

(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2007-330077

(P2007-330077A)

(43) 公開日 平成19年12月20日(2007.12.20)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02P 27/06 (2006.01)	H02P 7/63 302S	3D232
B62D 6/00 (2006.01)	B62D 6/00	5H505
B62D 101/00 (2006.01)	B62D 101:00	
B62D 119/00 (2006.01)	B62D 119:00	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2006-161297 (P2006-161297)	(71) 出願人	000004204
(22) 出願日	平成18年6月9日(2006.6.9)		日本精工株式会社
			東京都品川区大崎1丁目6番3号
		(74) 代理人	100078776
			弁理士 安形 雄三
		(74) 代理人	100114269
			弁理士 五十嵐 貞喜
		(74) 代理人	100093090
			弁理士 北野 進
		(72) 発明者	坂口 徹
			群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内
		(72) 発明者	遠藤 修司
			群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内

最終頁に続く

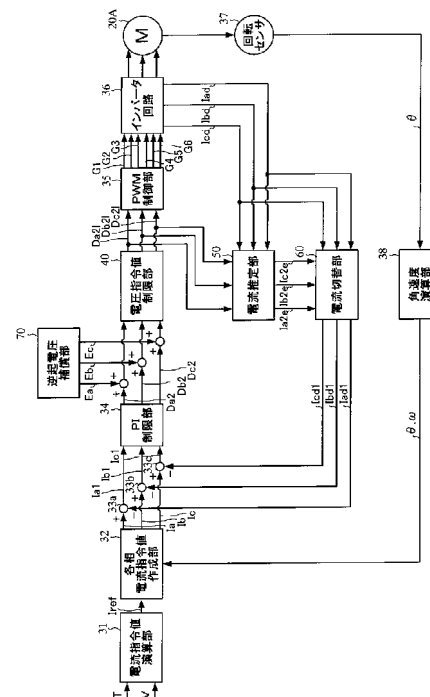
(54) 【発明の名称】 モータ制御方法及び制御装置

(57) 【要約】

【課題】少なくとも(N-1)相の電流検出を可能にして、1相の電流検出系が故障又は検出不可能状態、異常となった場合においても、他相の電流検出値を用いて当該故障相の電流値を具体的な手段によって推定し、制御を継続できるようにしたモータの制御方法及び制御装置を提供する。

【解決手段】電流指令値と電流検出値の差分に基づいて電圧指令値を演算し、前記電圧指令値としてPWM制御するモータ制御方法において、電流検出系の故障又は検出不可能状態を検出し、前記故障又は検出不可能状態が検出されたとき、前記故障相又は検出不可能状態相以外の前記電流検出値を用いて前記故障相又は検出不可能状態相の電流推定値を求め、前記電流推定値を用いて前記モータの制御を継続する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電流指令値と電流検出値の差分に基づいて電圧指令値を演算し、前記電圧指令値として P W M 制御するモータ制御方法において、電流検出系の故障又は検出不可能状態を検出し、前記故障又は検出不可能状態が検出されたとき、前記故障相又は検出不可能状態相以外の前記電流検出値を用いて前記故障相又は検出不可能状態相の電流推定値を求め、前記電流推定値を用いて前記モータの制御を継続するようにしたことを特徴とするモータ制御方法。

【請求項 2】

前記モータが N (2 以上の整数) 相であり、少なくとも $(N - 1)$ 相の電流検出が可能となっている請求項 1 に記載のモータ制御方法。 10

【請求項 3】

前記電圧指令値を制限して後に前記 P W M 制御するようになっている請求項 1 又は 2 に記載のモータ制御方法。

【請求項 4】

前記電流検出系の故障又は検出不可能状態を、前記電圧指令値、前記電流推定値と前記電流検出値の誤差に基づいて検出する請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のモータ制御方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 に記載のモータ制御方法を車両の電動パワーステアリングに適用したことを特徴とする電動パワーステアリングの制御方法。 20

【請求項 6】

電流指令値と電流検出値の差分に基づいて電圧指令値 1 を演算し、前記電圧指令値 1 として P W M 制御するモータ制御装置において、前記電圧指令値 1 及び前記電流検出値に基づいて電流推定値を求める電流推定部と、前記電流推定値及び前記電流検出値により電流検出系の故障又は検出不可能状態を検出してフィードバック電流検出値を出力する電流切替部とを具備し、前記フィードバック電流検出値を前記差分用電流検出値とし、前記故障又は検出不可能状態が検出されたとき、前記故障相又は検出不可能状態相以外の前記電流検出値を用いて前記故障相又は検出不可能状態相の電流推定値を求め、前記電流推定値を用いて前記モータの制御を継続するようにしたことを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 7】

前記電圧指令値を制限する電圧指令値制限部が設けられ、電圧指令値制限部からの電圧指令値 2 を前記電流推定部に入力するようになっている請求項 6 に記載のモータ制御装置。 30

【請求項 8】

前記モータが N (2 以上の整数) 相であり、少なくとも $(N - 1)$ 相の電流検出が可能となっている請求項 6 又は 7 に記載のモータ制御装置。

【請求項 9】

操舵トルク及び車速に基づいて電流指令値を演算し、前記電流指令値に基づき、ハンドル操舵に補助力を付与する N (2 以上の整数) 相モータを電圧指令値の P W M で制御する電動パワーステアリング装置の制御装置において、前記電圧指令値及び前記モータの電流検出値に基づいて電流推定値を求める電流推定部と、前記電流推定部からの電流推定値及び前記電流検出値に基づいてフィードバック電流とを切替える電流切替部とを具備し、電流検出系の故障又は検出不可能状態が検出されたとき、前記故障相又は検出不可能状態相以外の前記電流検出値を用いて前記故障相又は検出不可能状態相の電流推定値を求め、前記電流推定値を用いて前記モータの制御を継続するようにしたことを特徴とする電動パワーステアリング装置の制御装置。 40

【請求項 10】

前記電圧指令値を制限する電圧指令値制限部が設けられ、電圧指令値制限部からの制限電圧指令値を前記電流推定部に入力するようになっている請求項 9 に記載の電動パワーステアリング装置の制御装置。

【請求項 11】

前記モータが N （ 2 以上の整数）相であり、少なくとも $(N - 1)$ 相の電流検出が可能となっている請求項 9 又は 10 に記載の電動パワーステアリング装置の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はモータ制御方法及び制御装置に関し、特に 1 つの電流検出系が故障や異常を生じた場合でも継続して制御可能とした信頼性の高いモータ制御方法及び制御装置であり、電動パワーステアリングの制御に最適である。

【背景技術】

【0002】

モータの制御として、例えば車両のステアリング装置をモータの回転力で補助負荷付勢の制御を行う電動パワーステアリング装置がある。電動パワーステアリング装置は、モータの駆動力を減速機を介してギア又はベルト等の伝達機構により、ステアリングシャフト或いはラック軸に補助負荷付勢するようになっている。かかる従来の電動パワーステアリング装置は、アシストトルク（操舵補助トルク）を正確に発生させるため、モータ電流のフィードバック制御を行っている。フィードバック制御は、電流制御値とモータ電流検出値との差が小さくなるようにモータ印加電圧を調整するものであり、モータ印加電圧の調整は、一般的にPWM（パルス幅変調）制御のデューティ比の調整で行っている。

【0003】

ここで、電動パワーステアリング装置の一般的な構成を図 11 に示して説明すると、操向ハンドル 1 のコラム軸 2 は減速ギア 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 を経て操向車輪のタイロッド 6 に連結されている。コラム軸 2 には、操向ハンドル 1 の操舵トルクを検出するトルクセンサ 10 が設けられており、操向ハンドル 1 の操舵力を補助するモータ 20 が減速ギア 3 を介してコラム軸 2 に連結されている。パワーステアリング装置を制御するコントロールユニット 30 には、バッテリー 14 から電力が供給されると共に、イグニションキー 11 からイグニションキー信号が入力されている。コントロールユニット 30 は、トルクセンサ 10 で検出された操舵トルク T と車速センサ 12 で検出された車速 V とに基づいてアシスト指令の操舵補助指令値 I の演算を行い、演算された操舵補助指令値 I に基づいてモータ 20 に供給する電流を制御する。

【0004】

コントロールユニット 30 は主としてCPU（MPUやMCUを含む）で構成されるが、そのCPU内部においてプログラムで実行される一般的な機能を示すと図 12 のようになる。

【0005】

図 12 に添って、 3 相モータ $20A$ を駆動制御するコントロールユニット 30 の機能及び動作を説明すると、トルクセンサ 10 で検出された操舵トルク T と、車速センサ若しくはCAN(Controller Area Network)からの車速 V とが電流指令値演算部 31 に入力され、電流指令値演算部 31 は操舵トルク T 及び車速 V に基づいて操舵補助指令用の電流指令値 I_{ref} を演算する。演算された電流指令値 I_{ref} は各相電流指令値作成部 32 に入力され、各相電流指令値作成部 32 にはモータ角度 θ 及びモータ角速度 ω が入力されて $a \sim c$ 相の電流指令値 $I_a \sim I_c$ が作成される。電流指令値 $I_a \sim I_c$ はそれぞれ減算部 $33a \sim 33c$ を経て応答性を上げるためのPI制御部 34 に入力され、PI制御部 34 でPI制御された電圧指令値 D_a2, D_b2, D_c2 がデューティ比を演算するPWM制御部 35 に入力され、PWM制御部 35 で演算されたPWMのゲート駆動信号 $G1 \sim G6$ がインバータ回路 36 に入力され、インバータ回路 36 によって 3 相モータ $20A$ が駆動される。

【0006】

3 相モータ $20A$ にはレゾルバ等の回転センサ 37 が取り付けられており、回転センサ 37 からのモータ角度 θ は角速度演算部 38 に入力され、モータ角度 θ 及び角速度演算部

10

20

30

40

50

38で演算されたモータ角速度 ω が各相電流指令値作成部32に入力される。また、インバータ回路36ではモータ20Aに供給される各相モータ電流が電流検出値 $I_{ad} \sim I_{cd}$ として検出され、電流検出値 $I_{ad} \sim I_{cd}$ が減算部33a~33cにそれぞれ減算入力されてフィードバックされている。これにより、モータ20Aは電流指令値演算部31で演算された電流指令値 I_{ref} に基づいて、PWMの電流フィードバック制御で駆動制御される。

【0007】

インバータ回路36の詳細構成例を図13に示して説明すると、3相モータ20Aは3相ブリッジに接続された6個の電界効果トランジスタ(FET)FET1~FET6のオンオフで駆動制御され、各FETFET1~FET6はPWM制御部35からのPWM信号としてのゲート駆動信号G1~G6でオンオフ制御される。なお、PWM制御部35にはPI制御部34から電圧指令値 D_{a2} , D_{b2} , D_{c2} が入力されている。また、3相ブリッジ回路の各相下段には電流検出用抵抗 $R_a \sim R_c$ が接続されており、各相電圧が電流検出回路361に入力されて、各相モータ電流が電流検出値 $I_{ad} \sim I_{cd}$ として検出されて出力される。

【0008】

このような電動パワーステアリング装置の制御装置において、図13に示すように電流検出手段としての電流検出用抵抗をブリッジ回路の各相下段に接続する場合は構成が簡単であり、低コストであるが、下段FET4~FET6のデューティ比が所定値以下であるときに、電流を正確に検出できないという問題がある。

【0009】

かかる問題を回避しようとする技術として、特開平10-54852号公報(特許文献1)及び特許第3674578号公報(特許文献2)に記載されたものがある。

【0010】

特許文献1に記載の方法は、3相アナログ電流検出回路を備えた3相インバータの運転中の出力電流を3相アナログ電流検出回路により3相アナログ電圧に変換し、インバータの出力電流を検出するインバータの出力電流検出方法において、インバータの出力電圧指令の電気角に応じて、3相インバータの主回路のうち下段アーム半導体スイッチング素子駆動信号のオフ時間が短い2相を順次選択し、選択した2相に対応するアナログ電圧をデジタル変換することによりインバータの出力電流を検出している。また、特許文献2に記載の装置では、PWM制御される3相インバータの各相の下段アーム側に下段アーム素子と直列接続される電流検出抵抗素子の電圧降下に基づいて各相の電流値を検出する3相インバータの電流検出装置において、所定相の電流値として、所定相の電流検出抵抗素子の電圧降下の値から成る第一電流値と、残る2相の電流検出抵抗素子の電圧降下の和の符号を反転した値である第二電流値とを所定の条件で切替えて用いる電流値決定部を有し、電流値決定部は、下段アーム素子のデューティ比が30%未満の小値以上である相の電流値として第一電流値を採用し、下段アーム素子のデューティ比が30%未満の小値未満である相の電流値として第二電流値を採用するようにしている。

【特許文献1】特開平10-54852号公報

【特許文献2】特許第3674578号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

上述の特許文献1の方法及び特許文献2の装置では、いずれも正確に電流検出できなくなった相の電流値を他相の電流検出値を用いて演算している。しかしながら、他相の電流検出が正確かどうかを判定して、正確に電流検出できなくなった当該相の電流値をどのように演算するか具体例を開示していない。つまり、 N (2以上の整数)相インバータにおいては $(N-1)$ 相の電流検出が可能であることが前提になっているが、その手段や手法は全く開示されていない。また、故障により電流検出値が正確でない場合について、具体的な手段が開示されていない。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

本発明は上述のような事情よりなされたものであり、本発明の目的は、 N （ 2 以上の整数）相のモータに対して少なくとも（ $N - 1$ ）相の電流検出を可能にし、 1 相の電流検出系が故障や異常となった場合或いは検出不可能状態になった場合においても、他相の電流検出値を用いて当該故障相又は検出不可能相の電流値を具体的な手段、手法によって推定し、推定値を用いて制御を継続できるようにしたモータの制御方法及び制御装置、更にそれを利用した電動パワーステアリング装置の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 1 3 】

本発明は、電流指令値と電流検出値の差分に基づいて電圧指令値を演算し、前記電圧指令値としてPWM制御するモータ制御方法に関し、本発明の目的は、電流検出系の故障又は検出不可能状態を検出し、前記故障又は検出不可能状態が検出されたとき、前記故障相又は検出不可能状態相以外の前記電流検出値を用いて前記故障相又は検出不可能状態相の電流推定値を求め、前記電流推定値を用いて前記モータの制御を継続することにより達成され、更に前記モータが N （ 2 以上の整数）相であり、少なくとも（ $N - 1$ ）相の電流検出が可能となっていることにより、或いは前記電圧指令値を制限して後に前記PWM制御するようになっていないことにより、或いは前記電流検出系の故障又は検出不可能状態を、前記電圧指令値、前記電流推定値と前記電流検出値の誤差に基づいて検出することにより、より効果的に達成される。

【 0 0 1 4 】

また、本発明は、電流指令値と電流検出値の差分に基づいて電圧指令値 1 を演算し、前記電圧指令値 1 としてPWM制御するモータ制御装置に関し、本発明の上記目的は、前記電圧指令値 1 及び前記電流検出値に基づいて電流推定値を求める電流推定部と、前記電流推定値及び前記電流検出値により電流検出系の故障又は検出不可能状態を検出してフィードバック電流検出値を出力する電流切替部とを設け、前記フィードバック電流検出値を前記差分用電流検出値とし、前記故障又は検出不可能状態が検出されたとき、前記故障相又は検出不可能状態相以外の前記電流検出値を用いて前記故障相又は検出不可能状態相の電流推定値を求め、前記電流推定値を用いて前記モータの制御を継続することにより達成され、更に前記電圧指令値を制限する電圧指令値制限部が設けられ、電圧指令値制限部からの電圧指令値 2 を前記電流推定部に入力することにより、或いは前記モータが N （ 2 以上の整数）相であり、少なくとも（ $N - 1$ ）相の電流検出が可能となっていることにより、より効果的に達成される。

【 0 0 1 5 】

更に、本発明は、操舵トルク及び車速に基づいて電流指令値を演算し、前記電流指令値に基づき、ハンドル操舵に補助力を付与する N （ 2 以上の整数）相モータを電圧指令値のPWMで制御する電動パワーステアリング装置の制御装置に関し、本発明の上記目的は、前記電圧指令値及び前記モータの電流検出値に基づいて電流推定値を求める電流推定部と、前記電流推定部からの電流推定値及び前記電流検出値に基づいてフィードバック電流とを切替える電流切替部とを設け、電流検出系の故障又は検出不可能状態が検出されたとき、前記故障相又は検出不可能状態相以外の前記電流検出値を用いて前記故障相又は検出不可能状態相の電流推定値を求め、前記電流推定値を用いて前記モータの制御を継続することにより達成され、前記電圧指令値を制限する電圧指令値制限部が設けられ、電圧指令値制限部からの制限電圧指令値を前記電流推定部に入力することにより、或いは前記モータが N （ 2 以上の整数）相であり、少なくとも（ $N - 1$ ）相の電流検出が可能となっていることにより、より効果的に達成される。

【発明の効果】

【 0 0 1 6 】

本発明に係るモータの制御方法及び制御装置によれば、少なくとも（ $N - 1$ ）相の電流検出が可能となるように電圧指令値の大きさを制限し、検出できない相の電流を他相の電流検出値を用いて所定式で推定し、推定された電流値を用いて継続的に制御するようにし

10

20

30

40

50

ているので、信頼性の高い高性能なモータ制御が可能となる。

【0017】

また、電流検出をブリッジ回路下段に接続した電流検出用抵抗で行っているので、構成が簡単でコストアップもない。本発明に係るモータの制御方法及び制御装置を電動パワーステアリングに適用した場合には、1つの電流検出系が故障や異常、検出不可能状態を生じた場合でも継続して操舵制御が可能であるので、信頼性の高い高性能な電動パワーステアリング装置を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

本発明はN（2以上の整数）相モータの制御方法及び装置、更に電動パワーステアリングの制御方法及び制御装置に関するものであり、N相モータを制御する制御系に対して、少なくとも（N - 1）相の電流検出が可能となるように各相電圧指令値の大きさを制限し、電流検出系の故障や異常（以下、単に「故障」とする）が生じた場合には、故障で検出できない相の電流を他相電流値から所定式で推定してモータの制御を継続する。このため、1つの相の電流検出系が故障した場合や検出不可能状態になった場合でも、モータ制御を正常動作で継続することができ、信頼性が高く高性能な制御を実現することができる。

【0019】

なお、本発明においては、デューティ比によって正確に検出できなくなった状態と、回路故障によって検出できなくなった状態とを区別し、検出できるデューティ比であるにも拘わらず正確に検出できない場合を「故障」又は「異常」とし、正確に検出できないデューティ比である場合を「検出不可能状態」とする。

【0020】

以下に、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0021】

図1は本発明の一実施形態の構成を図12に対応させて示しており、新たに電圧指令値制限部40、電流推定部50、電流切替部60及び逆起電圧補償部70が設けられている。即ち、PI制御部34からの3相の電圧指令値 D_{a2} 、 D_{b2} 、 D_{c2} は、逆起電圧補償部70からの電圧補償値 E_a 、 E_b 、 E_c と加算されて電圧指令値制限部40に入力され、電圧指令値制限部40で制限された電圧指令値 D_{a21} 、 D_{b21} 、 D_{c21} はPWM制御部35に入力されると共に、故障又は検出不可能状態となった電流検出系のモータ電流値を推定する電流推定部50に入力される。電流推定部50で推定された電流推定値 I_{a2e} 、 I_{b2e} 、 I_{c2e} は電流切替部60に入力されている。また、インバータ回路36内の電流検出回路361で検出された各相モータ電流の電流検出値 I_{ad} 、 I_{bd} 、 I_{cd} は、電流推定部50及び電流切替部60に入力されている。電圧指令値制限部40は、少なくとも2相の電圧検出が可能のように電圧の大きさを制限している。電圧指令値制限部40、電流推定部50及び電流切替部60の詳細な構成例は後述する。

【0022】

なお、電圧指令値 D_{a2} 、 D_{b2} 、 D_{c2} に対する逆起電圧補償部70による逆起電圧補償は、例えば特開2005-199780号公報で示されるような方法で行う。

【0023】

各相の電圧指令値 D_{a21} ～ D_{c21} のそれぞれが、例えば所定値#2以下であれば正常に検出できるならば、電流検出用抵抗や電流検出回路361等の電流検出系の故障は、電流推定値 I_{a2e} ～ I_{c2e} と電流検出値 I_{ad} ～ I_{cd} の誤差が所定値#3以上でかつ電圧指令値 D_{a21} ～ D_{c21} が所定値#2以下の場合に「故障」として判断する。電流切替部60は、各相毎に電流検出値 I_{ad} ～ I_{cd} と電流推定値 I_{a2e} ～ I_{c2e} の誤差を求め、誤差が所定値#1以上である相については、電流検出値 I_{ad} ～ I_{cd} ではなく電流推定値 I_{a2e} ～ I_{c2e} がフィードバック電流値 I_{ad1} ～ I_{cd1} として減算部33a～33cにフィードバックされ、所定値#1未満の相は電流検出値 I_{ad} ～ I_{cd} がフィードバック電流値 I_{ad1} ～ I_{cd1} として減算部33a～33cにフィードバックされるようになっている。

10

20

30

40

50

【0024】

このような構成において、その動作を図2及び図3のフローチャートを参照して説明する。

【0025】

先ずタイマー（時間 $t = 0$ ）や3相ABCの必要な初期値（例えば各サンプル時間における各相の故障或いは検出不可能状態を示すメモリの初期値（通常は“0”））を設定し（ステップS1）、所定時間 T_0 が経過するまで待機し（ステップS2）、所定時間 T_0 を経過したときに操舵トルク T 、車速 V 、電流検出値 I_{ad} 、 I_{bd} 、 I_{cd} 等を読み込む（ステップS3）。電流指令値演算部31は読み込んだ操舵トルク T 及び車速 V に基づいて電流指令値 I_{ref} を演算し（ステップS4）、各相電流指令値作成部32は、電流指令値 I_{ref} 、モータ角度 θ 及びモータ角速度 ω に基づいて各相電流指令値 I_a 、 I_b 、 I_c を作成し（ステップS5）、各相電流検出値 $I_{ad} \sim I_{cd}$ と各相電流推定値 $I_{a2e} \sim I_{c2e}$ との差分電流値 $\Delta I_a \sim \Delta I_c$ を演算する（ステップS6）。 10

【0026】

そして、差分電流値 $\Delta I_a \sim \Delta I_c$ の絶対値が所定値#1よりも大きくなる相を検出し、当該相を検出不可能状態を見るメモリABC1に記憶し（ステップS7）、更に差分電流値 $\Delta I_a \sim \Delta I_c$ の絶対値が所定値#3（ $> \#1$ ）よりも大きく、かつ電圧指令値 $D_{a21} \sim D_{c21}$ が所定値#2以下となる相の数 K を求める（ステップS10）。電流検出可能な電圧指令値 $D_{a21} \sim D_{c21}$ であるにも拘わらず誤差が大きい場合は、電流検出用抵抗や電流検出回路361等の電流検出系が故障していると考えられる。よって、上記ステップS10で相数 $K = 0$ の場合は図3の動作に移行し、相数 $K = 1$ の場合は電圧指令値最大値 D_{limit} を設定して故障と判定した相を、故障を見るためのメモリABC2に記憶し（ステップS11）、相数 $K = 2$ の場合には制御を中止する（ステップS12）。 20

【0027】

例えばメモリABC1を配列とすれば $ABC1 = [1, 0, 0]$ となり、左から順にA相、B相、C相を示し、“1”は差分 $>$ 所定値#1を表し、“0”は差分 $\leq$ 所定値#1を表している。同様にメモリABC2を配列とすれば $ABC2 = [0, 1, 0]$ となり、左から順にA相、B相、C相を示し、“1”は差分 $>$ 所定値#3で、かつ電流検出可能状態を表している。 30

【0028】

なお、電圧指令値最大値 D_{limit} が例えば90%の場合、電圧指令値が飽和し易くなり、積分器を含む電流制御器がワインドアップし易くなる（図4（A）参照）。これを防ぐために、電流指令値 I_{ref} を制限することが望ましい。また、通常バッテリー電圧/2が中性点電圧になるようにしており、つまりデューティ比50%を基準として制御しているが、電圧指令値最大値 $D_{limit} = 90\%$ になった場合には、図4（B）に示すようにデューティ比45%を基準とした制御とする。また、ステップS12で制御を中止する場合、1回で確定せず、数回で確定して制御を中止するようにしても良い。

【0029】

上記ステップS10で相数 $K = 0$ と判定された場合、メモリABC1に記憶された相数 M を判定し（ステップS20）、相数 $M = 0$ と判定された場合には、つまり全ての相が | 検出値 - 推定値 | $\leq$ 所定値#1となった場合は、電流検出値 $I_{ad} \sim I_{cd}$ を減算部33a $\sim$ 33cにフィードバックし、減算部33a $\sim$ 33cからの差分電流値 $I_{a1} \sim I_{c1}$ に基づいてPI制御部34は電圧指令値 D_{a2} 、 D_{b2} 、 D_{c2} を演算し、逆起電圧補償部70及び加算部で逆起電圧補償された電圧指令値は電圧指令値制限部40に入力され、電圧指令値制限部40は制限した電圧指令値 D_{a21} 、 D_{b21} 、 D_{c21} を演算する（ステップS21）。電流推定部50は、電圧指令値 D_{a21} 、 D_{b21} 、 D_{c21} と電流検出値 I_{ad} 、 I_{bd} 、 I_{cd} に基づいて次サンプリング時の電流を推定し（ステップS22）、PWM制御部35はPWM信号のゲート駆動信号 $G_1 \sim G_6$ を出力し（ステップS23）、上記ステップS2にリターンする。 40

【0030】

一方、上記ステップS20において、相数 $M = 1$ と判定された場合には、その相が例えばA相とすると、電流推定値 I_{a2e} を用い、他2相(B, C相)は電流検出値 I_{bd} , I_{cd} を用いて電流指令値との差分 $I_{a1} \sim I_{c1}$ を演算し、PI制御部34は電圧指令値 D_{a2} , D_{b2} , D_{c2} を演算し、電圧指令値制限部40は電圧指令値 D_{a21} , D_{b21} , D_{c21} を演算する(ステップS24)。そして、電流推定部50は、当該A相の他相電流検出値和の符号反転した値、他2相は電流検出値を用いて次サンプリング時の電流を推定し(ステップS25)、上記ステップS23に移行する。また、上記ステップS20において、相数 $M = 2$ と判定された場合には、下記(a)～(c)のいずれかを選択して上記ステップS24に移行する(ステップS26)。

10

【0031】

- (a) 電圧指令値が最大となる相を選択
- (b) 電圧指令値 > 所定値#2となる相を選択
- (c) 差分電流値の絶対値が最大となる相を選択

また、上記ステップS11の後、メモリABC1に記憶された相数 $M = 1$ で、かつメモリABC2に記憶された相と一致するか否かを判定し(ステップS30)、メモリABC1に記憶された相数 $M = 1$ で、かつメモリABC2に記憶された相と一致する場合にはメモリABC2に記憶された相を選択し(ステップS31)、上記ステップS24に移行する。上記ステップS30において、メモリABC1に記憶された相数 M が“1”ではないか若しくはメモリABC2に記憶された相と一致しない場合、或いは両者が成立する場合には、メモリABC1に記憶された相とメモリABC2に記憶された相を比較し、一致しない相について電圧指令値 $D_{a21} \sim D_{c21}$ が所定値#2を超える相があるか否かを判定し(ステップS32)、該当する相がある場合にはメモリABC1及びABC2で検出された相については電流推定値 I_{a2e} , I_{b2e} , I_{c2e} を用いて電圧指令値 $D_{a2} \sim D_{c2}$ 及び $D_{a21} \sim D_{c21}$ を演算し(ステップS33)、メモリABC1及びABC2で検出された相については他相の電流推定値 $I_{a2e} \sim I_{c2e}$ を用いて次サンプリング時の電流を推定し、それ以外の相は電流検出値を用いて次サンプリング時の電流を推定し(ステップS34)、上記ステップS23に移行する。また、上記ステップS32において、該当する相がない場合には、上記ステップS31に進む。

20

30

【0032】

電圧指令値制限部40は、少なくとも($N - 1$)相の電流が正常に検出できるように電圧指令値 D_{a2} , D_{b2} , D_{c2} を補正する。例えば図5に示すように、電圧指令値 D_{a2} , D_{b2} , D_{c2} のうちで2相が同時に、3相下流シャント方式による電流検出の検出限界値以上となったことを検出して限界検出信号SLを出力する検出限界相検出部43と、限界検出信号SLが出力されたときに、電圧指令値 D_{a2} , D_{b2} , D_{c2} のうちの間値Midを出力する中間値出力部44と、中間値Midと所定デューティのスレッシュホールド45との差DTを求める比較部46と、電圧指令値 D_{a2} , D_{b2} , D_{c2} からそれぞれ差DTを減算する減算部42a～42cとを設けた構成であっても良い。

【0033】

ところで、一般的なモータモデルは図6に示す伝達関数部で表され、モータに対する電圧指令値を $u(k)$ 、モータ電流を $y(k)$ とすると、モータの離散時間状態方程式は下記数1で記述される。 x は状態変数であり、 A はシステム行列、 B は入力行列、 C は出力行列(状態変数 x から測定可能な状態量を出力するため)を示している。また、 T_1 をサンプリング間隔とすると、 $x(k)$ は kT_1 時刻の状態変数、 $x(k+1)$ は $(k+1)T_1$ 時刻の状態変数となる。

40

【0034】

【数 1】

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k), \quad y(k) = Cx(k)$$

ここで、 $x(k) = \begin{bmatrix} i(k) \\ d(k) \end{bmatrix}$, i は電流値、 d は外乱、 $C = [1 \ 0]$

ここで、オブザーバを下記数 2 のように定義する。なお、記号“オーバーハット”は推定値を示しており、推定値と実値の差分にゲイン L を乗算してフィードバックし、推定値が実値に近づくようにしている。

【0035】

【数 2】

$$\hat{x}(k+1) = A\hat{x}(k) + Bu(k) + L(y(k) - \hat{y}(k))$$

10

そして、上記数 1 及び数 2 によって、電流検出が正常な場合は推定値と実値の検出値との差は小さくなる。差が小さい場合には検出が正常として検出値を数 2 のオブザーバに入力し、次時刻の電流を推定する。故障した場合或いは検出不可能状態では推定値と検出値の差が大きくなるので、差が大きい場合には検出が正常ではないと判断し、他相の電流検出値の和を数 2 のオブザーバに入力し、次時刻の電流を推定する。即ち、全ての相の電流検出系が正常な場合には電流検出値を用い、故障で電流検出が可能でないとき或いは誤差を生じているときは、他相の電流検出値を用いて上記数 2 で表されるオブザーバを構成する。少なくとも $(N - 1)$ 相の電流検出系が電流検出可能であるならば成り立つ。つまり、 $(N - 1)$ 相の電流を検出可能としていなければ、残り 1 相の電流を求めることができない。電流検出回路 (361) が電流を検出できるデューティ比が分かっている場合には、少なくとも $(N - 1)$ 相のデューティ比がその条件を満足するようにデューティ比を調整或いは制限すれば良い。1 相が故障の場合、最終出力制限値を 0 ~ 100 % から例えば 0 ~ 所定値 # 2 にすれば、故障相以外の全相の電流検出が可能となり、制御を継続することができる。従って、本発明では電流検出ができない相に対して、推定した電流推定値を用いて行う。

20

【0036】

図 7 は電流推定部 50 の詳細回路を示しており、一点鎖線部で示す a 相の電流推定部 510 を詳細に説明するが、b 相の電流推定部 520 及び c 相の電流推定部 530 の構成は全く同一であり、入力する電圧指令値 $D_{a21} \sim D_{c21}$ 、電流検出値 $I_{ad} \sim I_{cd}$ 、電圧補償値 $E_a \sim E_c$ 及び電流推定値 $I_{a2e} \sim I_{c2e}$ のみが相違している。図 7 の電流推定部 510 内で、切替判断部 516、切替部 518、反転部 517A、517B、加算部 519C、519D 及び減算部 519E 以外は数 2 をブロック図にしたものであり、加算部 519A の加算結果が $x(k+1)$ に相当し、入力行列 B のブロック 511 は電圧指令値 D_{a21} と逆起電圧 E_a との差分と入力行列 B を乗算していることを表しており、数 2 の $Bu(k)$ に相当している。また、ブロック 513 は 1 サンプル遅れの単位遅延部 (unit delay) を示し、ブロック 512 はシステム行列 A、ブロック 514 は出力行列 C、ブロック 515 はゲイン L を示している。電圧指令値制限部 40 からの電圧指令値 D_{a21} は、減算部 519E で電圧補償値 E_a を減算されてブロック 511 に入力されている。

30

40

【0037】

電流検出回路 361 で検出された 1 相の電流検出値 I_{ad} は切替部 518 の接点 518A に入力され、他相の電流検出値 I_{bd} 及び I_{cd} は加算部 519C で加算され、反転部 517A で反転されて切替部 518 の接点 518B に入力され、他相の電流推定値 I_{b2e} 及び I_{c2e} は加算部 519D で加算され、反転部 517B で反転されて切替部 518 の接点 518C に入力されている。切替判断部 516 は電流推定値 I_{a2e} と電流検出値 I_{ad} との誤差に基づいて、切替部 518 の接点 518A ~ 518C を切替える。

【0038】

図 8 は電流推定部 50 の他の構成例 (ベクトル制御) を示しており、 dq 軸上で推定を

50

行い、電流制御は各相で行っても良いし、d q 軸上で行っても良い。ベクトル制御は、モータのロータマグネットの座標軸であるトルクを制御する q 軸と磁界の強さを制御する d 軸を独立に設定し、各軸が 90 度の関係にある制御である。

【 0 0 3 9 】

ベクトル制御の d q 軸電流 i_d , i_q は、抵抗を R , インダクタンスを L として下記数 3 で表される。

【 0 0 4 0 】

【 数 3 】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\omega \\ \omega & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\Psi}{L} \omega \end{bmatrix} \quad 10$$

なお、数 3 内の Ψ は永久磁石による電機子鎖交磁束の $\sqrt{3}/2$ である。また、外乱 d を考慮したモデルは下記数 4 で表され、数 2 の形式の推定モデルが d q 軸上で得られる。

【 0 0 4 1 】

【 数 4 】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ d_d \\ d_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\omega & -\frac{1}{L} & 0 \\ \omega & -\frac{R}{L} & 0 & -\frac{1}{L} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ d_d \\ d_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\Psi}{L} \omega \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad 20$$

電圧指令値制限部 40 からの 3 相の電圧指令値 D_{a21} , D_{b21} , D_{c21} は 3 相 / 2 相変換部 540 に入力され 2 相の電圧指令値 V_d , V_q に変換され、電圧指令値 V_d , V_q は d q 軸オブザーバ 560 に入力される。また、電流検出回路 361 で検出された 3 相の電流値 I_{ad} , I_{bd} , I_{cd} は 3 相 / 2 相変換部 570 に入力され、回転センサ 37 からのモータ角度 θ は 3 相 / 2 相変換部 540 及び 570 に入力される。3 相 / 2 相変換部 570 は 2 相の電流値 i_d 及び i_q を出力して d q 軸オブザーバ 560 に入力する。3 相 / 2 相変換部 540 及び 570 は下記数 5 に従って変換される。

【 0 0 4 2 】

【 数 5 】

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) & -\sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

ここで、3 相電流のうち 1 相は他 2 相から演算で求めることができるので、例えば $i_b = -(i_a + i_c)$ として i_d , i_q を求めることができる。

【 0 0 4 3 】

モータ角度 θ は 2 相 / 3 相変換部 550 にも入力され、2 相 / 3 相変換部 550 で推定された 3 相の電流推定値 I_{a4e} , I_{b4e} , I_{c4e} が 3 相 / 2 相変換部 570 に入力され、3 相 / 2 相変換部 570 は電流検出値 $I_{ad} \sim I_{cd}$ と電流推定値 $I_{a4e} \sim I_{c4e}$ の各誤差が所定値以上の場合に、電流検出系が故障と判断して電流推定値 $I_{a4e} \sim I_{c4e}$ をフィードバック電流 $I_{ad1} \sim I_{cd1}$ として出力する。2 相 / 3 相変換部 550 は下記数 6 に従って変換される。

【 0 0 4 4 】

【数 6】

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) & -\sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) \\ \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) & -\sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

図 9 は本発明の他の実施形態を図 1 に対応させて示しており、本例では P I 制御部 3 4 からの電圧指令値 D a 2 ~ D c 2 を電流推定部 5 0 に入力しており、この場合の電流推定部 5 0 の構成は図 1 0 に示すようになる。本例によっても同様な制御が可能である。 10

【0045】

なお、図 5 の最終段のリミッタによって電圧指令値が制限された場合、つまり | リミッタ入力値 - 制限後の値 | > 0 の場合は、(リミッタ入力値 - 制限後の値) を電流推定部 5 0 のブロック 5 1 1 に入力される値から減算する。リミッタによって実際にモータへの供給電圧が指令値よりも制限されたことになるからである。

【0046】

また、上述では 3 相モータの制御について説明したが、2 相以上のモータであれば同様に適用可能である。3 相制御で 3 相電流制御の例で説明したが、2 相電流制御で残り 1 相を他 2 相の電流制御値から、例えば電圧指令値 B = - (電圧指令値 A + 電圧指令値 C) のように求めても良い。上記実施形態では検出不可状態の場合、電流推定値を用いて電流フィードバックを構成しているが、他相の電流検出値の和を符号反転した値をフィードバック電流としても良い。 20

【0047】

検出値と推定値との差を所定値と比較する場合、所定値にヒステリシスを設けるようにしても良い。電流検出値には量子化ノイズがあるため、固定の所定値では頻繁に切替えることになるチャタリング状態の発生が懸念され、これを防ぐために所定値にヒステリシスを設ける。

【0048】

更に、本発明のモータ制御方法及び制御装置を電動パワーステアリングに適用でき、高性能で信頼性の高い操舵制御を実現することができる。 30

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図 1】本発明の一実施形態の構成例を示すブロック図である。

【図 2】本発明の動作例を示すフローチャートの一部である。

【図 3】本発明の動作例を示すフローチャートの一部である

【図 4】本発明の動作を説明するための特性図である。

【図 5】電圧指令値制限部の構成例を示すブロック図である。

【図 6】一般的なモータモデルを示す伝達関数部である。

【図 7】電流推定部の詳細構成例を示すブロック図である。 40

【図 8】電流推定部の他の構成例を示すブロック図である。

【図 9】本発明の他の実施形態の構成例を示すブロック図である。

【図 10】電流推定部の詳細構成例を示すブロック図である。

【図 11】一般的な電動パワーステアリング装置の構成例を示す図である。

【図 12】コントロールユニットの一例を示すブロック構成図である。

【図 13】インバータ回路の一例を示す結線図である。

【符号の説明】

【0050】

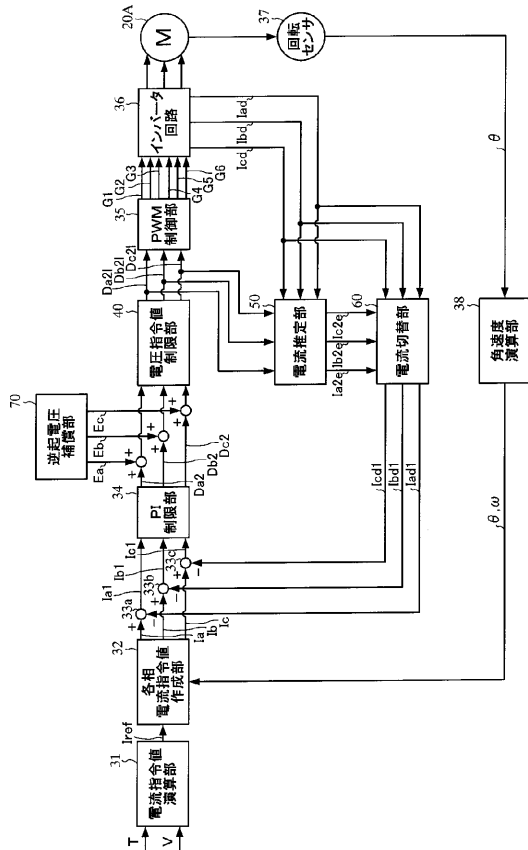
1 操向ハンドル
2 コラム軸

3	減速ギア
1 0	トルクセンサ
1 1	イグニションキー
1 2	車速センサ
1 4	バッテリー
2 0 , 2 0 A	モータ
3 0	コントロールユニット
3 1	電流指令値演算部
3 2	各相電流指令値作成部
3 4	P I 制御部
3 5	P W M 制御部
3 6	インバータ回路
3 7	回転センサ
3 8	角速度演算部
4 0	電圧指令値制限部
4 3	検出限界相検出部
4 4	中間値出力部
5 0 、 5 1 0 、 5 2 0 、 5 3 0	電流推定部
6 0	電流切替部
7 0	逆起電圧補償部
3 6 1	電流検出回路
5 4 0	3 相 / 2 相変換部
5 5 0	2 相 / 3 相変換部
5 6 0	d q 軸オブザーバ

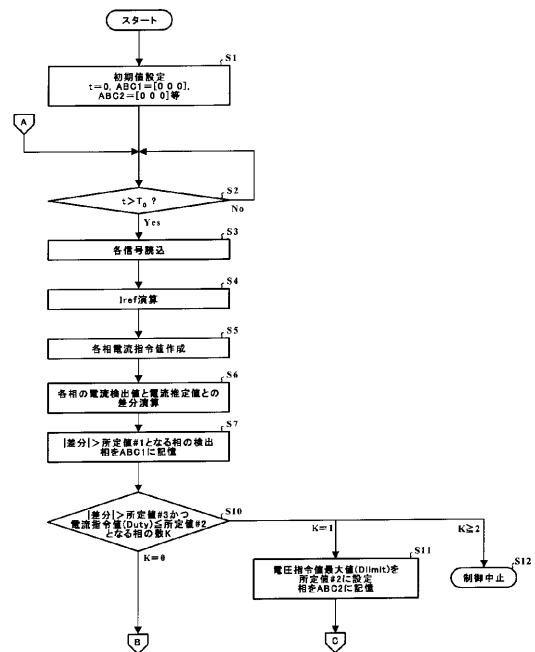
10

20

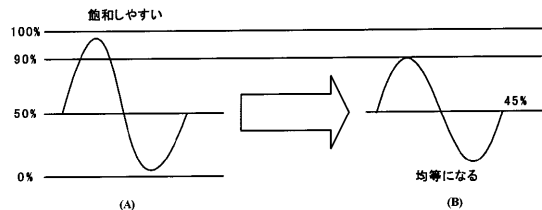
【図 1】



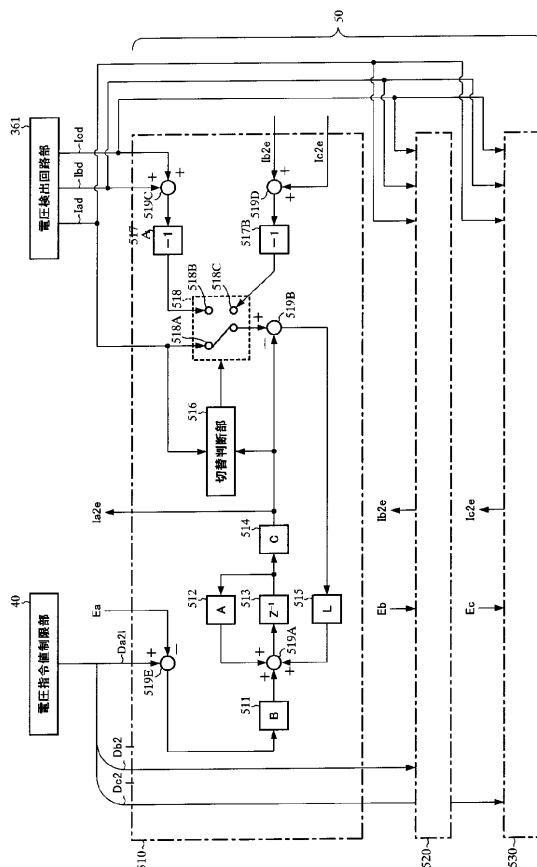
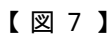
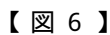
【図 2】



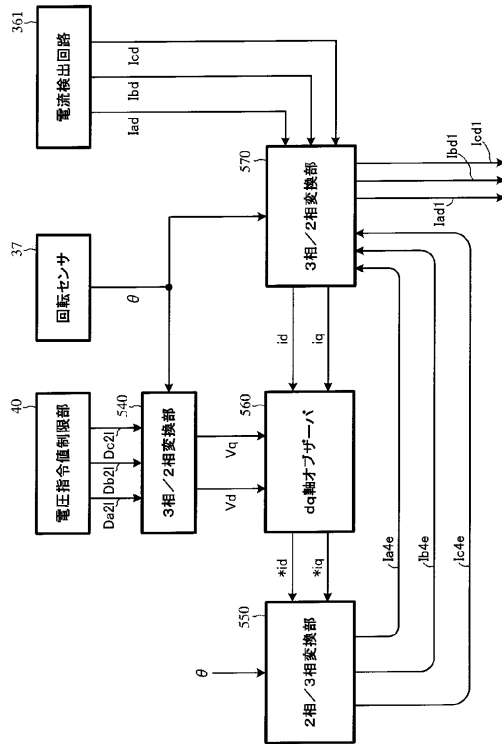
【 図 4 】



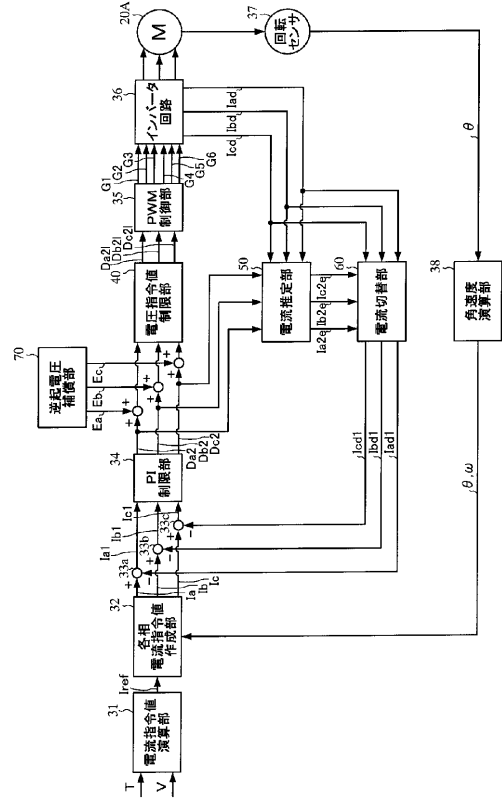
【 図 5 】



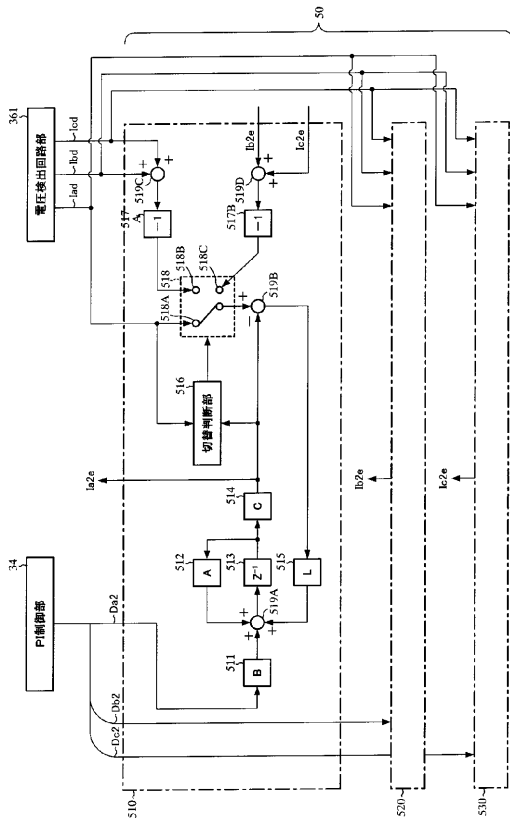
【図 8】



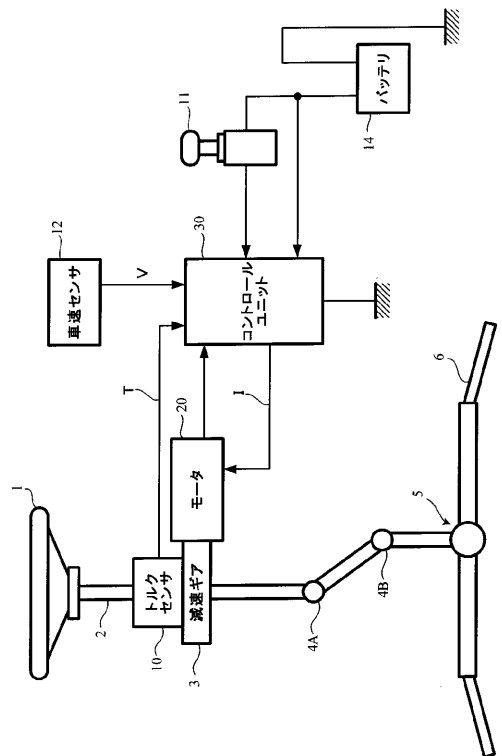
【図 9】



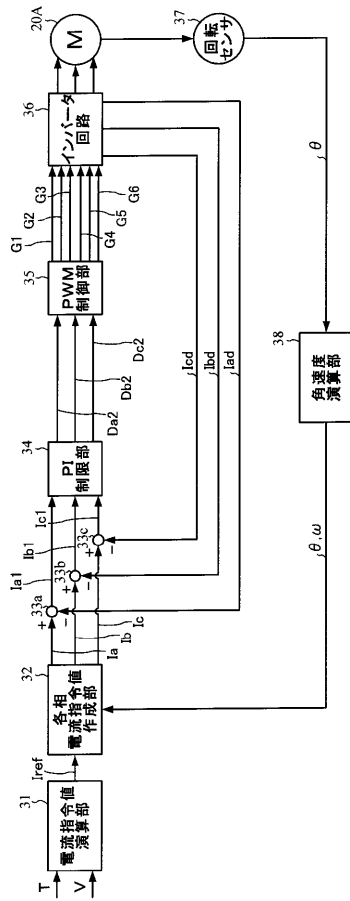
【図 10】



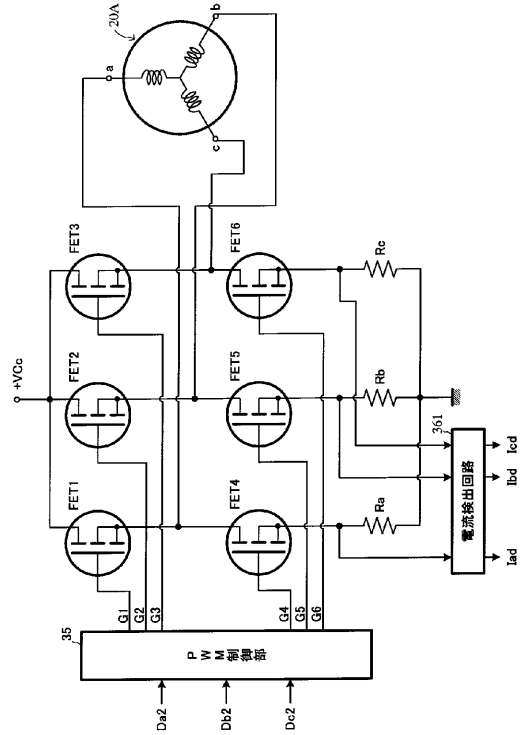
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(72)発明者 リリット ゴーウツェンランシー

群馬県前橋市鳥羽町 7 8 番地 日本精工株式会社内

F ターム(参考) 3D232 CC33 DA15 DA23 DA63 DA64 DA99 DC03 DD02 DD10 DD17
EA01 EC24 GG01
5H505 AA16 BB06 DD03 EE08 EE49 GG04 HB02 JJ03 JJ04 LL01
LL22 LL25