

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B1)

(11)特許番号  
特許第7588452号  
(P7588452)

(45)発行日 令和6年11月22日(2024.11.22)

(24)登録日 令和6年11月14日(2024.11.14)

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

請求項の数 11 (全23頁)

(21)出願番号	特願2024-554240(P2024-554240)	(73)特許権者	523207386 NSKステアリング&コントロール株式会社 東京都品川区大崎一丁目6番3号
(86)(22)出願日	令和6年5月10日(2024.5.10)	(74)代理人	100103850 弁理士 田中 秀 てつ
(86)国際出願番号	PCT/JP2024/017489	(74)代理人	100105854 弁理士 廣瀬 一
審査請求日	令和6年9月11日(2024.9.11)	(74)代理人	100066980 弁理士 森 哲也
(31)優先権主張番号	特願2023-87133(P2023-87133)	(72)発明者	吉田 圭太 東京都品川区大崎一丁目6番3号 NSK ステアリング&コントロール株式会社 内
(32)優先日	令和5年5月26日(2023.5.26)	(72)発明者	澤田 英樹
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 モータ制御装置及び電動パワーステアリング装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

モータの発生トルクを制御するための基本q軸電流指令値を設定するトルク制御部と、  
前記基本q軸電流指令値と前記モータの回転速度とに基づいて弱め界磁用の第1d軸電  
流指令値を設定するd軸電流指令値演算部と、

前記d軸電流指令値演算部の後段に設けられて、前記モータの駆動電流が前記モータの  
定格電流を超えないように前記第1d軸電流指令値に応じて前記基本q軸電流指令値を制  
限することにより第1q軸電流指令値を演算する第1電流制限部と、

前記第1電流制限部の後段に設けられて、バッテリーの出力電流が所定の許容上限を超え  
ないように前記第1d軸電流指令値と前記第1q軸電流指令値をそれぞれ制限することに  
より第2d軸電流指令値と第2q軸電流指令値を演算する第2電流制限部と、

前記第2d軸電流指令値と前記第2q軸電流指令値とに基づいて第1d軸電圧指令値と  
第1q軸電圧指令値を演算する電圧指令値演算部と、

前記第1d軸電圧指令値と前記第1q軸電圧指令値とに基づくPWM制御のデューティ  
比の飽和を抑制するように前記第1d軸電圧指令値と前記第1q軸電圧指令値をそれぞれ  
制限することにより第2d軸電圧指令値と第2q軸電圧指令値を演算する電圧制限部と、

前記第2d軸電圧指令値と前記第2q軸電圧指令値とに基づいて前記モータを駆動する  
駆動回路と、

を備えることを特徴とするモータ制御装置。

## 【請求項2】

10

20

前記 d 軸電流指令値演算部は、前記第 2 d 軸電流指令値の過去値に基づいて前記モータの駆動電流が前記モータの定格電流を超えないように前記基本 q 軸電流指令値を制限して得られた q 軸電流指令値に応じて前記第 1 d 軸電流指令値を演算することを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記 d 軸電流指令値演算部は、前記第 2 d 軸電流指令値の過去値に基づいて前記バッテリーの出力電流が前記許容上限を超えないように前記基本 q 軸電流指令値を制限して得られた q 軸電流指令値に応じて前記第 1 d 軸電流指令値を演算することを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 4】

前記 d 軸電流指令値演算部は、前記モータの回転速度に基づいて前記第 1 d 軸電流指令値の上限を制限することを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 5】

前記電圧制限部は、  
前記モータの印加電圧の上限値である電圧上限値を設定する電圧上限値設定部と、  
前記電圧上限値に応じた電圧制限ゲインを設定する電圧制限ゲイン設定部と、  
を備え、前記電圧制限ゲインに応じて前記第 1 d 軸電圧指令値と前記第 1 q 軸電圧指令値をそれぞれ制限することにより第 2 d 軸電圧指令値と第 2 q 軸電圧指令値を演算することを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 6】

前記電圧上限値設定部は、多相モータである前記モータの多相電圧指令値に三次高調波を重畳することによる電圧利用効率向上分、デッドタイムによる電圧降下、デッドタイム補償に起因するデューティ比対モータ端子電圧比の低下分の少なくとも 1 つに基づいて電圧上限値を設定する、ことを特徴とする請求項 5 に記載のモータ制御装置。

【請求項 7】

前記電圧制限部は、  
前記第 1 d 軸電圧指令値と第 1 遅延要素の出力との和に前記電圧制限ゲインを乗算して得られた第 1 乗算結果と、前記第 1 q 軸電圧指令値と第 2 遅延要素の出力との和に前記電圧制限ゲインを乗算して得られた第 2 乗算結果を出力するとともに、前記第 1 乗算結果と前記第 2 乗算結果とをそれぞれ前記第 1 遅延要素及び前記第 2 遅延要素に入力する外乱電圧抑制部を備え、前記第 1 乗算結果を含んだ前記第 2 d 軸電圧指令値と前記第 2 乗算結果を含んだ前記第 2 q 軸電圧指令値と、を出力することを特徴とする請求項 5 に記載のモータ制御装置。

【請求項 8】

前記電圧制限ゲイン設定部は、前記電圧上限値と、前記第 1 d 軸電圧指令値及び前記第 1 遅延要素の出力との前記和と、前記第 1 q 軸電圧指令値及び前記第 2 遅延要素の出力との前記和と、に基づいて前記電圧制限ゲインを設定する、

ことを特徴とする請求項 7 に記載のモータ制御装置。

【請求項 9】

前記電圧指令値演算部は、前記第 2 d 軸電流指令値に対する前記モータの駆動電流の d 軸電流の検出値の偏差の積分成分である d 軸積分成分と、前記第 2 q 軸電流指令値に対する前記モータの駆動電流の q 軸電流の検出値の偏差の積分成分である q 軸積分成分とをそれぞれ含んだ前記第 1 d 軸電圧指令値と前記第 1 q 軸電圧指令値を出力し、前記電圧制限ゲインに基づいて前記 d 軸積分成分と前記 q 軸積分成分を抑制することを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載のモータ制御装置。

【請求項 10】

前記第 1 d 軸電圧指令値は、前記第 2 d 軸電流指令値に基づくフィードフォワード制御により演算されたフィードフォワード d 軸電圧指令値と、前記第 2 d 軸電流指令値に対する前記モータの駆動電流の d 軸電流の検出値の偏差に基づくフィードバック制御により演算されたフィードバック d 軸電圧指令値と、を含み、

10

20

30

40

50

前記第 1 q 軸電圧指令値は、前記第 2 q 軸電流指令値に基づくフィードフォワード制御により演算されたフィードフォワード q 軸電圧指令値と、前記第 2 q 軸電流指令値に対する前記モータの駆動電流の q 軸電流の検出値の偏差に基づくフィードバック制御により演算されたフィードバック q 軸電圧指令値と、を含み、

前記外乱電圧抑制部は、

前記フィードバック d 軸電圧指令値と前記第 1 遅延要素の出力との和に前記電圧制限ゲインを乗算して得られた前記第 1 乗算結果と、前記フィードバック q 軸電圧指令値と前記第 2 遅延要素の出力との和に前記電圧制限ゲインを乗算して得られた前記第 2 乗算結果を出力するとともに、前記第 1 乗算結果と前記第 2 乗算結果とをそれぞれ前記第 1 遅延要素及び前記第 2 遅延要素に入力し、

10

前記電圧制限ゲイン設定部は、前記電圧上限値と、前記フィードバック d 軸電圧指令値、前記第 1 遅延要素の出力及び前記フィードフォワード d 軸電圧指令値の和と、前記フィードバック q 軸電圧指令値、前記第 2 遅延要素の出力及び前記フィードフォワード q 軸電圧指令値の和と、に基づいて前記電圧制限ゲインを設定し、

前記電圧制限部は、前記フィードフォワード d 軸電圧指令値に前記電圧制限ゲインを乗算して得られた第 3 乗算結果と前記第 1 乗算結果とを含んだ前記第 2 d 軸電圧指令値を出力するとともに、前記フィードフォワード q 軸電圧指令値に前記電圧制限ゲインを乗算して得られた第 4 乗算結果と前記第 2 乗算結果とを含んだ前記第 2 q 軸電圧指令値を出力する、

ことを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載のモータ制御装置。

20

#### 【請求項 1 1】

請求項 1 に記載のモータ制御装置と、

前記モータ制御装置により制御されるモータと、を備え、

前記モータによって車両の操舵系に操舵補助力を付与することを特徴とする電動パワーステアリング装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、モータ制御装置及び電動パワーステアリング装置に関する。

#### 【背景技術】

30

#### 【0002】

電動モータを制御するモータ制御装置は、制御出力に補正が必要な場合がある。例えば、電動パワーステアリングに搭載するモータ制御装置では、システム要件や顧客要求によって制御出力に補正を行っている。下記特許文献 1 には、モータの PWM 制御のデューティ飽和（すなわち駆動回路に印加可能な最大電圧を電圧指令値が超える状態）を回避しつつ d 軸電流を任意の値に制限するモータ制御装置が提案されている。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0003】

【文献】国際公開第 2020/095479 号パンフレット

40

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0004】

上記特許文献 1 のモータ制御装置では、高負荷状態においてデューティ比が飽和したり、高回転速度域においてデューティ比が減少する等の問題が発生していた。

本発明は上記事情を鑑みてなされたものであり、モータ制御装置の制御出力の補正に伴う高負荷状態におけるデューティ比の飽和や高回転速度域におけるデューティ比の減少を抑制することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0005】

50

上記目的を達成するために、本発明の一態様によるモータ制御装置は、モータの発生トルクを制御するための基本 q 軸電流指令値を設定するトルク制御部と、基本 q 軸電流指令値とモータの回転速度とに基づいて弱め界磁用の第 1 d 軸電流指令値を設定する d 軸電流指令値演算部と、d 軸電流指令値演算部の後段に設けられて、モータの駆動電流がモータの定格電流を超えないように第 1 d 軸電流指令値に応じて基本 q 軸電流指令値を制限することにより第 1 q 軸電流指令値を演算する第 1 電流制限部と、第 1 電流制限部の後段に設けられて、バッテリーの出力電流が所定の許容上限を超えないように第 1 d 軸電流指令値と第 1 q 軸電流指令値をそれぞれ制限することにより第 2 d 軸電流指令値と第 2 q 軸電流指令値を演算する第 2 電流制限部と、第 2 d 軸電流指令値と第 2 q 軸電流指令値とに基づいて第 1 d 軸電圧指令値と第 1 q 軸電圧指令値を演算する電圧指令値演算部と、第 1 d 軸電圧指令値と第 1 q 軸電圧指令値とに基づく PWM 制御のデューティ比の飽和を抑制するように第 1 d 軸電圧指令値と第 1 q 軸電圧指令値をそれぞれ制限することにより第 2 d 軸電圧指令値と第 2 q 軸電圧指令値を演算する電圧制限部と、第 2 d 軸電圧指令値と第 2 q 軸電圧指令値とに基づいてモータを駆動する駆動回路と、を備える。

10

【0006】

本発明の他の一態様による電動パワーステアリング装置は、上記のモータ制御装置により制御されるモータにより、車両の操舵系に操舵補助力を付与する。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、モータ制御装置の制御出力の補正に伴う高負荷状態におけるデューティ飽和や高回転速度域におけるデューティ比の減少を抑制できる。

20

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施形態の電動パワーステアリング装置の一例の概要を示す構成図である。

【図2】図1に記載されるコントローラの機能構成の一例を示すブロック図である。

【図3】d軸電流指令値演算部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図4】(a)は界磁電流制限部により設定されるd軸電流上限値の一例の設定例を示す図であり、(b)はd軸電流指令値の制限の一例のタイムチャートである。

【図5】フィードバック(FB)制御部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図6】電圧制限部の機能構成の一例を示すブロック図である。

30

【図7】電圧上限値設定部の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図8】(a)及び(b)は第1判定ゲインの設定例の第1例及び第2例の模式図であり、(c)及び(d)は第2判定ゲインの設定例の第1例及び第2例の模式図である。

【図9】実施形態のモータ制御方法の一例のフローチャートである。

【図10】本発明のモータ制御装置を用いる直動テーブル装置の一例の概要を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本発明の実施形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、以下に示す本発明の実施形態は、本発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、本発明の技術的思想は、構成部品の構成、配置等を下記のものに特定するものではない。本発明の技術的思想は、特許請求の範囲に記載された請求項が規定する技術的範囲内において、種々の変更を加えることができる。

40

【0010】

(構成)

図1は、実施形態の電動パワーステアリング装置の一例の概要を示す構成図である。ステアリングホイール(操向ハンドル)1の操舵軸(ステアリングシャフト、ハンドル軸)2は減速機構を構成する減速ギア(ウォームギア)3、ユニバーサルジョイント4a及び4b、ピニオンラック機構5、タイロッド6a、6bを経て、更にハブユニット7a、7bを介して操向車輪8L、8Rに連結されている。

50

## 【 0 0 1 1 】

ピニオンラック機構 5 は、ユニバーサルジョイント 4 b から操舵力が伝達されるピニオンシャフトに連結されたピニオン 5 a と、このピニオン 5 a に噛合するラック 5 b とを有し、ピニオン 5 a に伝達された回転運動をラック 5 b で車幅方向の直進運動に変換する。

操舵軸 2 には操舵トルク  $T_h$  を検出するトルクセンサ 1 0 が設けられている。また、操舵軸 2 には、ステアリングホイール 1 の操舵角  $\delta$  を検出する操舵角センサ 1 4 が設けられている。

## 【 0 0 1 2 】

また、ステアリングホイール 1 の操舵力を補助するモータ 2 0 が減速ギア 3 を介して操舵軸 2 に連結されている。電動パワーステアリング (EPS: Electric Power Steering) 装置を制御するコントローラ 3 0 には、バッテリー 1 3 から電力が供給されるとともに、イグニッション (IGN) キー 1 1 を経てイグニッションキー信号が入力される。

モータ 2 0 は、多相交流モータでありコントローラ 3 0 によるベクトル制御によって駆動される。本実施形態では、モータ 2 0 が 3 相交流モータである場合を例示する。

## 【 0 0 1 3 】

コントローラ 3 0 は、トルクセンサ 1 0 で検出された操舵トルク  $T_h$  と、車速センサ 1 2 で検出された車速  $V_h$  と、操舵角センサ 1 4 で検出された操舵角  $\delta$  に基づいてアシスト制御指令の電流指令値の演算を行い、電流指令値に補償等を施した電圧指令値  $V_{ref}$  によってモータ 2 0 に供給する電流を制御する電子制御ユニット (ECU: Electronic Control Unit) である。

なお、操舵角センサ 1 4 は必須のものではなく、モータ 2 0 の回転軸の回転角度を検出する回転角度センサから得られる回転角度に、トルクセンサ 1 0 のトーションバーの捩れ角を加えて操舵角  $\delta$  を算出してもよい。

また、操舵角  $\delta$  に代えて、操向車輪 8 L、8 R の転舵角を用いてもよい。例えばラック 5 b の変位量を検出することにより転舵角を検出してもよい。

## 【 0 0 1 4 】

コントローラ 3 0 は、例えば、プロセッサと、記憶装置等の周辺部品とを含むコンピュータを備えてよい。プロセッサは、例えば CPU (Central Processing Unit)、や MPU (Micro-Processing Unit) であってよい。

記憶装置は、半導体記憶装置、磁気記憶装置及び光学記憶装置のいずれかを備えてよい。記憶装置は、レジスタ、キャッシュメモリ、主記憶装置として使用される ROM (Read Only Memory) 及び RAM (Random Access Memory) 等のメモリを含んでよい。

以下に説明するコントローラ 3 0 の機能は、例えばコントローラ 3 0 のプロセッサが、記憶装置に格納されたコンピュータプログラムを実行することにより実現される。

## 【 0 0 1 5 】

なお、コントローラ 3 0 を、以下に説明する各情報処理を実行するための専用のハードウェアにより形成してもよい。

例えば、コントローラ 3 0 は、汎用の半導体集積回路中に設定される機能的な論理回路を備えてもよい。例えばコントローラ 3 0 はフィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ (FPGA: Field-Programmable Gate Array) 等のプログラマブル・ロジック・デバイス (PLD: Programmable Logic Device) 等を有していてもよい。

## 【 0 0 1 6 】

次に、コントローラ 3 0 が実行するモータ 2 0 の制御出力の制限機能の課題について説明する。モータ 2 0 の制御出力の制限機能は、(1) ステアリングホイールの操舵に対する操向車輪の転舵角の追従性能要求を満たすための弱め界磁電流量を算出すること、(2) システム電流上限、バッテリー電流上限を満たすこと、(3) デューティ飽和を防止することを目的として開発されてきた。

## 【 0 0 1 7 】

しかしながら、上記特許文献 1 のモータ制御装置には、下記の課題 1 及び課題 2 が残されている。

10

20

30

40

50

(課題1) 高負荷状態においてデューティ飽和を防止できないことがある。

(課題2) 高回転速度域においてデューティ比の減少が発生することがある。

そこで、実施形態のモータ制御装置ではこれらの課題1及び課題2を解決することを目的とする。

#### 【0018】

さらに、実施形態のモータ制御装置では課題1及び課題2に加えて、下記の課題3及び課題4を解決することを目的とする。

(課題3) 後述するように、実施形態のモータ制御装置ではモータ電流のフィードバック制御において積分器を使用しているため、積分値が過剰に蓄積される虞がある。

(課題4) 最近の高出力化要求に伴い、低いインダクタンスやイナーシャを持つモータの使用が普及している。このため、高速回転時の逆起電圧による過電流に対する対策手段が必要となる。

#### 【0019】

本発明では、上記課題1～4に対して以下の方針に基づいて解決手段を構成する。

高負荷状態におけるデューティ飽和(課題1)は、モータ電流のフィードバック制御の定常偏差や過渡特性による誤差、電流制限を行っている位置が適切でないこと、電流次元においてデューティ次元の制限をかけようとしていること等が要因と考えられる。このため、電圧指令値の制限によってデューティ飽和の防止を実現する。

#### 【0020】

高回転速度域におけるデューティ比の減少(課題2)は、q軸電流指令値の過剰な制限が要因と考えられる。このため、q軸電流指令値の制限方法を見直してq軸電流指令値を優先して制限する。

モータ電流のフィードバック制御における積分値の過剰な蓄積(課題3)に対しては、新たにアンチwindアップ機能を追加する。

過電流対策(課題4)としては、高速回転時において可能な限り大きなd軸電流指令値を流すことにより弱め界磁によって逆起電圧を低減する。可能な限りd軸電流指令値を流すためにq軸電流指令値を優先して制限する。

#### 【0021】

これらの対応方針を実現するために、本発明の発明者らはコントローラ30の各機能構成の再構築と配置変更を行った。図2は、コントローラ30の機能構成の一例を示すブロック図である。コントローラ30は、トルク制御部40と、d軸電流指令値演算部41と、角加速度レギュレータ42と、第1電流制限部43と、第2電流制限部44と、フィードフォワード(FF)制御部45と、3相/2相変換部46と、フィードバック(FB)制御部47と、電圧制限部48と、2相/3相変換部49と、PWM(Pulse Width Modulation)制御部50と、インバータ(INV)51と、を備える。

#### 【0022】

トルク制御部40は、少なくとも操舵トルク $T_h$ と車速 $V_h$ に基づいて、モータ20の発生トルクを制御するための電流指令値である基本q軸電流指令値 $I_{qr0}$ を演算する。

d軸電流指令値演算部41は、基本q軸電流指令値 $I_{qr0}$ と、モータ20の回転速度と、バッテリー13により供給される電源電圧 $V_R$ と、に基づいて弱め界磁用の第1d軸電流指令値 $I_{dr1}$ を設定する。

#### 【0023】

図3は、d軸電流指令値演算部41の機能構成の一例を示すブロック図である。d軸電流指令値演算部41は、電流指令値設定部41aと、界磁電流指令値演算部41bと、界磁電流制限部41cと、を備える。

電流指令値設定部41aは、基本q軸電流指令値 $I_{qr0}$ と、回転速度と、電源電圧 $V_R$ と、d軸電流指令値の過去値 $I_{dz}$ とに基づいて、後段の界磁電流指令値演算部41bで基本d軸電流指令値 $I_{dr0}$ の算出に用いるq軸電流指令値 $I_{qt}$ を設定する。

ここでは、基本d軸電流指令値 $I_{dr0}$ が、モータ20の定格電流の条件とバッテリー13の許容上限電流の条件を満たすのに適したq軸電流指令値 $I_{qt}$ を設定する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 4 】

なお、d 軸電流指令値の過去値  $I_{dz}$  としては、後述するように第 2 電流制限部 4 4 が演算する第 2 d 軸電流指令値  $I_{dr2}$  の過去値（例えば前回の制御周期において演算した第 2 d 軸電流指令値  $I_{dr2}$ ）を用いてよい。

以下の説明においてモータ 2 0 の定格電流の条件を「システム電流制限」と表記し、バッテリー 1 3 の許容上限電流の条件を「バッテリー電流制限」と表記することがある。

## 【 0 0 2 5 】

システム電流制限に関して電流指令値設定部 4 1 a は、d 軸電流指令値及び q 軸電流指令値が、システム最大電流  $I_{max}$ （例えばモータの定格電流）以下となるように、次式（1）にしたがって q 軸電流指令値に対する制限ゲイン  $G_{q1}$  を設定する。

なお、式（1）の演算過程では「0」割り防止の処理を行う。また、演算結果が 1 をこえないように、リミッタ処理（0 ~ 1）を施す。

## 【 0 0 2 6 】

## 【数 1】

$$G_{q1} = \frac{\sqrt{(I_{max})^2 - (I_{dz})^2}}{I_{qr0}} \dots (1)$$

## 【 0 0 2 7 】

バッテリー電流制限に関して電流指令値設定部 4 1 a は、バッテリー 1 3 から出力されるバッテリー電流  $I_{bat}$  が、所定の許容上限  $I_{batmax}$  以下となるように、q 軸電流指令値に対する制限ゲイン  $G_{q2}$  を設定する。電流指令値設定部 4 1 a は、d 軸電流指令値のみで許容上限  $I_{batmax}$  を超えないように次式（2）にしたがって d 軸電流指令値に対する制限ゲイン  $G_{d1}$  を設定する。なお、式（2）においても「0」割り防止処理、リミッタ処理を施す。

## 【 0 0 2 8 】

## 【数 2】

$$G_{d1} = \frac{\sqrt{6R(VR \cdot I_{batmax} - P_{loss})}}{3 \cdot R \cdot I_{dz}} \dots (2)$$

## 【 0 0 2 9 】

なお、定数  $R$  はモータ 2 0 の各相巻線の抵抗値を示し、 $P_{loss}$  は鉄損や摩擦等による損失を示す。電流指令値設定部 4 1 a は、上式（2）で設定した制限ゲイン  $G_{d1}$  に基づいて、次式（3）により q 軸電流指令値に対する制限ゲイン  $G_{q2}$  を設定する。なお、定数  $K_t$  はモータ 2 0 のトルク定数を示す。なお、式（3）においても「0」割り防止処理及びリミッタ処理を施す。

## 【 0 0 3 0 】

## 【数 3】

$$G_{q2} = \frac{-K_t \omega + \sqrt{(K_t \omega)^2 - (3 \cdot R \cdot G_{d1} \cdot I_{dz})^2 + 6R(VR \cdot I_{batmax} - P_{loss})}}{3R \cdot I_{qr0}} \dots (3)$$

## 【 0 0 3 1 】

電流指令値設定部 4 1 a は、制限ゲイン  $G_{q1}$ 、 $G_{q2}$  のうちいずれか小さい一方のゲインを基本 q 軸電流指令値  $I_{qr0}$  に乗算して q 軸電流指令値  $I_{qt} = \min(G_{q1}, G_{q2}) \times I_{qr0}$  を演算する。

界磁電流指令値演算部 4 1 b は、電流指令値設定部 4 1 a が設定した q 軸電流指令値  $I_{qt}$  と、回転速度 と、電源電圧  $VR$  とに基づいて、次式（4）にしたがって弱め界磁用の界磁電流指令値である基本 d 軸電流指令値  $I_{dr0}$  を算出する。なお、定数  $L$  は、モータ

10

20

30

40

50

タ 1 相当りのインダクタンスを示し、定数 はモータにより定まる磁束鎖交数を示す。

【 0 0 3 2 】

【 数 4 】

$$I_{dr0} = -\frac{\omega^2 \Psi L}{R^2 + \omega^2 L^2} + \sqrt{\frac{VR^2/3}{R^2 + \omega^2 L^2} - \left\{ I_{qt} + \frac{R\omega\Psi}{R^2 + \omega^2 L^2} \right\}^2} \dots (4)$$

【 0 0 3 3 】

界磁電流制限部 4 1 c は、基本 d 軸電流指令値  $I_{dr0}$  を弱め界磁電流の方向のみに制限することで、第 1 d 軸電流指令値  $I_{dr1}$  を演算する。 10

d 軸電流指令値の制限値は、ステアリングホイールの操舵に対する転舵角の追従性能の要求と作動音のバランスを勘定して決定されるが、本実施形態では上記課題 4 (過電流対策) のために、可能な限り大きな d 軸電流指令値を流す必要がある。

【 0 0 3 4 】

そこで界磁電流制限部 4 1 c は、基本 d 軸電流指令値  $I_{dr0}$  を d 軸電流上限値  $I_{dUL}$  以下に制限することにより第 1 d 軸電流指令値  $I_{dr1}$  を演算し、回転速度 に応じて d 軸電流上限値  $I_{dUL}$  を変更する。

図 4 (a) は、界磁電流制限部 4 1 c により設定される d 軸電流上限値  $I_{dUL}$  の一例の設定例を示す図である。回転速度 が閾値  $t_h$  未満の範囲では d 軸電流上限値  $I_{dUL}$  は比較的小さな第 1 制限値  $I_{d1}$  に設定され、回転速度 が閾値  $t_h$  以上の範囲では第 1 制限値  $I_{d1}$  よりも大きな第 2 制限値  $I_{d2}$  に設定される。 20

【 0 0 3 5 】

例えば閾値  $t_h$  は、緊急回避等において発生しうると想定される最大操舵角速度をモータ 2 0 の回転速度に換算して設定してよい。これにより、通常操舵時における作動音の静寂性と緊急回避等におけるステアリングホイールの操舵に対する転舵角の追従性能のバランスを図ることができる。

界磁電流制限部 4 1 c は、第 1 d 軸電流指令値  $I_{dr1}$  の時間変化を制限するレートリミッタを備えていてもよい。

【 0 0 3 6 】

図 4 (b) は、第 1 d 軸電流指令値  $I_{dr1}$  の制限の一例のタイムチャートである。時点  $t_1$  において基本 d 軸電流指令値  $I_{dr0}$  が投入されると、第 1 d 軸電流指令値  $I_{dr1}$  はレートリミッタによって増加速度が制限されて漸増し、時点  $t_2$  で第 1 制限値  $I_{d1}$  に至る。

その後、モータ 2 0 の回転速度 が上昇して時点  $t_3$  で閾値  $t_h$  を超えると、d 軸電流上限値  $I_{dUL}$  は第 2 制限値  $I_{d2}$  に増加する。この結果、第 1 d 軸電流指令値  $I_{dr1}$  はレートリミッタによって増加速度が制限されて漸増し、時点  $t_4$  で第 2 制限値  $I_{d2}$  に至る。

【 0 0 3 7 】

図 2 を参照する。角加速度レギュレータ 4 2 は、モータ 2 0 の回転速度 に基づいてトルク変動を抑制するための q 軸電流指令値の補償値  $q$  を設定する。 40

第 1 電流制限部 4 3 は、基本 q 軸電流指令値  $I_{qr0}$  を補償値  $q$  で補償し、モータ 2 0 の駆動電流がシステム電流制限を超えないように補償後の基本 q 軸電流指令値 ( $I_{qr0} + q$ ) を制限することにより、第 1 q 軸電流指令値  $I_{qr1}$  を演算する。

具体的には、次式 (5) にしたがって制限ゲイン  $G_{q3}$  を設定する。なお、式 (5) においても「0」割り防止処理及びリミッタ処理を施す。

【 0 0 3 8 】

【 数 5 】

$$Gq3 = \frac{\sqrt{(Imax)^2 - (Idr1)^2}}{Iqr0 + \Delta q} \dots (5)$$

## 【 0 0 3 9 】

第 1 電流制限部 4 3 は、基本 q 軸電流指令値 ( I q r 0 + q ) に制限ゲイン G q 3 を乗算することにより、第 1 q 軸電流指令値 I q r 1 = G q 3 × ( I q r 0 + q ) を演算する。

第 2 電流制限部 4 4 は、バッテリー電流 I b a t がバッテリー電流制限を超えないように、第 1 d 軸電流指令値 I d r 1 と第 1 q 軸電流指令値 I q r 1 をそれぞれ制限することにより第 2 d 軸電流指令値 I d r 2 と第 2 q 軸電流指令値 I q r 2 を演算する。

10

具体的には、次式 ( 6 ) 及び ( 7 ) にしたがって d 軸電流指令値に対する制限ゲイン G d 2 と q 軸電流指令値に対する制限ゲイン G q 4 を設定する。なお、式 ( 6 ) 及び ( 7 ) においても「 0 」割り防止処理及びリミッタ処理を施す。

## 【 0 0 4 0 】

## 【 数 6 】

$$Gd2 = \frac{\sqrt{6R(VR \cdot Ibatmax - Ploss)}}{3 \cdot R \cdot Idr1} \dots (6)$$

$$Gq4 = \frac{-K_t \omega + \sqrt{(K_t \omega)^2 - (3 \cdot R \cdot Gd2 \cdot Idr1)^2 + 6R(VR \cdot Ibatmax - Ploss)}}{3R \cdot Iqr1} \dots (7)$$

20

## 【 0 0 4 1 】

第 2 電流制限部 4 4 は、第 1 d 軸電流指令値 I d r 1 に制限ゲイン G d 2 を乗算することにより第 2 d 軸電流指令値 I d r 2 = G d 2 × I d r 1 を演算し、第 1 q 軸電流指令値 I q r 1 に制限ゲイン G q 4 を乗算することにより第 2 q 軸電流指令値 I q r 2 = G q 4 × I q r 1 を演算する。

FF 制御部 4 5 は、第 2 d 軸電流指令値 I d r 2 と第 2 q 軸電流指令値 I q r 2 とにそれぞれ基づくフィードフォワード制御によって、モータ 2 0 に対する電圧指令値である FF d 軸電圧指令値 V d f f と、FF q 軸電圧指令値 V q f f を演算する。

30

## 【 0 0 4 2 】

例えば FF 制御部 4 5 は、FF d 軸電圧指令値 V d f f と、FF q 軸電圧指令値 V q f f として、d 軸と q 軸との間で互いに干渉する干渉電圧を打ち消す d q 軸非干渉電圧指令値を演算してよい。

また例えば FF 制御部 4 5 は、2 自由度制御構成によるフィードフォワード出力を FF d 軸電圧指令値 V d f f と、FF q 軸電圧指令値 V q f f d 軸として演算してもよい。

FF d 軸電圧指令値 V d f f 及び FF q 軸電圧指令値 V q f f は、それぞれ特許請求の範囲に記載の「第 1 d 軸電圧指令値」及び「第 1 q 軸電圧指令値」の一例である。

## 【 0 0 4 3 】

3 相 / 2 相変換部 4 6 は、モータ電流検出器 2 1 で検出されたモータ 2 0 の 3 相電流の検出値を、d 軸電流 i d 及び q 軸電流 i q に変換する。

40

FB 制御部 4 7 は、第 2 d 軸電流指令値 I d r 2 に対するモータ 2 0 の駆動電流の d 軸電流の検出値 i d の電流偏差 I d に基づくフィードバック制御によって、モータ 2 0 に対する d 軸電圧指令値である FB d 軸電圧指令値 V d f b を演算する。

## 【 0 0 4 4 】

また FB 制御部 4 7 は、第 2 q 軸電流指令値 I q r 2 に対するモータ 2 0 の駆動電流の q 軸電流の検出値 i q の電流偏差 I q に基づくフィードバック制御によって、モータ 2 0 に対する q 軸電圧指令値である FB q 軸電圧指令値 V q f b を演算する。

FB d 軸電圧指令値 V d f b 及び FB q 軸電圧指令値 V q f b は、それぞれ特許請求の範囲に記載の「第 1 d 軸電圧指令値」及び「第 1 q 軸電圧指令値」の一例である。

50

## 【 0 0 4 5 】

F B制御部 4 7は、電流偏差  $I_d$ 、 $I_q$ に基づく比例制御（P制御）、積分制御（I制御）又は微分制御（D制御）の少なくとも1つ又はこれらの組合せによって、F B d軸電圧指令値  $V_{dfb}$ とF B q軸電圧指令値  $V_{qfb}$ を演算する。

図 5は、比例積分微分（PID）制御によりF B d軸電圧指令値  $V_{dfb}$ とF B q軸電圧指令値  $V_{qfb}$ を演算する場合のF B制御部 4 7の機能構成の一例を示すブロック図である。

## 【 0 0 4 6 】

F B制御部 4 7は、減算器 4 7 aと、ゲイン乗算部 4 7 b、4 7 d及び4 7 fと、近似微分部 4 7 cと、積分器 4 7 eと、加算器 4 7 gを備える。

減算器 4 7 aは、第 2 d軸電流指令値  $I_{dr2}$ に対するd軸電流の検出値  $i_d$ の電流偏差  $I_d = (I_{dr2} - i_d)$ と、第 2 q軸電流指令値  $I_{qr2}$ に対するq軸電流の検出値  $i_q$ の電流偏差  $I_q = (I_{qr2} - i_q)$ を算出する。

ゲイン乗算部 4 7 bは、電流偏差  $I_d$ と比例ゲイン  $K_p$ の乗算結果と、電流偏差  $I_q$ と比例ゲイン  $K_p$ の乗算結果を加算器 4 7 gへ出力する。

## 【 0 0 4 7 】

近似微分部 4 7 cは、電流偏差  $I_d$ 、 $I_q$ の微分値を演算する。例えば近似微分部 4 7 cは、微分演算とローパスフィルタとを組み合わせた伝達関数  $s / (Ts + 1)$ を電流偏差  $I_d$ 、 $I_q$ に乗算することにより微分値を演算してよい。ゲイン乗算部 4 7 dは、電流偏差  $I_d$ の微分値と微分ゲイン  $K_d$ の乗算結果と、電流偏差  $I_q$ の微分値と微分ゲイン  $K_d$ の乗算結果を加算器 4 7 gへ出力する。

## 【 0 0 4 8 】

積分器 4 7 eは、電流偏差  $I_d$ 、 $I_q$ の積分値を演算する。ゲイン乗算部 4 7 fは、電流偏差  $I_d$ の積分値と積分ゲイン  $K_i$ の乗算結果と、電流偏差  $I_q$ の積分値と積分ゲイン  $K_i$ の乗算結果を加算器 4 7 gへ出力する。

加算器 4 7 gは、電流偏差  $I_d$ と比例ゲイン  $K_p$ の乗算結果と、電流偏差  $I_d$ の微分値と微分ゲイン  $K_d$ の乗算結果と、電流偏差  $I_d$ の積分値と積分ゲイン  $K_i$ の乗算結果の和を、F B d軸電圧指令値  $V_{dfb}$ として出力する。

また加算器 4 7 gは、電流偏差  $I_q$ と比例ゲイン  $K_p$ の乗算結果と、電流偏差  $I_q$ の微分値と微分ゲイン  $K_d$ の乗算結果と、電流偏差  $I_q$ の積分値と積分ゲイン  $K_i$ の乗算結果の和を、F B q軸電圧指令値  $V_{qfb}$ として出力する。

## 【 0 0 4 9 】

積分器 4 7 eは、遅延要素 4 7 e 1と、加算器 4 7 e 2と、ゲイン乗算部 4 7 e 3を備える。

遅延要素 4 7 e 1は、積分器 4 7 eの出力である電流偏差  $I_d$ の積分成分と電流偏差  $I_q$ の積分成分とを遅延させてから加算器 4 7 e 2に入力する。すなわち遅延要素 4 7 e 1は、積分器 4 7 eの出力の過去値（前回値）を加算器 4 7 e 2に入力する。

## 【 0 0 5 0 】

加算器 4 7 e 2は、電流偏差  $I_d$ と遅延要素 4 7 e 1の出力の和と、 $I_q$ と遅延要素 4 7 e 1の出力の和を出力する。具体的には、電流偏差  $I_d$ の積分成分の過去値に電流偏差  $I_d$ を追加した和を出力する。また、電流偏差  $I_q$ の積分成分の過去値に電流偏差  $I_q$ を追加した和を出力する。

ゲイン乗算部 4 7 e 3は、電圧制限部 4 8が設定した後述の電圧制限ゲイン  $G_v$ を加算器 4 7 e 2の出力のそれぞれに乗算した乗算結果を、積分器 4 7 eの出力（すなわち電流偏差  $I_d$ 、 $I_q$ の積分成分）として算出し、ゲイン乗算部 4 7 fに出力するとともに遅延要素 4 7 e 1に入力する。

## 【 0 0 5 1 】

電圧制限ゲイン  $G_v$ を加算器 4 7 e 2の出力に乗算することによって、積分器 4 7 eにおける積分値を減少させることができるので、積分値のアンチwindアップ機能を実現できる。

10

20

30

40

50

例えば、後述するように電圧制限ゲイン  $G_v$  を値「1」よりも小さな値に設定することにより積分器 47e による積分値の蓄積を抑制できる。また例えば電圧制限ゲイン  $G_v$  を値「0」に設定することにより、積分器 47e による積分値を「0」にリセットできる。

【0052】

図2を参照する。電圧制限部48は、FFd軸電圧指令値  $V_{dff}$ 、FBd軸電圧指令値  $V_{dfb}$ 、FFq軸電圧指令値  $V_{qff}$  及びFBq軸電圧指令値  $V_{qfb}$  に基づくPWM制御のデューティ比の飽和を抑制するように、これら電圧指令値  $V_{dff}$ 、 $V_{dfb}$ 、 $V_{qff}$  及び  $V_{qfb}$  を制限することにより、第2d軸電圧指令値  $V_d$  と第2q軸電圧指令値  $V_q$  を演算する。

【0053】

図6は、電圧制限部48の機能構成の一例を示すブロック図である。電圧制限部48は、電圧上限値設定部48aと、外乱電圧抑制部48bと、電圧制限ゲイン設定部48cと、リミッタ48dと、乗算器48eと、加算器48fを備える。

電圧上限値設定部48aは、デューティ飽和を発生させない電圧指令値の上限値である電圧上限値  $V_{DutyMax}$  を設定する。モータ20の力行時と回生時においてインバータ51のデッドタイムが上限値に作用する方向が異なるため、電圧上限値設定部48aは、次式(8)にしたがって力行時の電圧上限値  $V_{DutyMax}$  を設定し、次式(9)にしたがって回生時の電圧上限値  $V_{DutyMax}$  を設定する。

【0054】

【数7】

$$V_{DutyMax} = \frac{V_R}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\left( DutyMaxRate - \frac{2 \cdot DeadTime}{PWMTime} \right)}{VRDutyConvFactor} \dots (8)$$

$$V_{DutyMax} = \frac{V_R}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\left( DutyMaxRate + \frac{2 \cdot DeadTime}{PWMTime} \right)}{VRDutyConvFactor} \dots (9)$$

【0055】

モータ20の3相電圧指令値に三次高調波を重畳することによる電圧利用効率が向上するため、電圧指令値の上限値を電源電圧  $V_R$  の  $(2/3)$  倍に増加できる。PWM制御のデューティ比の範囲  $0 \sim 100$  [%] は、印加電圧のマイナス側電圧の下限値からプラス側電圧の上限値までの範囲に対応する。このため、上式(8)及び(9)ではプラス及びマイナスの各々の片側の上限値に相当する係数  $(1/3)$  を電源電圧  $V_R$  に乗算している。

【0056】

また、インバータ51のデッドタイム  $DeadTime$  による減少分  $(2 \times DeadTime / PWMTime)$  を、モータ20が力行状態であるか回生状態であるか否かに応じて減算又は加算している。なお、 $PWMTime$  はPWM制御部50のPWM周期を示す。デッドタイム  $DeadTime$  は、設計値と実際値との間に乖離があることが多いため、適宜設定したデッドタイム補償値を力行状態であるか回生状態であるか否かに応じて減算又は加算してよい。

【0057】

また、デッドタイム補償に起因してデューティ比の変化に対するモータ20の端子電圧の変化の比率(傾き)が低下する。これを補償するために変換係数  $VRDutyConvFactor$  の逆数が上式(8)及び(9)の計算式に乗算されている。変換係数  $VRDutyConvFactor$  は、デューティ比への変換の際に電圧指令値を小さくする方向に作用するため、電圧上限値  $V_{DutyMax}$  を増加させることでその減少分を補償する。

また、定数  $DutyMaxRate$  は、後段の計算による量子化誤差と電流検出精度の

10

20

30

40

50

確保のためのマージンを値「1」から減算して設定する（すなわち、 $DutyMaxRate = 100[\%] - \text{量子化誤差} - \text{マージン}$ ）。

【0058】

図7は、電圧上限値設定部48aの機能構成の一例を示すブロック図である。電圧上限値設定部48aは、第1ゲイン設定部48a1と、第2ゲイン設定部48a2と、選択器48a3と、乗算器48a4、48a6及び48a7と、減算器48a5を備える。

第1ゲイン設定部48a1は、バッテリー電流 $I_{bat}$ に基づいてモータ20が力行状態であるか回生状態であるかを判定し、判定結果を示す第1判定ゲイン $G_1$ を出力する。モータ20が力行状態である場合に第1判定ゲイン $G_1$ は値「1」を有し、回生状態である場合に第1判定ゲイン $G_1$ は値「-1」を有する。

10

【0059】

図8(a)は、第1判定ゲイン $G_1$ の設定例の第1例の模式図である。例えば第1判定ゲイン $G_1$ は、バッテリー電流 $I_{bat}$ が値「0」より小さい値 $I_1$ 以下の場合に値「-1」に設定され、バッテリー電流 $I_{bat}$ が値「0」以上の場合に値「1」に設定され、バッテリー電流 $I_{bat}$ が値 $I_1$ から値「0」までの範囲では、バッテリー電流 $I_{bat}$ の増加にしたがって値「-1」から値「1」まで線形に漸増してもよく、非線形に漸増してよい。

【0060】

第1判定ゲイン $G_1$ が値「1」に設定されるバッテリー電流 $I_{bat}$ にマージンを設けて「0」よりも小さな値 $I_2$ に設定してもよい。図8(b)は、第1判定ゲイン $G_1$ の設定例の第2例の模式図である。第1判定ゲイン $G_1$ の符号が誤って設定されるとデューティ飽和を招くためである。

20

例えば値 $I_1$ よりも大きく値「0」未満の値 $I_2$ を設定し、バッテリー電流 $I_{bat}$ が、値 $I_2$ 以上の場合に第1判定ゲイン $G_1$ を値「1」に設定し、バッテリー電流 $I_{bat}$ が値 $I_1$ から値 $I_2$ までの範囲では、バッテリー電流 $I_{bat}$ の増加にしたがって値「-1」から値「1」まで第1判定ゲイン $G_1$ を線形又は非線形に漸増してよい。

【0061】

図7を参照する。第2ゲイン設定部48a2は、後述の電圧制限ゲイン $G_v$ に基づいてデューティ比が上限近くであるか否かを判定し、判定結果を示す第2判定ゲイン $G_2$ を出力する。デューティ比が上限近くである場合に第2判定ゲイン $G_2$ は値「1」を有し、デューティ比が上限近くでない場合に第2判定ゲイン $G_2$ は値「-1」を有する。

30

【0062】

図8(c)は、第2判定ゲイン $G_2$ の設定例の第1例の模式図である。例えば第2判定ゲイン $G_2$ は、電圧制限ゲイン $G_v$ が値「1」より小さい値 $G_{v1}$ 以下の場合に値「-1」に設定され、電圧制限ゲイン $G_v$ が値「1」以上の場合に値「1」に設定され、電圧制限ゲイン $G_v$ が値 $G_{v1}$ から値「1」までの範囲では、電圧制限ゲイン $G_v$ の増加にしたがって値「-1」から値「1」まで線形に漸増してもよく、非線形に漸増してよい。

【0063】

第2判定ゲイン $G_2$ が値「1」に設定される電圧制限ゲイン $G_v$ にマージンを設けて、「1」よりも小さな値 $G_{v2}$ に設定してもよい。図8(d)は、第2判定ゲイン $G_2$ の設定例の第2例の模式図である。第2判定ゲイン $G_2$ の符号が誤って設定されるとデューティ飽和を招くためである。

40

例えば値 $G_{v1}$ よりも大きく値「1」未満の値 $G_{v2}$ を設定し、電圧制限ゲイン $G_v$ が値 $G_{v2}$ 以上の場合に第2判定ゲイン $G_2$ を値「1」に設定し、電圧制限ゲイン $G_v$ が値 $G_{v1}$ から値 $G_{v2}$ までの範囲では、電圧制限ゲイン $G_v$ の増加にしたがって値「-1」から値「1」まで第2判定ゲイン $G_2$ を線形に又は非線形に漸増してよい。

【0064】

図7を参照する。選択器48a3は、第1判定ゲイン $G_1$ 及び第2判定ゲイン $G_2$ のうちいずれか大きい一方のゲインを乗算器48a4に出力する。乗算器48a4、48a6及び48a7並びに減算器48a5は、上式(8)及び(9)の計算式にしたがって電圧上限値 $V_{DutyMax}$ を算出する。

50

## 【 0 0 6 5 】

図 6 を参照する。外乱電圧抑制部 4 8 b は、F B 制御部 4 7 の後段に設けられて、逆起電圧やその他の外乱電圧が F B d 軸電圧指令値  $Vdfb$  や F B q 軸電圧指令値  $Vqfb$  に及ぼす影響を抑制する電圧外乱オブザーバとして機能する。

外乱電圧抑制部 4 8 b は、遅延要素 4 8 b 1 と、加算器 4 8 b 2 と、フィルタ 4 8 b 3 と、乗算器 4 8 b 4 と、を備える。遅延要素 4 8 b 1 は、特許請求の範囲に記載の「第 1 遅延要素」及び「第 2 遅延要素」の一例である。

## 【 0 0 6 6 】

遅延要素 4 8 b 1 は、外乱電圧抑制部 4 8 b から出力される d 軸電圧指令値 ( $Gv \times Vdobs$ ) と q 軸電圧指令値 ( $Gv \times Vqobs$ ) を遅延させてから加算器 4 8 b 2 に入力する。すなわち遅延要素 4 8 b 1 は、d 軸電圧指令値 ( $Gv \times Vdobs$ ) と q 軸電圧指令値 ( $Gv \times Vqobs$ ) の過去値 (前回値) を加算器 4 8 b 2 に入力する。

加算器 4 8 b 2 は、d 軸電圧指令値 ( $Gv \times Vdobs$ ) の過去値に F B d 軸電圧指令値  $Vdfb$  を加えた和を出力する。また、q 軸電圧指令値 ( $Gv \times Vqobs$ ) の過去値に F B q 軸電圧指令値  $Vqfb$  を加えた和を出力する。

## 【 0 0 6 7 】

フィルタ 4 8 b 3 は、ノイズ低減のためのフィルタ処理を加算器 4 8 b 2 の出力に施して得られる d 軸電圧指令値  $Vdobs$  と q 軸電圧指令値  $Vqobs$  を、電圧外乱オブザーバの出力として演算する。

具体的には、d 軸電圧指令値 ( $Gv \times Vdobs$ ) の過去値と F B d 軸電圧指令値  $Vdfb$  の和にフィルタ処理を施して d 軸電圧指令値  $Vdobs$  を演算する。また、q 軸電圧指令値 ( $Gv \times Vqobs$ ) の過去値と F B q 軸電圧指令値  $Vqfb$  の和にフィルタ処理を施して q 軸電圧指令値  $Vqobs$  を演算する。例えばフィルタ 4 8 b 3 は、ローパスフィルタであってよい。

## 【 0 0 6 8 】

電圧制限ゲイン設定部 4 8 c は、電圧外乱オブザーバの出力  $Vdobs$  及び  $Vqobs$  と、F F d 軸電圧指令値  $Vdff$  と、F F q 軸電圧指令値  $Vqff$  と、電圧上限値  $VDutyMax$  とに基づいて、電圧指令値を電圧上限値  $VDutyMax$  以下に制限するための電圧制限ゲイン  $Gv$  を設定する。

具体的には電圧制限ゲイン設定部 4 8 c は、d 軸電圧指令値と q 軸電圧指令値の合成ベクトルと電圧上限値  $VDutyMax$  との比により電圧制限ゲイン  $Gv$  を演算する (次式 (10))。リミッタ 4 8 d は、電圧制限ゲイン  $Gv$  の上限値を「1」に制限し、下限値を「0」に制限する。

## 【 0 0 6 9 】

## 【 数 8 】

$$Gv = \frac{VDutyMax}{\sqrt{(Vdobs + Vdff)^2 + (Vqobs + Vqff)^2}} \dots (10)$$

## 【 0 0 7 0 】

外乱電圧抑制部 4 8 b の乗算器 4 8 b 4 は、電圧外乱オブザーバの出力  $Vdobs$  及び  $Vqobs$  にそれぞれ電圧制限ゲイン  $Gv$  を乗算し、乗算結果 ( $Gv \times Vdobs$ ) 及び ( $Gv \times Vqobs$ ) を遅延要素 4 8 b 1 に入力するとともに加算器 4 8 f に出力する。

乗算器 4 8 e は、F F d 軸電圧指令値  $Vdff$  と F F q 軸電圧指令値  $Vqff$  にそれぞれ電圧制限ゲイン  $Gv$  を乗算し、乗算結果 ( $Gv \times Vdff$ ) 及び ( $Gv \times Vqff$ ) を加算器 4 8 f に出力する。

## 【 0 0 7 1 】

加算器 4 8 f は、乗算結果 ( $Gv \times Vdobs$ ) と ( $Gv \times Vdff$ ) の和を第 2 d 軸電圧指令値  $Vd = Gv \times (Vdobs + Vdff)$  として算出し、乗算結果 ( $Gv \times Vqobs$ ) と ( $Gv \times Vqff$ ) の和を第 2 q 軸電圧指令値  $Vq = Gv \times (Vqobs + V$

10

20

30

40

50

q f f )として算出する。

このように、電圧制限ゲイン  $G_v$  を乗算して電圧指令値を制限することにより、第 2 d 軸電圧指令値  $V_d$  及び第 2 q 軸電圧指令値  $V_q$  に基づく P W M 制御においてデューティ比が 1 0 0 % に飽和するのを抑制できる。

#### 【 0 0 7 2 】

図 2 を参照する。2 相 / 3 相変換部 4 9 は、第 2 d 軸電圧指令値  $V_d$  及び第 2 q 軸電圧指令値  $V_q$  を 3 相電圧指令値に変換する。

3 相電圧指令値は、P W M 制御部 5 0 に入力され、更にインバータ 5 1 を介してモータ 2 0 が P W M 駆動される。モータ 2 0 の駆動電流はモータ電流検出器 2 1 で検出され、3 相 / 2 相変換部 4 6 により d 軸電流  $i_d$  及び q 軸電流  $i_q$  に変換されて、F B 制御部 4 7 の減算器 4 7 a にフィードバックされる。

10

#### 【 0 0 7 3 】

( 作用 )

d 軸電流指令値演算部 4 1 は、上式 ( 4 ) に基づいて基本 d 軸電流指令値  $I_{dr0}$  を演算する。式中の定数  $R$  や  $L$  にはノミナル値が設定されるため、物理パラメータのばらつきや温度変化等による誤差が生じる。また、モータ 2 0 の回転速度 の検出値も遅れやノイズ等による誤差が生じる。このため、d 軸電流指令値の制限によってデューティ飽和を完全に防止することは難しい。

そこで本実施形態では、デューティ飽和の抑制は後段の電圧制限部 4 8 で行い、d 軸電流指令値演算部 4 1 では最適な d 軸電流指令値の算出を試みることにした。

20

#### 【 0 0 7 4 】

このように本実施形態では、d 軸電流指令値演算部 4 1 ではデューティ飽和を考慮しないが、上式 ( 4 ) による d 軸電流指令値をそのまま使用すると d 軸電流指令値が過剰に算出されてしまう虞がある。このため、上式 ( 4 ) に基づいて各入力パラメータが d 軸電流指令値に対してどう影響するかを検討する。d 軸電流指令値がマイナス方向に増加する(弱め界磁制御を強くする)ためには、上式 ( 4 ) から、モータの回転速度 が高くなるか、電源電圧  $V_R$  が低下するか、q 軸電流指令値  $I_{qt}$  が大きくなればよいことが分かる。

#### 【 0 0 7 5 】

次に、基本 d 軸電流指令値  $I_{dr0}$  を算出するときに使用する q 軸電流指令値  $I_{qt}$  と、電圧指令値の算出に実際に使用する第 2 q 軸電流指令値  $I_{qr2}$  が乖離した場合の影響を検討する。

30

第 2 q 軸電流指令値  $I_{qr2}$  が大きくなる側に乖離すると、d 軸電流指令値が不足するためデューティ飽和が発生する。この事象が起こる要因としては、角加速度レギュレータ 4 2 の出力  $q$  が基本 q 軸電流指令値  $I_{qr0}$  に加算された場合が考えられる。しかし、角加速度レギュレータの出力  $q$  は変化が急峻であるのに対し、d 軸電流指令値はレートリミッタ等で制限されるため、急激な変化に追従できないと推察される。よって、第 2 q 軸電流指令値  $I_{qr2}$  が大きくなる側に乖離する時間は短くその影響も限定的である。このため、第 2 q 軸電流指令値  $I_{qr2}$  が大きくなる側に乖離する場合は考慮しない。

#### 【 0 0 7 6 】

第 2 q 軸電流指令値  $I_{qr2}$  が小さくなる側に乖離すると、基本 d 軸電流指令値  $I_{dr0}$  が過剰となり、デューティ比を上限まで使うことができなくなる。要因としては後段で q 軸電流指令値が制限される場合が考えられる。後段における q 軸電流指令値の制限は、上式 ( 5 ) の制限ゲイン  $G_{q3}$  によるシステム電流制限と、上式 ( 7 ) の制限ゲイン  $G_{q4}$  によるバッテリー電流制限である。

40

したがって、電流指令値設定部 4 1 a においてこれらの制限がかかった場合の q 軸電流指令値  $I_{qt}$  を上式 ( 1 ) 及び ( 3 ) によって算出して、基本 d 軸電流指令値  $I_{dr0}$  の算出に用いることにより最適な q 軸電流指令値を算出する。

#### 【 0 0 7 7 】

また、電圧制限部 4 8 では、電圧制限をかけるための電圧制限ゲイン  $G_v$  を算出し、電圧指令値に乘算している。この電圧制限ゲイン  $G_v$  を、電圧外乱オブザーバとして機能す

50

る外乱電圧抑制部 4 8 b において電圧指令値に乗算すると、電圧外乱オブザーバを構成する積分器の上限値を制限できるため、実質的にアンチwindアップ機能として働く。

【 0 0 7 8 】

なお、電圧制限部 4 8 では、d 軸電圧指令値と q 軸電圧指令値と同じ値のゲイン（電圧制限ゲイン  $G_v$ ）を乗算して制限している。これは電圧外乱オブザーバが積分器で構成されているため、q 軸を優先して制限すると d 軸電圧指令値と q 軸電圧指令値の合成ベクトルが上限値で制限されても、d 軸電圧指令値が上限値まで上がり続け、それに合わせて q 軸電圧指令値が急激に制限されてしまい出力の急変を招く虞があるためである。

【 0 0 7 9 】

また、電圧上限値設定部 4 8 a による電圧上限値  $V_{DutyMax}$  の設定に関して、デッドタイムは、力行時はデューティを小さく、回生時にはデューティを大きくするように作用する。

10

上式（8）は力行時における電圧上限値  $V_{DutyMax}$  の算出式であり、回生時の作用方向の切り替えを考慮しないとデューティ比の上限に乖離が発生する虞がある。このため本実施形態では、力行と回生とを判定し、デッドタイムによる減少分の符号を切り替える。

【 0 0 8 0 】

しかしながら、単純に符号を切り替えてしまうとデューティ比の急変が生じてしまうため、過電流や作動音が生じる虞がある。そこで、回生の条件判定としてバッテリー電流  $I_{bat}$  を使用するとともに、デューティの条件判定として電圧制限ゲイン  $G_v$  を使用し、これらに基づいて判定ゲイン  $G_1$ 、 $G_2$  を算出する。ただし、これらの条件判定のどちらが満足するかは分からないため、判定ゲイン  $G_1$  及び  $G_2$  の最大値に基づいて符号を切り替えることで、これら 2 つの判定ゲイン  $G_1$  及び  $G_2$  の間のフェード切り替えを実現する。

20

【 0 0 8 1 】

また、FB制御部 4 7 は、積分器 4 7 e における積分値のアンチwindアップ機能を備える。一般的にアンチwindアップ機能の目的は、積分器を含む制御器の出力が何らかの理由により制限された場合に、過剰に積分値が溜まってしまふのを防ぐことである。

アンチwindアップ機能の一般的な構成では、制限される前後の出力の差分値に何らかの処理を加えてフィードバックし、積分値の上限を制限している。

【 0 0 8 2 】

30

本実施形態では、FB制御部 4 7 の出力が電圧上限値を超えることは少なく、ほとんどの場合は後段に設けられた外乱電圧抑制部（電圧外乱オブザーバ）4 8 b の出力が電圧上限値を超える。そのため、一般的なアンチwindアップの構成をそのまま用いることはできない。

また、電圧指令値が電圧上限値によって制限されている状態であっても、FB制御部 4 7 の出力と外乱電圧抑制部 4 8 b の出力の比率は変化できることが好ましい（例えば、モータ 2 0 の回転速度 が下がってトルクが上がる状況では、逆起電圧が下がり q 軸電流が上がるので、FB制御部 4 7 の出力の比率が大きくなり外乱電圧抑制部 4 8 b の出力の比率が小さくなるのが好ましい）。

このため、本実施形態ではFB制御部 4 7 の積分器 4 7 e の積分値と、外乱電圧抑制部 4 8 b の電圧外乱オブザーバの出力  $V_{dobs}$  及び  $V_{qobs}$  とを同じ値のゲイン（電圧制限ゲイン  $G_v$ ）を乗算して制限して、FB制御部 4 7 と外乱電圧抑制部 4 8 b との間で負担を等分している。

40

【 0 0 8 3 】

（動作）

図 9 は、実施形態のモータ制御方法の一例のフローチャートである。

ステップ S 1 においてトルクセンサ 1 0、車速センサ 1 2 及びモータ電流検出器 2 1 は、それぞれ操舵トルク  $T_h$ 、車速  $V_h$  及びモータ 2 0 の駆動電流を検出する。また、電圧センサ及び電流センサは、バッテリー 1 3 により供給される電源電圧  $V_R$  とバッテリー電流  $I_{bat}$  を検出する。

50

## 【 0 0 8 4 】

ステップ S 2 においてトルク制御部 4 0 は、少なくとも操舵トルク  $T_h$  と車速  $V_h$  に基づいて基本 q 軸電流指令値  $I_{qr0}$  を演算する。

ステップ S 3 において d 軸電流指令値演算部 4 1 は、基本 q 軸電流指令値  $I_{qr0}$  と電源電圧  $V_R$  とモータ 2 0 の回転速度  $\omega$  とに基づいて第 1 d 軸電流指令値  $I_{dr1}$  を設定する。

ステップ S 4 において第 1 電流制限部 4 3 は、モータ 2 0 の定格電流に基づいて基本 q 軸電流指令値  $I_{qr0}$  を制限することにより第 1 q 軸電流指令値  $I_{qr1}$  を演算する。

## 【 0 0 8 5 】

ステップ S 5 において第 2 電流制限部 4 4 は、バッテリー上限電流  $I_{batmax}$  に基づいて第 1 d 軸電流指令値  $I_{dr1}$  と第 1 q 軸電流指令値  $I_{qr1}$  をそれぞれ制限することにより第 2 d 軸電流指令値  $I_{dr2}$  と第 2 q 軸電流指令値  $I_{qr2}$  を演算する。

ステップ S 6 において FF 制御部 4 5 は、FF d 軸電圧指令値  $V_{dff}$  と FF q 軸電圧指令値  $V_{qff}$  を演算する。FB 制御部 4 7 は、FB d 軸電圧指令値  $V_{dfb}$  と FB q 軸電圧指令値  $V_{qfb}$  を演算する。

ステップ S 7 において電圧上限値設定部 4 8 a は、電圧上限値  $V_{DutyMax}$  を設定する。

## 【 0 0 8 6 】

ステップ S 8 において電圧制限ゲイン設定部 4 8 c は、電圧上限値  $V_{DutyMax}$  に基づいて電圧制限ゲイン  $G_v$  を設定する。

ステップ S 9 において電圧制限部 4 8 は、電圧制限ゲイン  $G_v$  により FF d 軸電圧指令値  $V_{dff}$ 、FF q 軸電圧指令値  $V_{qff}$ 、FB d 軸電圧指令値  $V_{dfb}$  及び FB q 軸電圧指令値  $V_{qfb}$  を制限することにより第 2 d 軸電圧指令値  $V_d$  と第 2 q 軸電圧指令値  $V_q$  を演算する。

ステップ S 10 において PWM 制御部 5 0 とインバータ 5 1 は、第 2 d 軸電圧指令値  $V_d$  と第 2 q 軸電圧指令値  $V_q$  に基づきモータ 2 0 を駆動する。その後処理は終了する。

## 【 0 0 8 7 】

(変形例)

本発明に係るモータ制御装置は、上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しなければ種々の変形が可能である。

例えば上記実施形態では、本発明に係るモータ制御装置の適用例として、これを備える電動パワーステアリング装置を例示して説明したが、本発明に係るモータ制御装置の適用範囲はこれに限定されず、モータ制御装置を用いる各種機械装置に適用可能である。

## 【 0 0 8 8 】

図 1 0 は、本発明のモータ制御装置を用いる直動テーブル装置の一例の概要を示す構成図である。

直動テーブル装置は、送りねじ装置と、テーブル 7 1 と、2 個のリニアガイド (直動案内装置) と、基台 7 4 を備えている。

送りねじ装置は、ねじ軸 7 0 とナット 7 6 とモータ 7 7 を有し、ねじ軸 7 0 がナット 7 6 に挿通されている。送りねじ装置の送りねじ機構は、ねじ軸 7 0 の螺旋溝とナット 7 6 の螺旋溝がボール (転動体) を介して点接触するボールねじである。ねじ軸 7 0 の軸方向一端にモータ 7 7 が結合されている。

## 【 0 0 8 9 】

2 個のリニアガイドは、それぞれ、案内レール 7 2 と 2 個のスライダ (移動体) 7 3 と複数の転動体を有する。リニアガイドにおいて、案内レール 7 2 およびスライダ 7 3 は、互いに対向する位置に、転動体の転動通路を形成する軌道面をそれぞれ有する。両軌道面は案内レール 7 2 の長手方向に延び、転動通路内を負荷状態で転動する転動体を介して、スライダ 7 3 が案内レール 7 2 に沿って直線移動する。

基台 7 4 上のテーブル 7 1 の移動方向 Y と垂直な方向の両端に、各リニアガイドが配置され、2 個のリニアガイドの間に送りねじ装置が配置されている。案内レール 7 2 とねじ

10

20

30

40

50

軸 70 が、テーブル 71 の移動方向 Y と平行に配置されている。

【 0090 】

この配置で、案内レール 72 が基台 74 に固定されている。ねじ軸 70 は、それぞれの軸方向両端部に転がり軸受が取り付けられ、転がり軸受の外輪にハウジング 75 が固定され、各ハウジング 75 が基台 74 に固定されている。これにより、ねじ軸 70 が、基台 74 に対して回転自在に支持されている。

テーブル 71 は、各リニアガイドの 2 個のスライダ 73 と送りねじ装置のナット 76 の上方に配置され、スライダ 73 に対しては直接、ナット 76 に対してはブラケットを介して固定されている。すなわち、各リニアガイドの 2 個のスライダ 73 及び送りねじ装置の 76 がテーブル 71 の一面に固定されている。

10

【 0091 】

この直動テーブルでは、モータ 77 を駆動して送りねじ装置を稼働させるとねじ軸 70 が回転し、ボールねじ機構によりナット 76 が直動する。これに伴い、テーブル 71 がリニアガイドに案内されながら直動する。

コントローラ 78 は、モータ 77 を駆動する電流指令値を設定し、上記の実施形態のコントローラ 30 と同様の処理により電流指令値から電圧制御指令値  $V_{ref}$  を演算して、モータ 20 に供給する電流を制御する。

【 0092 】

( 実施形態の効果 )

( 1 )モータ制御装置は、モータの発生トルクを制御するための基本 q 軸電流指令値を設定するトルク制御部と、基本 q 軸電流指令値とモータの回転速度とに基づいて弱め界磁用の第 1 d 軸電流指令値を設定する d 軸電流指令値演算部と、d 軸電流指令値演算部の後段に設けられて、モータの駆動電流がモータの定格電流を超えないように第 1 d 軸電流指令値に応じて基本 q 軸電流指令値を制限することにより第 1 q 軸電流指令値を演算する第 1 電流制限部と、第 1 電流制限部の後段に設けられて、バッテリーの出力電流が所定の許容上限を超えないように第 1 d 軸電流指令値と第 1 q 軸電流指令値をそれぞれ制限することにより第 2 d 軸電流指令値と第 2 q 軸電流指令値を演算する第 2 電流制限部と、第 2 d 軸電流指令値と第 2 q 軸電流指令値とに基づいて第 1 d 軸電圧指令値と第 1 q 軸電圧指令値を演算する電圧指令値演算部と、第 1 d 軸電圧指令値と第 1 q 軸電圧指令値とに基づく PWM 制御のデューティ比の飽和を抑制するように第 1 d 軸電圧指令値と第 1 q 軸電圧指令値をそれぞれ制限することにより第 2 d 軸電圧指令値と第 2 q 軸電圧指令値を演算する電圧制限部と、第 2 d 軸電圧指令値と第 2 q 軸電圧指令値とに基づいてモータを駆動する駆動回路と、を備える。

20

これにより実施形態のモータ制御装置は、高負荷状態におけるデューティ比の飽和と高回転速度域におけるデューティ比の減少とを抑制できる。

【 0093 】

( 2 ) d 軸電流指令値演算部は、第 2 d 軸電流指令値の過去値に基づいてモータの駆動電流がモータの定格電流を超えないように基本 q 軸電流指令値を制限して得られた q 軸電流指令値に応じて第 1 d 軸電流指令値を演算してもよい。

これにより、電圧指令値の演算のために使用される q 軸電流指令値をモータの定格電流に基づいて制限しても、第 1 d 軸電流指令値を演算するために使用される q 軸電流指令値と、電圧指令値の演算のために使用される q 軸指令値との乖離を低減できる。この結果、過大な第 1 d 軸電流指令値が演算されてデューティ比が上限より低く制限されるのを抑制できる。

40

【 0094 】

( 3 ) d 軸電流指令値演算部は、第 2 d 軸電流指令値の過去値に基づいてバッテリーの出力電流が許容上限を超えないように基本 q 軸電流指令値を制限して得られた q 軸電流指令値に応じて第 1 d 軸電流指令値を演算してもよい。

これにより、電圧指令値の演算のために使用される q 軸電流指令値をバッテリーの上限電流に基づいて制限しても、第 1 d 軸電流指令値を演算するために使用される q 軸電流指令

50

値と、電圧指令値の演算のために使用される q 軸指令値との乖離を低減できる。この結果、過大な第 1 d 軸電流指令値が演算されてデューティ比が上限より低く制限されるのを抑制できる。

【 0 0 9 5 】

( 4 ) d 軸電流指令値演算部は、モータの回転速度に基づいて第 1 d 軸電流指令値の上限を制限してもよい。

これにより作動音と過電流対策のバランスを図ることができる。

【 0 0 9 6 】

( 5 ) 電圧制限部は、モータの印加電圧の上限値である電圧上限値を設定する電圧上限値設定部と、電圧上限値に応じた電圧制限ゲインを設定する電圧制限ゲイン設定部と、を備え、電圧制限ゲインに応じて第 1 d 軸電圧指令値と第 1 q 軸電圧指令値をそれぞれ制限することにより第 2 d 軸電圧指令値と第 2 q 軸電圧指令値を演算してよい。

これにより、高負荷状態におけるデューティ比の飽和を抑制できる。

【 0 0 9 7 】

( 6 ) 電圧上限値設定部は、多相モータであるモータの多相電圧指令値に三次高調波を重畳することによる電圧利用効率向上分、デッドタイムによる電圧降下、デッドタイム補償に起因するデューティ比対モータ端子電圧比の低下分の少なくとも 1 つに基づいて電圧上限値を設定してよい。

これにより、電圧指令値を制限するための電圧上限値を適切に設定できる。

【 0 0 9 8 】

( 7 ) 電圧制限部は、第 1 d 軸電圧指令値と第 1 遅延要素の出力との和に電圧制限ゲインを乗算して得られた第 1 乗算結果と、第 1 q 軸電圧指令値と第 2 遅延要素の出力との和に電圧制限ゲインを乗算して得られた第 2 乗算結果を出力するとともに、第 1 乗算結果と第 2 乗算結果とをそれぞれ第 1 遅延要素及び第 2 遅延要素に入力する外乱電圧抑制部を備え、第 1 乗算結果を含んだ第 2 d 軸電圧指令値と第 2 乗算結果を含んだ第 2 q 軸電圧指令値と、を出力してもよい。

これにより、電圧制限ゲインに基づいて電圧指令値を制限できる。また外乱電圧が第 1 d 軸電圧指令値と第 1 q 軸電圧指令値に及ぼす影響を抑制できる。

【 0 0 9 9 】

( 8 ) 電圧制限ゲイン設定部は、電圧上限値と、第 1 d 軸電圧指令値及び第 1 遅延要素の出力との和と、第 1 q 軸電圧指令値及び第 2 遅延要素の出力との和と、に基づいて電圧制限ゲインを設定してよい。

これにより、d 軸電圧指令値と q 軸電圧指令値の合成ベクトルと電圧上限値との比によって電圧制限ゲインを演算できる。

【 0 1 0 0 】

( 9 ) 電圧指令値演算部は、第 2 d 軸電流指令値に対するモータの駆動電流の d 軸電流の検出値の偏差の積分成分である d 軸積分成分と、第 2 q 軸電流指令値に対するモータの駆動電流の q 軸電流の検出値の偏差の積分成分である q 軸積分成分とをそれぞれ含んだ第 1 d 軸電圧指令値と第 1 q 軸電圧指令値を出力し、電圧制限ゲインに基づいて d 軸積分成分と q 軸積分成分を抑制してもよい。

これにより、積分制御により電圧指令値を演算する電圧指令値演算部において、積分値のアンチwindアップ機能を実現できる。

【 0 1 0 1 】

( 1 0 ) 第 1 d 軸電圧指令値は、第 2 d 軸電流指令値に基づくフィードフォワード制御により演算されたフィードフォワード d 軸電圧指令値と、第 2 d 軸電流指令値に対するモータの駆動電流の d 軸電流の検出値の偏差に基づくフィードバック制御により演算されたフィードバック d 軸電圧指令値と、を含んでもよい。また、第 1 q 軸電圧指令値は、第 2 q 軸電流指令値に基づくフィードフォワード制御により演算されたフィードフォワード q 軸電圧指令値と、第 2 q 軸電流指令値に対するモータの駆動電流の q 軸電流の検出値の偏差に基づくフィードバック制御により演算されたフィードバック q 軸電圧指令値と、を含

10

20

30

40

50

んでもよい。

【0102】

外乱電圧抑制部は、フィードバック d 軸電圧指令値と第 1 遅延要素の出力との和に電圧制限ゲインを乗算して得られた第 1 乗算結果と、フィードバック q 軸電圧指令値と第 2 遅延要素の出力との和に電圧制限ゲインを乗算して得られた第 2 乗算結果を出力するとともに、第 1 乗算結果と第 2 乗算結果とをそれぞれ第 1 遅延要素及び第 2 遅延要素に入力してよい。

【0103】

電圧制限ゲイン設定部は、電圧上限値と、フィードバック d 軸電圧指令値、第 1 遅延要素の出力及びフィードフォワード d 軸電圧指令値の和と、フィードバック q 軸電圧指令値、第 2 遅延要素の出力及びフィードフォワード q 軸電圧指令値の和と、に基づいて電圧制限ゲインを設定してもよい。

10

【0104】

電圧制限部は、フィードフォワード d 軸電圧指令値に電圧制限ゲインを乗算して得られた第 3 乗算結果と第 1 乗算結果とを含んだ第 2 d 軸電圧指令値を出力するとともに、フィードフォワード q 軸電圧指令値に電圧制限ゲインを乗算して得られた第 4 乗算結果と第 2 乗算結果とを含んだ第 2 q 軸電圧指令値を出力してもよい。

【0105】

これにより、フィードフォワード制御による応答性の向上と、フィードバック制御による外乱の影響の抑制とを図ることができる。また、電圧制限ゲインに基づいて電圧指令値を制限できる。また、外乱電圧がフィードバック d 軸電圧指令値とフィードバック q 軸電圧指令値に及ぼす影響を抑制できる。また、d 軸電圧指令値と q 軸電圧指令値の合成ベクトルと電圧上限値との比によって電圧制限ゲインを演算できる。

20

【符号の説明】

【0106】

1 ... ステアリングホイール、2 ... 操舵軸、3 ... 減速ギア、4 a、4 b ... ユニバーサルジョイント、5 ... ピニオンラック機構、5 a ... ピニオン、5 b ... ラック、6 a、6 b ... タイロッド、7 a、7 b ... ハブユニット、8 L、8 R ... 操向車輪、10 ... トルクセンサ、11 ... イグニッションキー、12 ... 車速センサ、13 ... バッテリ、14 ... 操舵角センサ、20、77 ... モータ、21 ... モータ電流検出器、30 ... コントローラ、40 ... トルク制御部、41 ... d 軸電流指令値演算部、41 a ... 電流指令値設定部、41 b ... 界磁電流指令値演算部、41 c ... 界磁電流制限部、42 ... 角加速度レギュレータ、43 ... 第 1 電流制限部、44 ... 第 2 電流制限部、45 ... フィードフォワード制御部、46 ... 3 相 / 2 相変換部、47 ... フィードバック制御部、47 a、48 a 5 ... 減算器、47 b、47 d、47 e 3、47 f ... ゲイン乗算部、47 c ... 近似微分部、47 e ... 積分器、47 e 1、48 b 1 ... 遅延要素、47 e 2、47 g、48 b 2、48 f ... 加算器、48 ... 電圧制限部、48 a ... 電圧上限値設定部、48 a 1 ... 第 1 ゲイン設定部、48 a 2 ... 第 2 ゲイン設定部、48 a 3 ... 選択器、48 a 4、48 a 6、48 a 7、48 b 4、48 e ... 乗算器、48 b ... 外乱電圧抑制部、48 b 3 ... フィルタ、48 c ... 電圧制限ゲイン設定部、48 d ... リミッタ、49 ... 2 相 / 3 相変換部、50 ... PWM 制御部、51 ... インバータ、70 ... ねじ軸、71 ... テーブル、72 ... 案内レール、73 ... スライダ、74 ... 基台、75 ... ハウジング、76 ... ナット

30

40

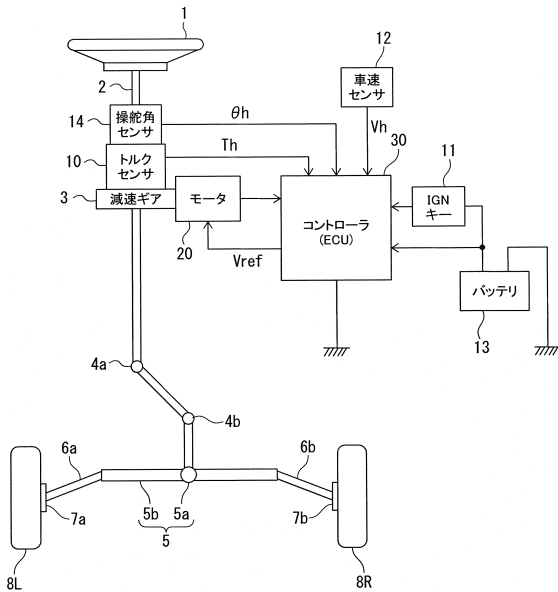
【要約】

高負荷状態におけるデューティ比の飽和や高回転速度域におけるデューティ比の減少を抑制する。モータ制御装置は、弱め界磁用の第1 d 軸電流指令値を設定する d 軸電流指令値演算部 ( 4 1 ) と、 d 軸電流指令値演算部 ( 4 1 ) の後段に設けられてモータ定格電流の条件を満たすように基本 q 軸電流指令値を制限して第1 q 軸電流指令値を演算する第1 電流制限部 ( 4 3 ) と、第1 電流制限部 ( 4 3 ) の後段に設けられてバッテリー許容上限電流を満たすように超えないように第1 d 軸電流指令値と第1 q 軸電流指令値を制限して第2 d 軸電流指令値と第2 q 軸電流指令値を演算する第2 電流制限部 ( 4 4 ) と、第2 d 軸電流指令値と第2 q 軸電流指令値とに基づいて電圧指令値を演算する電圧指令値演算部 ( 4 5、4 7 ) と、電圧指令値を制限してデューティ比の飽和を抑制する電圧制限部 ( 4 8 ) を備える。

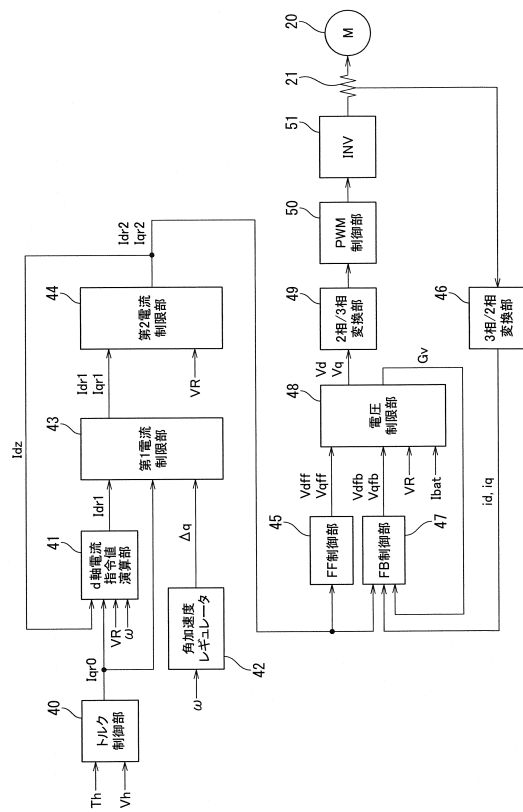
10

【図面】

【図 1】



【図 2】



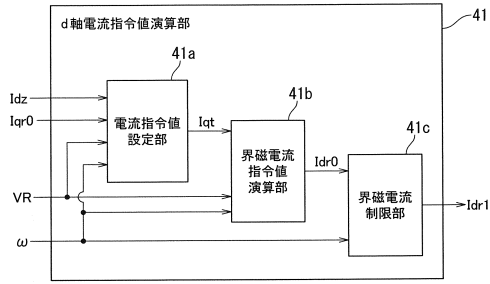
20

30

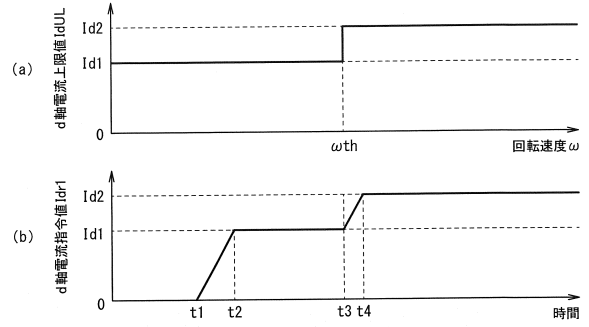
40

50

【図3】

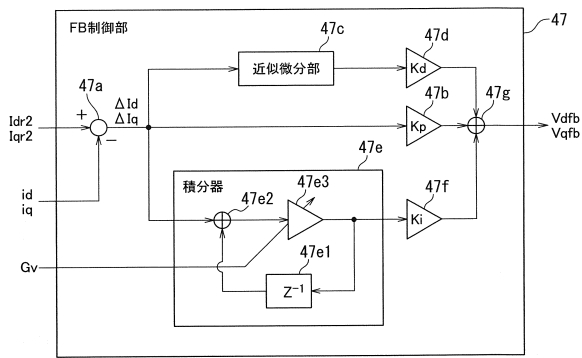


【図4】

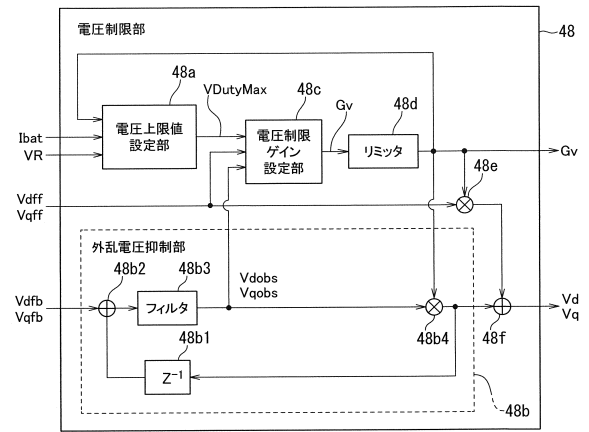


10

【図5】



【図6】



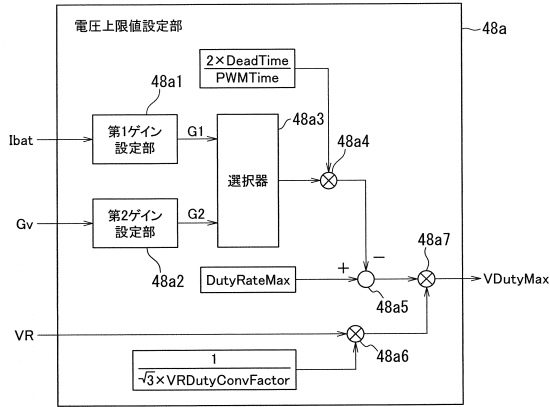
20

30

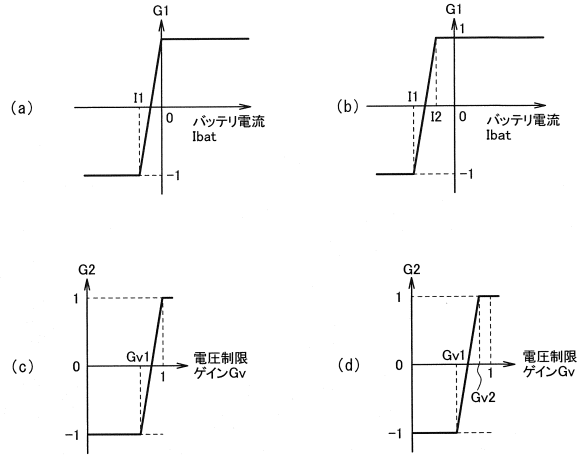
40

50

【図7】

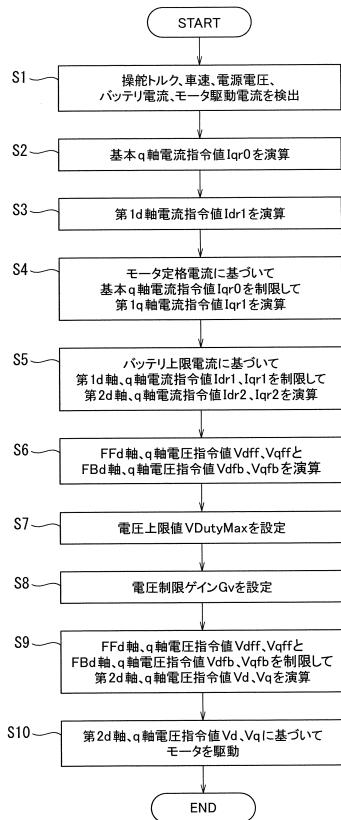


【図8】

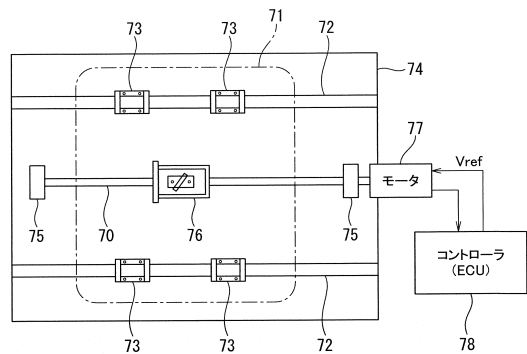


10

【図9】



【図10】



20

30

40

50

---

フロントページの続き

東京都品川区大崎一丁目6番3号 NSKステアリング&コントロール株式会社内

審査官 島倉 理

- (56)参考文献 国際公開第2006/098516(WO, A1)  
特開2010-64544(JP, A)  
特開2022-135662(JP, A)  
特開2014-017924(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H02P 27/08