巻線180、280の電流を直接的に小さくすることができる。また、独立駆動制御または片系統駆動制御へ移行することで、系統間の電流指令値乖離による過電流を防ぐことができる。

【0117】

制御部151、251は、電圧指令値を制限する、または、協調駆動制御を停止するとき、ドライバに警告する警告部565、665を有する。これにより、通常の2系統での協調駆動制御とは異なる制御となっている旨の情報を、ドライバに適切に報知することができる。また、上記実施形態と同様の効果を奏する。

【0118】

(第6実施形態)

第6実施形態を図26に示す。本実施形態では、基板温度異常を検出した場合、異常時処置を行う。本実施形態の異常判定処理を図26のフローチャートに基づいて説明する。

【0119】

S501では、制御部151は、図示しない温度センサの検出値に基づき、基板推定温度 H_b を演算する。S502では、異常判定部560は、基板推定温度 H_b が過熱判定閾値 TH_h より小さいか否かを判断する。基板推定温度 H_b が過熱判定閾値 TH_h より小さいと判断された場合(S502: YES)、S503へ移行する。基板推定温度 H_b が過熱判定閾値 TH 以上であると判断された場合(S502: NO)、S504へ移行する。

【0120】

S503では、電流制御演算部530は、電圧制限を行わず、電流指令値に基づいて演算された電圧指令値をそのまま出力する。S504では、電流制御演算部530は、異常時処置として、電圧指令値 V_{q1^*} 、 V_{d1^*} を電圧制限値 V_{q_lim} 、 V_{d_lim} に制限する。

【0121】

例えば、電流FB演算周期が200[μs]、温度推定演算周期が80[ms]といった具合に、温度推定演算周期が電流FB制御演算周期より大きい場合、電流FB制御に係るパラメータに用いて電圧制限を行う場合と比較し、演算負荷を低減することができる。また、過熱保護として、電流FB制御演算結果に基づいて演算される電圧指令値を制限す

10

20

30

40

50

ることで、例えば系統間指令乖離等、電流指令値制限では阻止できない異常電流を防ぐことができる。なお、異常時処置として、独立駆動制御への移行、片系統駆動制御への移行、または、アシスト停止としてもよい。

【0122】

本実施形態では、モータ巻線180、280の通電の切り替えに係るインバータ回路120、220が実装される基板20の温度である基板推定温度Hbが過熱判定閾値THhより高い場合、電圧指令値を制限する、または、協調駆動制御を停止する。電流FB制御後の指令値である電圧指令値を制限することで駆動電圧が小さくなるため、より適切にインバータ回路120、220等の過熱を抑制することができる。また、上記実施形態と同様の効果を奏する。

【0123】

(第7実施形態)

第7実施形態を図27～図30に示す。図7等で説明したように、制御部151、251で電流指令値が異なっていると、異常電流が発生する虞がある。そこで本実施形態では、電流FB制御に使用された電流指令値が異なっていた場合、異常時処置とする。

【0124】

本実施形態のメイン側である第1制御部151の指令値比較処理を図27、サブ側である第2制御部251の指令値比較処理を図28に示す。この処理は、指令値を共有しての協調駆動制御を行っているときに実施される。図27に示すように、S601では、第1制御部151は、電流FB制御演算に用いた電流指令値 $I1^*$ を比較用の値として送信部171に格納する。以下、比較用に用いる指令値を $I1^*_c$ 、 $I2^*_c$ とする。

【0125】

S602では、第1制御部151は、比較用電流指令値 $I1^*_c$ を第2制御部251に送信する。S603では、第1制御部151は、第2制御部251から比較結果を受信する。

【0126】

S604では、異常判定部560は、第2制御部251から取得した比較結果に基づき、比較用電流指令値 $I1^*_c$ 、 $I2^*_c$ が一致していたか否か判断する。比較用電流指令値 $I1^*_c$ 、 $I2^*_c$ が一致していたと判断された場合(S604:YES)、S605へ移行し、2系統での通常の協調駆動制御を継続する。比較用電流指令値 $I1^*_c$ 、 $I2^*_c$ が一致していないと判断された場合(S604:NO)、S606へ移行し、異常時処置とする。

【0127】

図28に示すように、S651では、第2制御部251は、電流FB制御演算に用いた電流指令値 $I2^*$ を図示しない記憶部に比較用として格納する。ここで格納される値を $I2^*_c$ とする。協調駆動制御を行っている場合、第1制御部151からマイコン間通信にて受信した値が比較用電流指令値 $I2^*_c$ として格納される。

【0128】

S652では、第2制御部251は、マイコン間通信にて、第1制御部151から比較用電流指令値 $I1^*_c$ を受信する。S653では、第2制御部251は、比較用電流指令値 $I1^*_c$ 、 $I2^*_c$ の比較を行う。S654では、第2制御部251は、比較用電流指令値 $I1^*_c$ 、 $I2^*_c$ の比較結果を、マイコン間通信にて第1制御部151へ送信する。S655～S657の処理は、図27中のS604～S606の処理と同様である。

【0129】

本実施形態の指令値比較処理を図29、図30のタイムチャートに基づいて説明する。図29はトルク電流指令値 I_{trq1}^* を比較用とする例であり、図30は例えばq軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* 等の電流制御演算部530での演算に使用した指令値を比較用とする例である。q軸電流指令値に替えてd軸電流指令値を用いてもよい。第9実施形態も同様である。図29および図30では、主に比較用データに係る処理を中心に説明し

10

20

30

40

50

、電流 F B 演算に用いるデータの送受信等については説明を省略する。

【0130】

図 29 に示すように、時刻 $x70$ では、第 1 制御部 151 は、比較用電流指令値 $I1^*_{-c}$ としてトルク電流指令値 I_{trq1}^* を送信部 171 に格納する。また、時刻 $x71$ では、第 2 制御部 251 では、第 1 制御部 151 から受信したトルク電流指令値を比較用電流指令値 $I2^*_{-c}$ として受信部 272 に格納する。受信部 272 以外の記憶領域に記憶してもよい。なお、比較用電流指令値 $I1^*_{-c}$ 、 $I2^*_{-c}$ は、時刻 $x72$ の電流 F B 制御演算に用いられる値である。

【0131】

電流 F B 制御演算後の時刻 $x73$ では、第 1 制御部 151 は、前回の電流 F B 演算で用いた電流指令値である比較用電流指令値 $I1^*_{-c}$ をマイコン間通信にて第 2 制御部 251 へ送信する。時刻 $x74$ では、第 2 制御部 251 では、前回の電流 F B 制御演算に用いた電流指令値 $I1^*_{-c}$ 、 $I2^*_{-c}$ を比較し、比較結果をマイコン間通信にて第 1 制御部 151 へ送信する。

【0132】

時刻 $x75$ における電流 F B 制御演算では、前回演算に用いた指令値比較結果に応じた処置を行う。すなわち、前回の電流 F B 制御演算に用いた電流指令値 $I1^*_{-c}$ 、 $I2^*_{-c}$ が一致していた場合、通常の 2 系統での協調駆動制御とし、一致していなかった場合、異常時処置とする。

【0133】

図 30 に示すように、時刻 $x76$ では、第 1 制御部 151 は、電流 F B 制御演算に用いた q 軸電流指令値 I_{q1}^* を比較用電流指令値 $I1^*_{-c}$ として送信部 171 に格納する。第 2 制御部 251 は、電流 F B 制御演算に用いた q 軸電流指令値 I_{q2}^* を比較用電流指令値 $I2^*_{-c}$ として図示しない記憶部に格納する。

【0134】

時刻 $x77$ では、第 1 制御部 151 は、マイコン間通信にて比較用電流指令値 $I1^*_{-c}$ を第 2 制御部 251 に送信する。時刻 $x78$ では、第 2 制御部 251 は、比較用電流指令値 $I1^*_{-c}$ 、 $I2^*_{-c}$ を比較し、比較結果をマイコン間通信にて第 1 制御部 151 に送信する。時刻 $x79$ における電流 F B 制御演算は、図 29 の時刻 $x75$ と同様である。

【0135】

本実施形態では、第 1 制御部 151 から比較用電流指令値 $I1^*_{-c}$ を第 2 制御部 251 へ送信し、第 2 制御部 251 にて指令値比較を行うものとして説明したが、第 2 制御部 251 から第 1 制御部 151 へ比較用の値を送信し、第 1 制御部 151 にて指令値比較を行うようにしてもよいし、比較用の値を送り合い、制御部 151、251 にてそれぞれ指令値比較を行うようにしてもよい。

【0136】

図 29 および図 30 の例では、電流指令値または電流 F B 制御の演算周期（例えば $200 [\mu s]$ ）ごとに系統間での指令値比較を行っているが、比較周期は、例えば $800 [\mu s]$ ごと、といった具合に電流指令値等の演算周期と異なってもよい。比較周期が演算周期と異なっている場合、比較タイミングの値を代表値として比較を行ってもよいし、全ての値を送信して個別に比較を行ってもよい。また例えば、比較周期の間に演算された複数の値を用いた演算値（例えば加算値）での比較を行ってもよい。また、CRC 信号等のような検査用の値を算出して比較を行ってもよい。後述の実施形態において比較に用いられる各パラメータについても同様である。

【0137】

制御部 151、251 は、自系統で前回の電流制御演算に用いた指令値である前回自系統指令値と、他系統で前回の電流制御演算に用いた指令値である前回他系統指令値とを比較し、前回自系統指令値と前回他系統指令値とが異なっていた場合、電圧指令値を制限する、または、協調駆動制御を停止する。これにより、長時間の電流指令値乖離を防ぐこと

10

20

30

40

50

ができるので、指令値乖離による過電流を防ぐことができる。また上記実施形態と同様の効果を奏する。

【0138】

(第8実施形態)

第8実施形態を図31～図33に示す。第7実施形態では、前回演算の指令値比較により異常時処理とするか否かを判定する。第8実施形態および第9実施形態では、今回の指令値比較により異常時処理とするか否かを判断する。

【0139】

第1制御部151側の処理を図31、第2制御部251側の処理を図32に示す。図31に示すように、S701では、第1制御部151は、トルク電流指令値 I_{trq1}^* を第2制御部251に送信する。S702では、第1制御部151は、第2制御部251から送り返されたトルク電流指令値である返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ を受信する。

【0140】

S703では、第1制御部151は、返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ とトルク電流指令演算部513で演算された値とを比較する。ここで、トルク電流指令演算部513で演算された値であって、返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ との比較に用いる値を「第1系統演算値」とする。S704では、第1制御部151は、比較結果を第2制御部251へ送信する。

【0141】

S705では、第1制御部151は、返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ と第1系統演算値とが一致しているか否かを判断する。返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ と第1系統演算値とが一致していると判断された場合(S705: YES)、S706へ移行し、2系統での通常の協調駆動制御を継続する。返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ と第1系統演算値とが一致していないと判断された場合(S705: NO)、S707へ移行し、異常時処理とする。

【0142】

図32に示すように、S751では、第2制御部251は、マイコン間通信にてトルク電流指令値 I_{trq1}^* を受信する。S752では、第2制御部251は、S251にて受信した値を返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ としてマイコン間通信にて第1制御部151へ送り返す。S753では、第2制御部251は、マイコン間通信にて第1制御部151から比較結果を受信する。

【0143】

S754では、第2制御部251は、第1制御部151から取得した比較結果に基づき、返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ が第1系統演算値と一致するか否かを判断する。S754～S756の詳細は、図31中のS705～S707と同様である。

【0144】

本実施形態の指令値比較処理を図33のタイムチャートに基づいて説明する。時刻x80にて、第1制御部151は、トルク電流指令演算部513にて演算されたトルク電流指令値 I_{trq1}^* を送信部171に格納する。時刻x81にて、第1制御部151は、トルク電流指令値 I_{trq1}^* を第2制御部251に送信し、第2制御部251は、受信した値を受信部272に格納する。

【0145】

時刻x82では、第2制御部251は、第1制御部151から受信したトルク電流指令値 I_{trq1}^* を第1制御部151に送り返す。時刻x83では、第1制御部151は、第2制御部251から送り返された返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ と第1系統演算値とを比較し、比較結果をマイコン間通信にて第2制御部251へ送信する。時刻x84では、比較結果に応じた処理を行う。この周期の演算では、トルク電流指令値 I_{trq1}^* の演算遅れがなく、返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ と第1系統演算値とが一致しているので、2系統での協調駆動制御とする。

【0146】

次のマイコン間通信のデータ格納タイミングである時刻x85では、電流指令値演算が完了していないため、前回値が保持される。時刻x86では、マイコン間通信にて第1制

10

20

30

40

50

御部 151 から第 2 制御部 251 に前回値が送信され、時刻 x 87 では、マイコン間通信にて第 2 制御部 251 から第 1 制御部 151 に値が返送される。

【0147】

時刻 x 88 では、第 1 制御部 151 は、返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ と第 1 系統演算値とを比較し、比較結果をマイコン間通信にて第 2 制御部 251 へ送信する。時刻 x 85 のマイコン間通信のデータ格納タイミングには間に合わなかったものの、時刻 x 88 の比較タイミングには電流指令値 I_{trq1}^* の演算が完了している。そのため、電流指令値 I_{trq1}^* の値が前回の周期と変わっていた場合、時刻 x 88 での比較結果は一致しない。したがって、時刻 x 89 では、異常時処置とする。

【0148】

第 2 制御部 251 は、第 1 制御部 151 から送信された電流指令値を第 1 制御部 151 に送り返し、第 1 制御部 151 にて第 2 制御部 251 から送り返された電流指令値である返送値 $I_{trq1}^*_{-r}$ と自系統の電流指令値とを比較し、値が異なっていた場合、電圧指令値を制限する、または、協調駆動制御を停止する。これにより、今回値での比較結果に応じて異常時処置に移行可能である。また上記実施形態と同様の効果を奏する。

【0149】

(第 9 実施形態)

第 9 実施形態を図 34～図 36 に示す。第 1 制御部 151 側の処理を図 34、第 2 制御部 251 側の処理を図 35 に示す。図 34 に示すように、S801 では、第 1 制御部 151 は、q 軸電流指令値 I_{q1}^* を比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ として送信部 171 に格納する。S802 では、第 1 制御部 151 は、比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ を第 2 制御部 251 に送信する。S803 では、第 1 制御部 151 は、第 2 制御部 251 から比較結果を受信する。

【0150】

S804 では、第 1 制御部 151 は、比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ 、 $I_{q2}^*_{-c}$ が一致しているか否かを判断する。比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ 、 $I_{q2}^*_{-c}$ が一致していると判断された場合 (S804: YES)、S805 へ移行し、2 系統での通常の協調駆動制御とする。比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ 、 $I_{q2}^*_{-c}$ が一致していないと判断された場合 (S804: NO)、S806 へ移行し、異常時処置とする。

【0151】

図 35 に示すように、S851 では、第 2 制御部 251 は、本処理とは別途の処理にて第 1 制御部 151 から取得されるトルク電流指令値 I_{trq1}^* に基づいて演算された q 軸電流指令値 I_{q2}^* を図示しない記憶部に比較用として格納する。ここで格納される値を $I_{q2}^*_{-c}$ とする。

【0152】

S852 では、第 2 制御部 251 は、マイコン間通信にて、第 1 制御部 151 から比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ を受信する。S853 では、第 2 制御部 251 は、比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ 、 $I_{q2}^*_{-c}$ の比較を行う。S854 では、第 2 制御部 251 は、比較結果を第 1 制御部 151 へ送信する。S855～S857 の処理は、図 34 中の S805～S807 の処理と同様である。

【0153】

本実施形態の指令値比較処理を図 36 のタイムチャートに基づいて説明する。時刻 x 91 では、第 1 制御部 151 は、q 軸電流指令値 I_{q1}^* を比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ として送信部 171 に格納する。また、第 2 制御部 251 は、q 軸電流指令値 I_{q2}^* を比較用電流指令値 $I_{q2}^*_{-c}$ として図示しない記憶部に格納する。

【0154】

時刻 x 92 では、第 1 制御部 151 は、比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ を第 2 制御部 252 に送信する。時刻 x 93 では、第 2 制御部 251 は、比較用 q 軸電流指令値 $I_{q1}^*_{-c}$ 、 $I_{q2}^*_{-c}$ を比較し、比較結果をマイコン間通信にて第 1 制御部 151 へ送信する。時刻 x 94 では、比較結果に応じた処置を行う。すなわち、比較用 q 軸電流指令

10

20

30

40

50

値 $I_{q1}^* - c$ 、 $I_{q2}^* - c$ が一致する場合、通常の 2 系統での協調駆動制御とし、一致しない場合、異常時処置とする。

【0155】

本実施形態では、制御部 151、251 は、トルク電流指令値 I_{trq}^* に基づいて演算され、電流 FB 制御に用いられる d 軸電流指令値 I_d^* 、 I_q^* を電流 FB 制御演算の前に他系統に係る値と比較し、d q 軸電流指令値 I_d^* 、 I_q^* の少なくとも一方が他系統に係る値と異なる場合、電圧指令値を制限する、または、協調駆動制御を停止する。これにより、第 8 実施形態と同様、今回値での比較結果に応じて異常時処置に移行可能である。また上記実施形態と同様の効果を奏する。

【0156】

(第 10 実施形態)

第 10 実施形態を図 37 および図 38 に基づいて説明する。第 3 実施形態では、第 1 制御部 151 が設定定数を持っており、第 2 制御部 251 は第 1 制御部 151 から設定定数をマイコン間通信で取得して用いている。本実施形態では、第 1 制御部 151 および第 2 制御部 251 がそれぞれで設定定数を持っているものとする。

【0157】

メイン側の設定定数比較処理を図 37、サブ側の設定定数比較処理を図 38 に示す。この処理は、例えばイニシャルチェック時に行われる。図 38 の処理をサブ側、図 37 の処理をメイン側で行ってもよい。図 37 に示すように、S901 では、第 1 制御部 151 は、第 2 制御部 251 から設定定数を受信する。ここで送受信される設定定数は、定数そのものであってもよいし、複数の設定定数の加算値等の演算値や CRC のような検査用の値であってもよい。

【0158】

S902 では、第 1 制御部 151 は、第 1 制御部 151 に格納されている設定定数と、第 2 制御部 251 から受信した設定定数とが一致しているか否か判断する。設定定数が一致していると判断された場合 (S902: YES)、S903 へ移行し、2 系統での通常の協調駆動制御とする。設定定数が一致していないと判断された場合 (S902: NO)、異常時処置とする。また、S902 の判定結果は、第 2 制御部 251 に送信される。

【0159】

図 38 に示すように、S951 では、第 2 制御部 251 は、マイコン間通信により設定定数を第 1 制御部 151 に送信する。S952 では、第 2 制御部 251 は、マイコン間通信により第 1 制御部 151 から設定定数の比較結果を受信する。

【0160】

S953 では、第 2 制御部 251 は、第 1 制御部 151 から取得した比較結果に基づき、設定定数が一致するか否か判断する。設定定数が一致していると判断された場合 (S953: YES)、S954 へ移行し、2 系統での通常の協調駆動制御とする。設定定数が一致していないと判断された場合 (S953: NO)、S955 へ移行し、異常時処置とする。

【0161】

本実施形態では、制御部 151、251 は、電流制御に用いる定数である設定定数について、自身で持つ値と他の制御部の値とが異なっている場合、電圧指令値を制限する、または、協調駆動制御を停止する。これにより、設定定数の違いによる演算値の乖離を防ぐことができる。また上記実施形態と同様の効果を奏する。

【0162】

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」、第 1 制御部 151 が「メイン制御部」、第 2 制御部 251 が「サブ制御部」、送信部 171 が「送信部」に対応する。

【0163】

(他の実施形態)

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

10

20

30

40

50

てもよい。例えば第1実施形態のように、メインサブ構成とする場合、1つの制御部をメイン制御部、残りの制御部をサブ制御部とする。また、複数の制御部は、メインサブ構成でなくてもよい。

【0164】

上記実施形態では、協調駆動制御において、トルク電流指令値をメイン制御部からサブ制御部に送信して系統間で共用している。他の実施形態では、 dq 軸電流指令値をメイン制御部からサブ制御部に送信して系統間で共用してもよい。また、トルク電流指令値に換算する前のトルク指令値を共有してもよい。この場合、トルク指令値は、電流指令値に換算可能であって、「電流指令値」と見做す。

【0165】

上記実施形態では、協調駆動制御では、2系統の電流和および電流差を制御する和と差の制御を行っている。他の実施形態では、協調駆動制御は、少なくとも1つのパラメータが系統間で共用されていけばよく、制御手法は和と差の制御に限らない。また、電流制御の詳細は、上記実施形態と異なってもよい。また、3系統以上で構成されている場合、任意の2系統を用いて和と差の制御を行ってもよい。

【0166】

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。

【0167】

上記実施形態では、回転電機は3相ブラシレスモータである。他の実施形態では、回転電機は、ブラシレスモータに限らない。また、回転電機は、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。

【0168】

1つの前記制御部は、電流制御演算に用いる定数である設定定数を、他の前記制御部に送信する態様1～7のいずれか一項に記載の回転電機制御装置、としてもよい。

【0169】

前記制御部は、電流制御に用いる定数である設定定数について、自身で持つ値と他の前記制御部の値とが異なっている場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する態様1～8のいずれか一項に記載の回転電機制御装置、としてもよい。

【0170】

前記制御部は、前記電流検出値、または、複数系統の前記電流検出値の和が電流異常判定閾値より大きい場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する態様1～9のいずれか一項に記載の回転電機制御装置、としてもよい。

【0171】

前記制御部は、前記電圧指令値が電圧異常判定閾値より大きい場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する態様1～10のいずれか一項に記載の回転電機制御装置、としてもよい。

【0172】

前記制御部は、前記モータ巻線の通電の切り替えに係るインバータ回路(120、220)が実装される基板(20)の温度が過熱判定閾値より高い場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する態様1～11のいずれか一項に記載の回転電機制御装置、としてもよい。

【0173】

前記制御部は、自系統で前回の電流制御演算に用いた指令値である前回自系統指令値と

10

20

30

40

50

、他系統で前回の電流制御演算に用いた指令値である前回他系統指令値とを比較し、前記前回自系統指令値と前記前回他系統指令値とが異なっていた場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する態様 1 ～ 1 2 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置、としてもよい。

【0174】

前記電流指令値は、トルク指令値に基づいて演算されるトルク電流指令値であって、

前記制御部は、前記トルク電流指令値に基づいて演算され、電流フィードバック制御に用いられる d 軸電流指令値および q 軸電流指令値を電流フィードバック制御演算の前に他系統に係る値と比較し、前記 d 軸電流指令値および前記 q 軸電流指令値の少なくとも一方が他系統に係る値と異なる場合、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止する態様 1 ～ 1 2 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置、としてもよい。

10

【0175】

前記制御部は、前記電圧指令値を制限する、または、前記協調駆動制御を停止するとき、ドライバに警告する警告部（565、665）を有する態様 1 ～ 1 4 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置、としてもよい。

【0176】

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ールーションとして、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。

20

【符号の説明】

【0177】

- 10・・・ECU（回転電機制御装置）
- 20・・・基板
- 80・・・モータ（回転電機）
- 120、220・・・インバータ回路
- 151・・・第1制御部（制御部、メイン制御部）
- 171・・・送信部
- 251・・・第2制御部（制御部、サブ制御部）
- 500、600・・・通電制御部
- 565、665・・・警告部

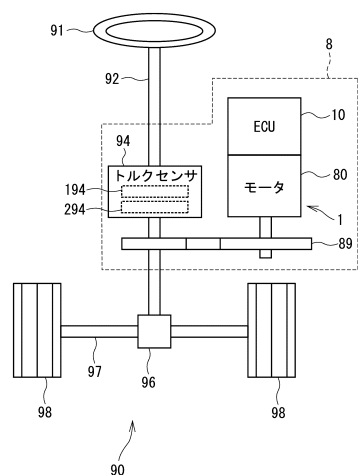
30

40

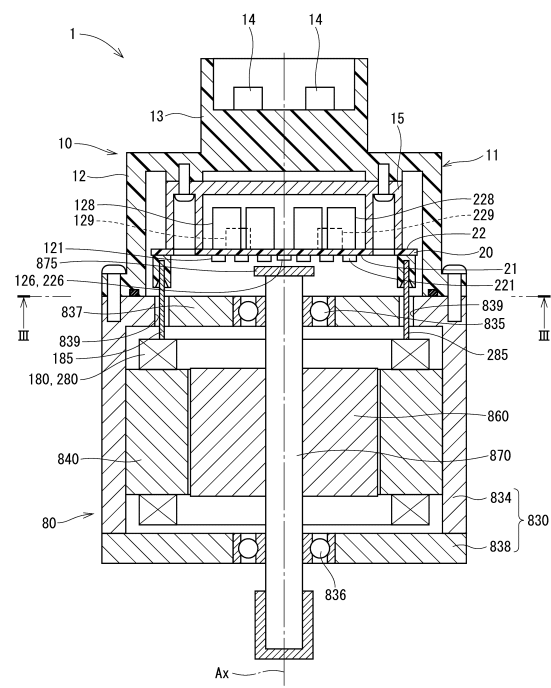
50

【図面】

【図 1】



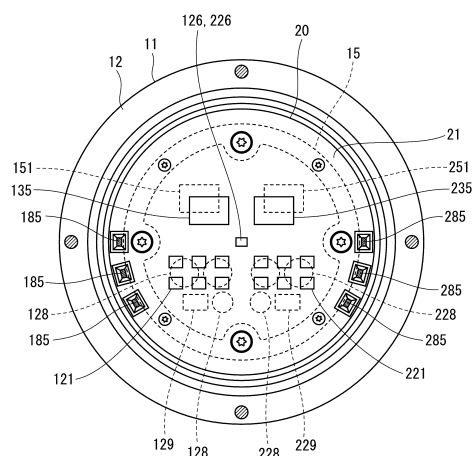
【図 2】



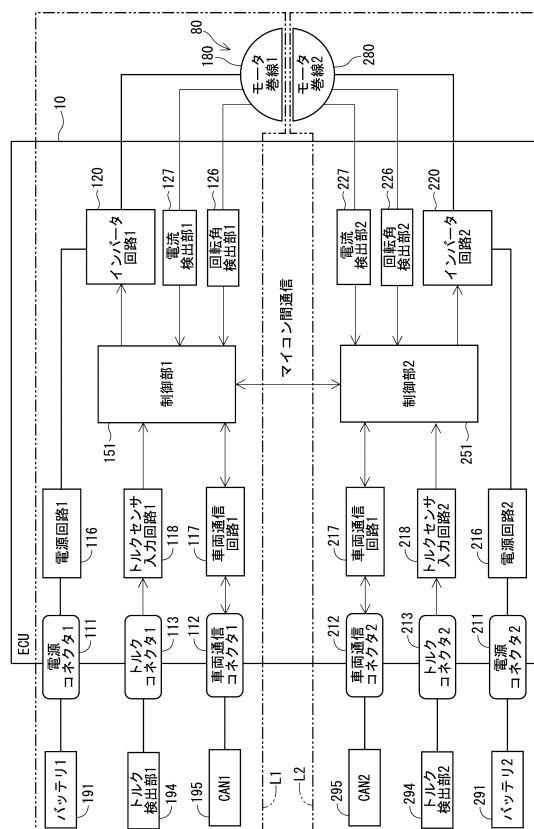
10

20

【圖 3】



【図 4】

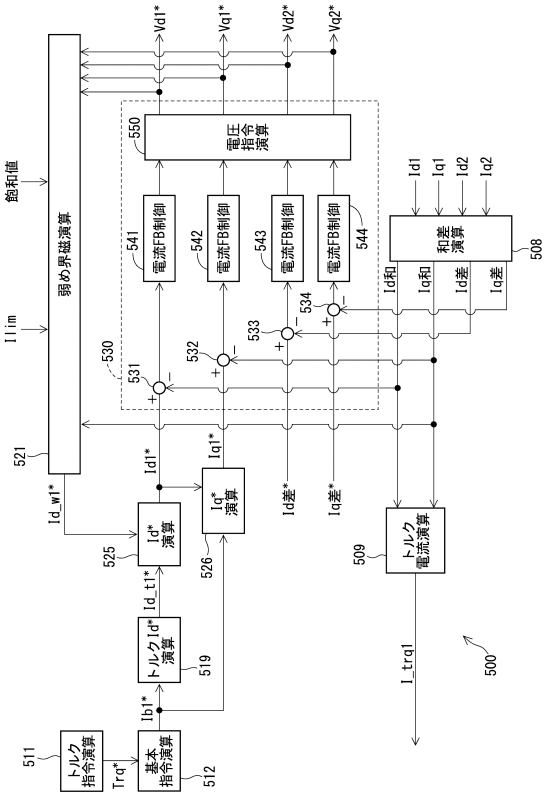


30

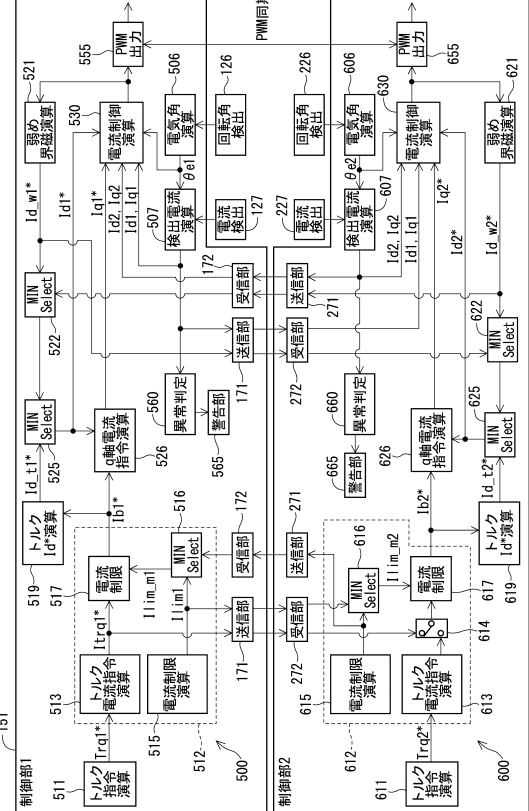
40

50

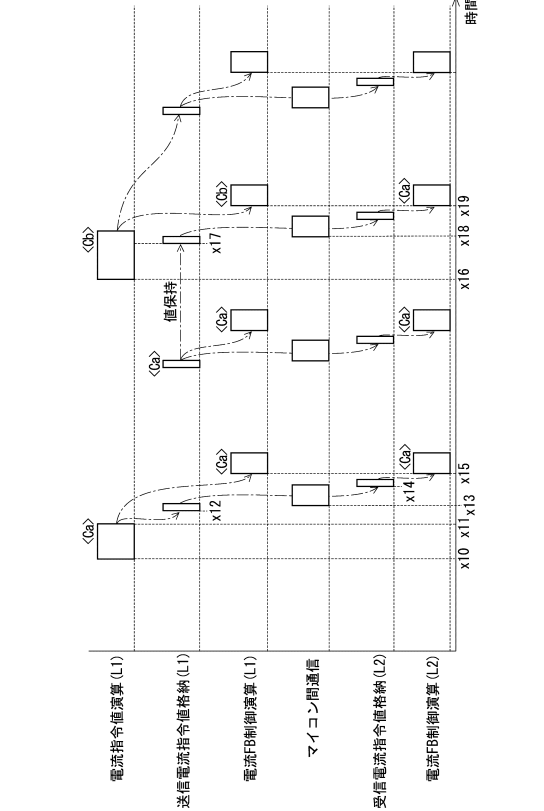
【図 5】



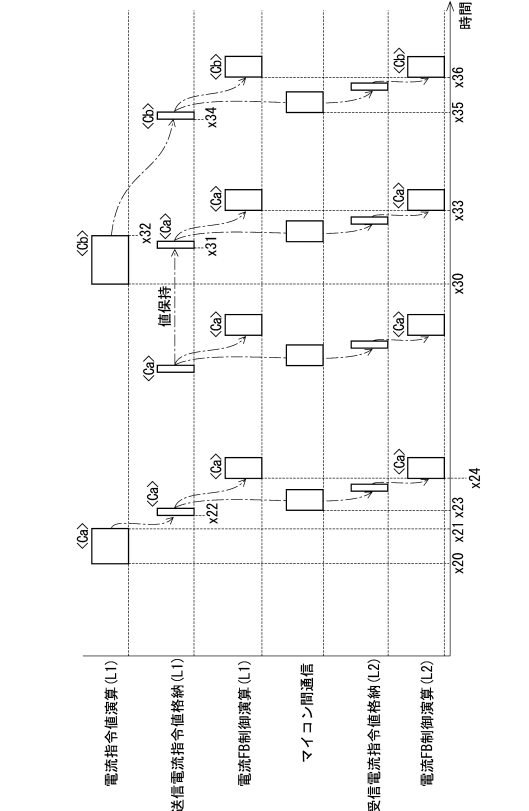
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

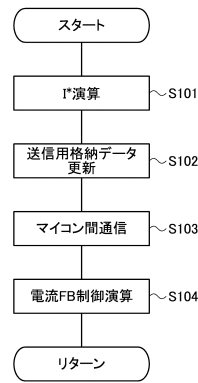
20

30

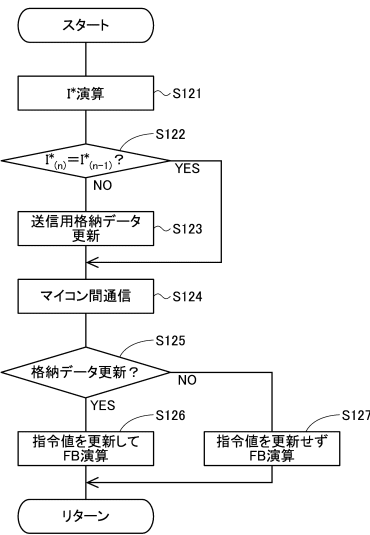
40

50

【図 9】



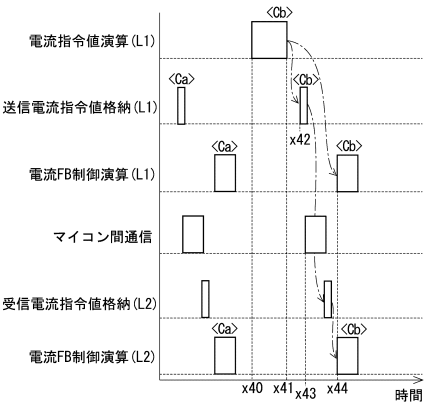
【図 1 0】



10

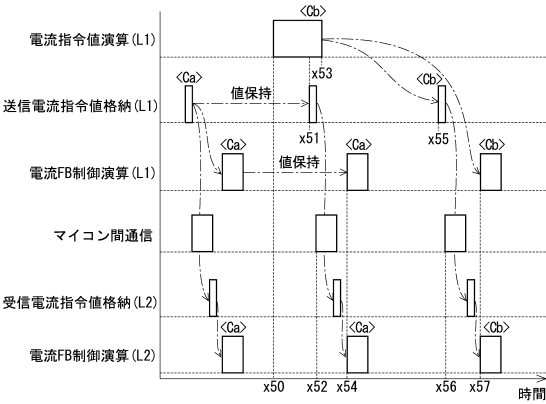
20

【図 1 1】



30

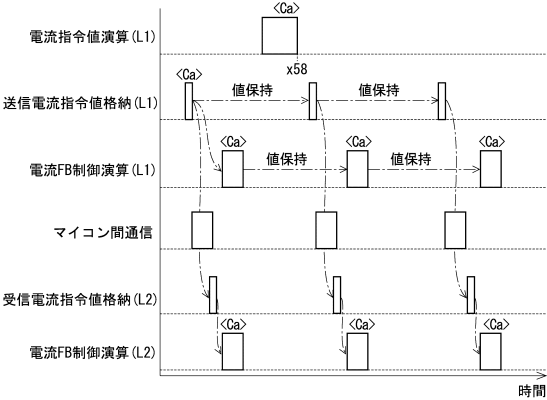
【図 1 2】



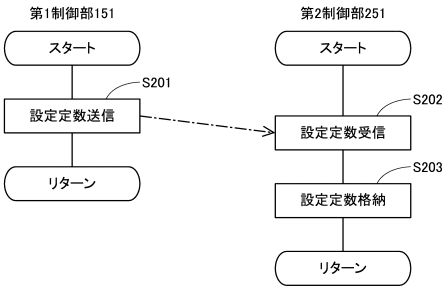
40

50

【図 1 3】



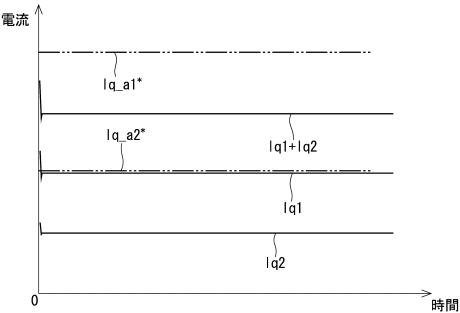
【図 1 4】



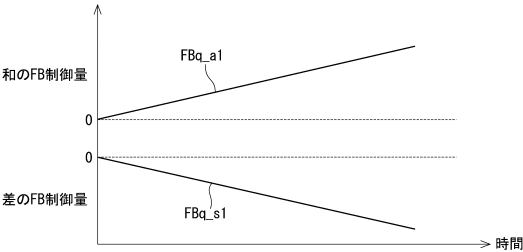
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

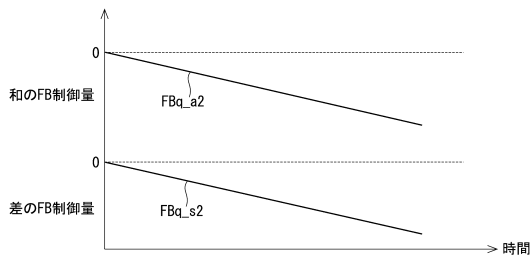


30

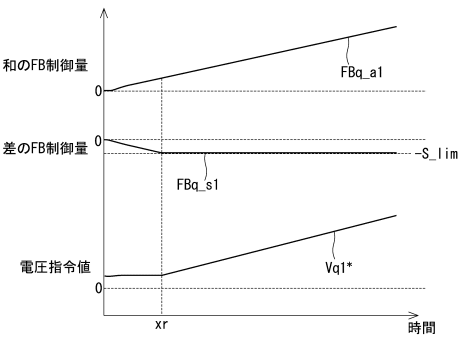
40

50

【図 17】



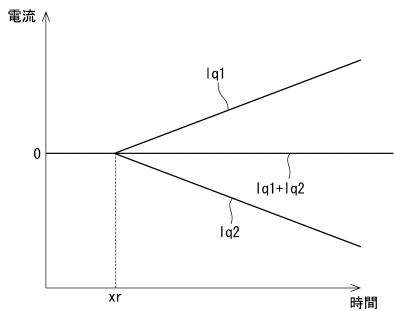
【図 18】



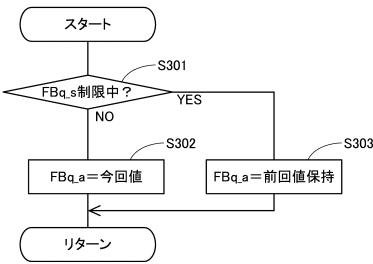
10

20

【図 19】



【図 20】

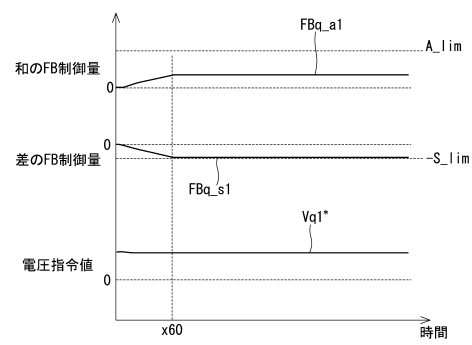


30

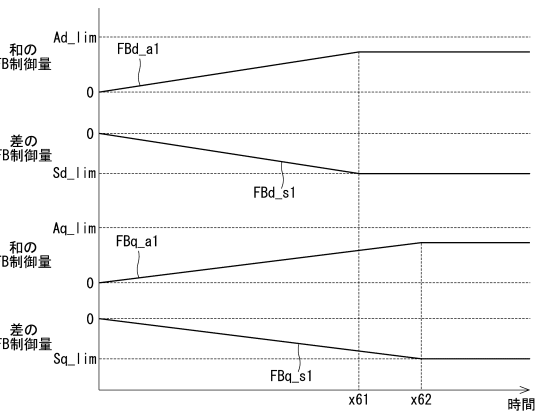
40

50

【図 2 1】



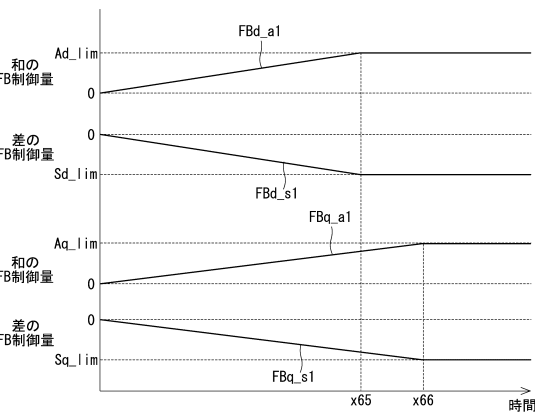
【図 2 2】



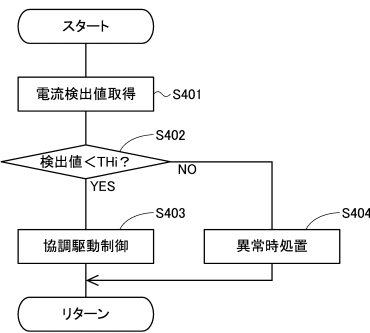
10

20

【図 2 3】



【図 2 4】

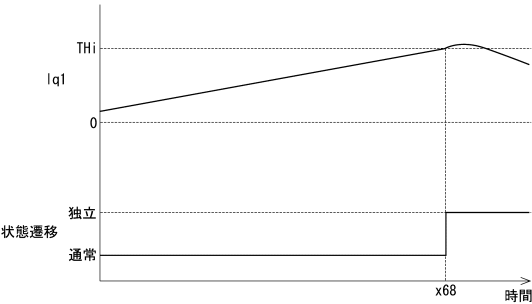


30

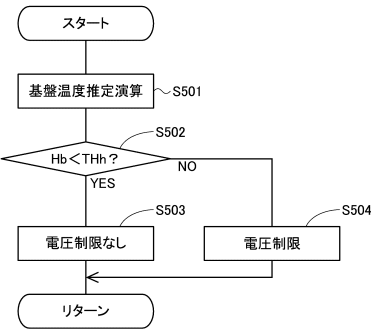
40

50

【図 2 5】



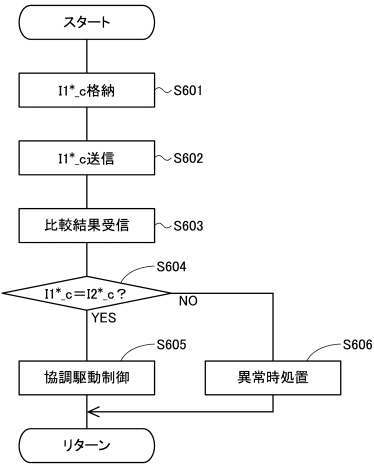
【図 2 6】



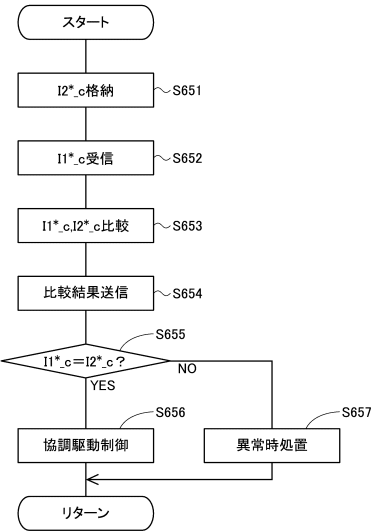
10

20

【図 2 7】



【図 2 8】

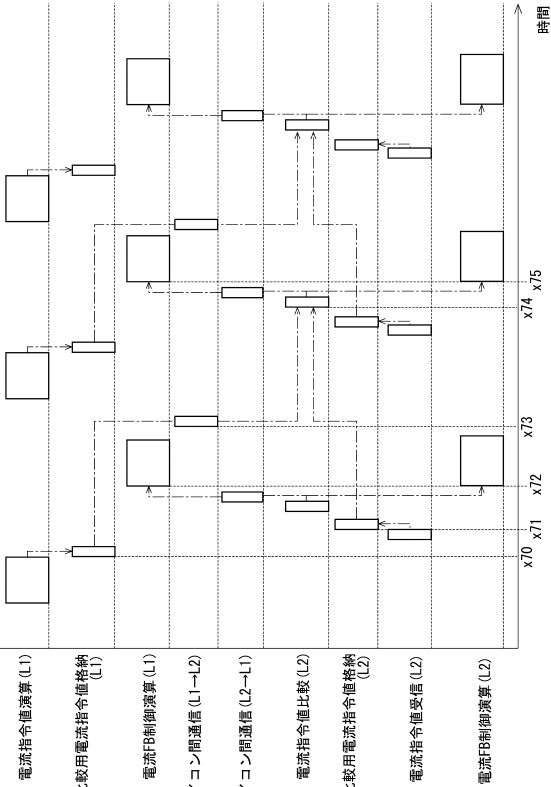


30

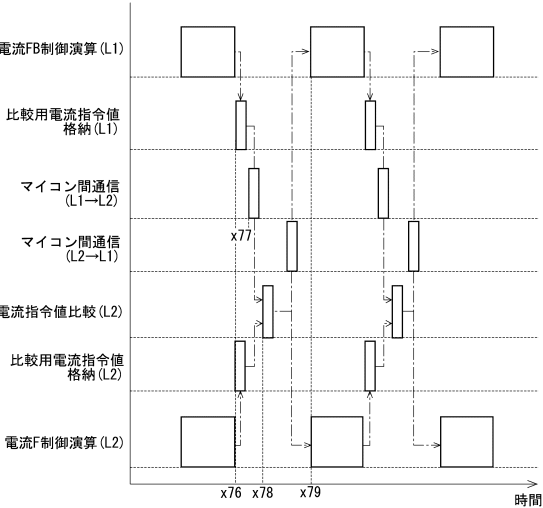
40

50

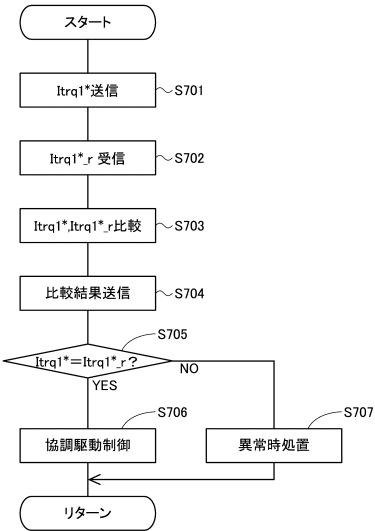
【図 29】



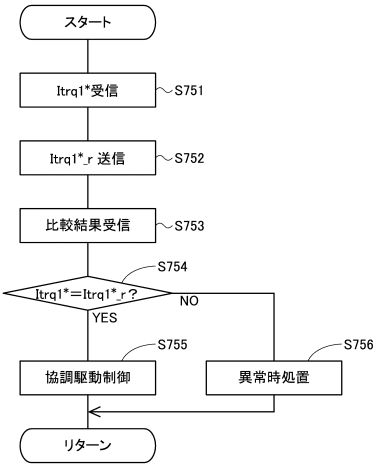
【図 30】



【図 31】



【図 32】



10

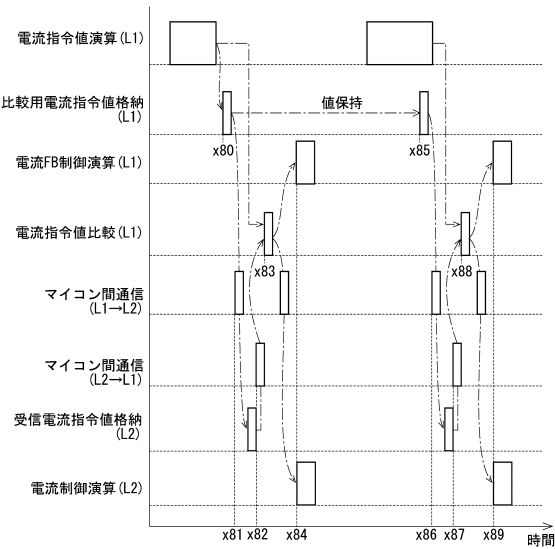
20

30

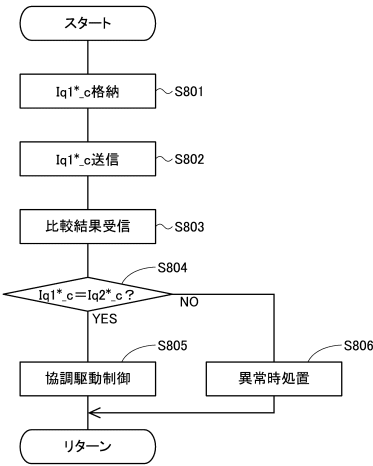
40

50

【図 3 3】



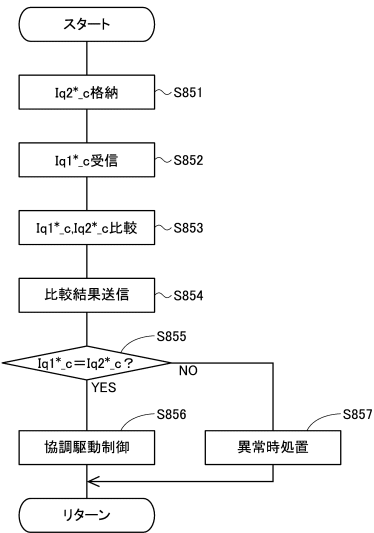
【図 3 4】



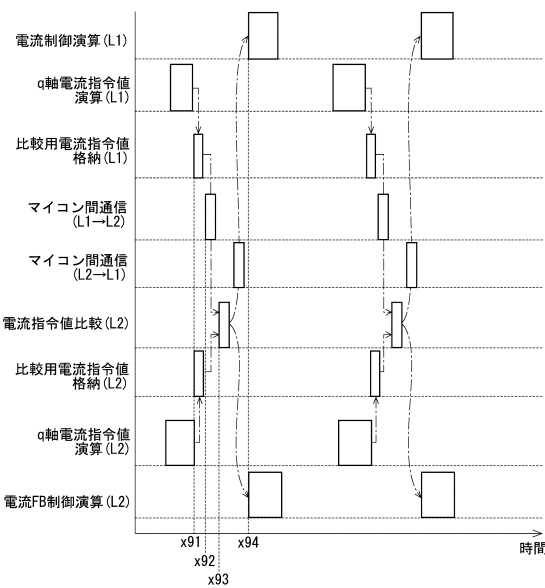
10

20

【図 3 5】



【図 3 6】

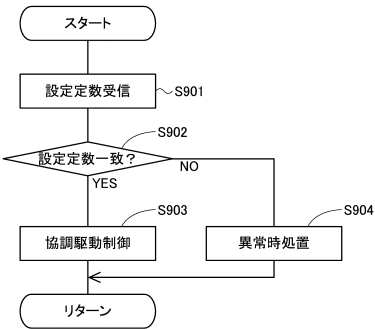


30

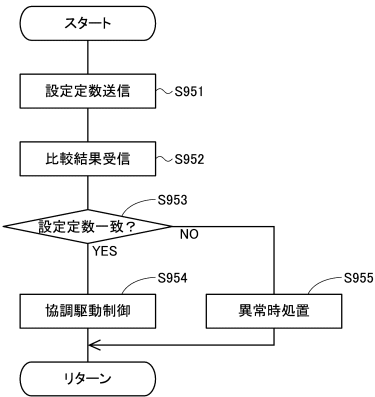
40

50

【図 3 7】



【図 3 8】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

Fターム (参考) JJ28 KK05 LL22 LL38 LL41 LL44 LL54 MM02 MM06 MM12
MM13 PP01