(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2017-208901
(P2017-208901A)
(43)公開日　平成29年11月24日(2017.11.24)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
H02P 21/24	(2016.01)	H02P	21/24	5H505
H02P 21/14	(2016.01)	H02P	21/14	

審査請求 未請求　請求項の数 5　ＯＬ　（全 16 頁）

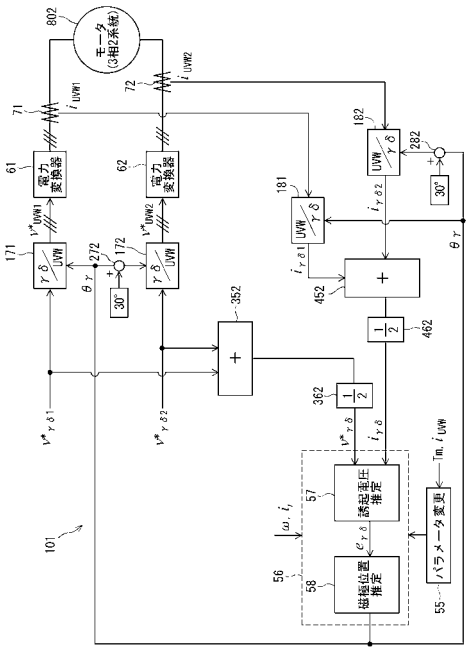
(21)出願番号　特願2016-98677(P2016-98677)
(22)出願日　平成28年5月17日(2016.5.17)

(71)出願人　000004260
株式会社デンソー
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地
(74)代理人　100093779
弁理士　服部　雅紀
(72)発明者　鄭　浙化
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 BB05 DD03 DD08 EE30
EE41 GG04 HA07 HB01 HB05
JJ04 JJ24 LL14 LL22 LL25
LL39 LL40 LL41 LL45

(54)【発明の名称】回転機の制御装置

(57)【要約】
【課題】複数の多相巻線組を有する回転機に対し、位置センサレス制御での位置推定演算の演算量を低減しつつ、高調波成分を適切に低減する回転機の制御装置を提供する。
【解決手段】モータ制御装置１０１は、３相２系統のモータ８０２への通電を位置センサレス制御で制御する。電力変換器６１、６２は、入力された電力を交流電力に変換し、モータ８０２に供給する。「高調波成分相殺部」としての電圧加算器３５２及び電流加算器４５２は、２系統のγδ軸電圧指令値$v^{*}_{\gamma\delta 1}$、$v^{*}_{\gamma\delta 2}$の合計、及び、２系統のγδ軸電流検出値$i_{\gamma\delta 1}$、$i_{\gamma\delta 2}$の合計を算出する相殺処理により、基本波成分に重畳した高調波成分を低減する。誘起電圧推定部５７は、電圧加算器３５２及び電流加算器４５２から取得した「各系統に共通の情報」に基づいて拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta}$を推定する。磁極位置推定部５８は、拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta}$に基づいて、ロータの磁極位置θγを推定する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
３相以上の多相巻線組をステータ（８４）に複数有する回転機（８０２、８０３、８０９）に対し、前記複数の巻線組への通電を位置センサレス制御で制御する回転機の制御装置であって、
入力された電力を交流電力に変換し、前記回転機に供給する複数の電力変換器（６１、６２、６３、６９）と、
特定の前記巻線組への通電を制御する一群の構成要素の単位を系統と定義すると、各系統の電圧又は電流の少なくとも一方について、基本波成分に重畳した高調波成分を推定回転座標系での相殺処理により低減する高調波成分相殺部（３５２、４５２、３５３、４５３、３５９、４５９）と、
前記相殺処理により算出された電圧値又は電流値を含む各系統に共通の情報に基づいて誘起電圧を推定する誘起電圧推定部（５７）と、
前記誘起電圧推定部が推定した誘起電圧に基づいて、前記回転機のロータ（８５）の磁極位置を推定する磁極位置推定部（５８）と、
を備える回転機の制御装置。
【請求項２】
前記高調波成分相殺部は、
前記相殺処理として各系統の推定回転座標系の電圧指令値を加算する電圧加算器（３５２、３５３、３５９）、又は、前記相殺処理として各系統の推定回転座標系の電流検出値を加算する電流加算器（４５２、４５３、４５９）の少なくとも一方を含む請求項１に記載の回転機の制御装置。
【請求項３】
前記誘起電圧推定部及び前記磁極位置推定部は、
前記回転機の回転数、並びに、前記回転機のパラメータとして、抵抗、自己インダクタンス及び相互インダクタンスを用いて推定演算を行う請求項１または２に記載の回転機の制御装置。
【請求項４】
前記回転機の運転状態に応じて、前記回転機のパラメータの値を変更するパラメータ変更部（５５）をさらに備える請求項３に記載の回転機の制御装置。
【請求項５】
前記高調波成分相殺部により相殺処理された電流を用いて電流フィードバック制御を行う請求項１～４のいずれか一項に記載の回転機の制御装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、位置センサレス制御を行う回転機の制御装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、複数のインバータにより多重巻線同期回転機を駆動する制御装置において、電圧や電流情報から磁極位置を推定する位置センサレス制御を行う制御装置が知られている。
例えば特許文献１に開示された同期機の位置センサレス制御装置では、マスターインバータ及びスレーブインバータでそれぞれ推定位相角を演算した後、それらを平均した推定位相角に基づいて推定速度を演算する。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特許第５５２７０２５号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】

【０００４】
特許文献１の制御装置では、二つのインバータでそれぞれ拡張誘起電圧及び推定位相角を演算するため、演算量が増加するという問題がある。
また、多相交流電動機の制御において、ロータマグネットの着磁不均一性やロータ及びステータの形状等に起因して、或いは、外乱により相電流の基本波成分に高調波成分が重畳することが知られている。高調波成分は、脈動により、位置推定精度を低下させる要因となる。しかし、特許文献１には、このような高調波成分の低減について何ら言及されていない。
【０００５】
本発明は、このような点に鑑みて創作されたものであり、その目的は、複数の多相巻線組を有する回転機に対し、位置センサレス制御での位置推定演算の演算量を低減しつつ、高調波成分を適切に低減する回転機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】
【０００６】
本発明の回転機の制御装置は、３相以上の多相巻線組をステータ（８４）に複数有する回転機（８０２、８０３、８０９）に対し、複数の巻線組への通電を位置センサレス制御で制御する。この回転機の制御装置は、複数の電力変換器（６２、６３、６９）と、高調波成分相殺部（３５２、４５２、３５３、４５３、３５９、４５９）と、誘起電圧推定部（５７）と、磁極位置推定部（５８）とを備える。
【０００７】
複数の電力変換器は、入力された電力を交流電力に変換し、回転機に供給する。
特定の前記巻線組への通電を制御する一群の構成要素の単位を「系統」と定義すると、高調波成分相殺部は、各系統の電圧及び電流の少なくとも一方について、基本波成分に重畳した高調波成分を推定回転座標系での相殺処理により低減する。
誘起電圧推定部は、相殺処理により算出された電圧値又は電流値を含む各系統に共通の情報に基づいて誘起電圧を推定する。
磁極位置推定部は、誘起電圧推定部が推定した誘起電圧に基づいて、回転機のロータ（８５）の磁極位置を推定する。
【０００８】
典型的に高調波成分相殺部は、相殺処理として各系統の推定回転座標系の電圧指令値を加算する電圧加算器（３５２、３５３、３５９）、又は、相殺処理として各系統の推定回転座標系の電流検出値を加算する電流加算器（４５２、４５３、４５９）の少なくとも一方を含む。
【０００９】
特許文献１の従来技術に対し、本発明では、位置推定精度に影響を及ぼす高調波成分の低減を目的とした「相殺処理」を実行する高調波成分相殺部が設けられる。
また、特許文献１の従来技術では、二つのインバータでそれぞれ拡張誘起電圧及び推定位相角を演算するのに対し、本発明の誘起電圧推定部は、各系統に共通の情報に基づいて一通りの誘起電圧を推定する。そして、磁極位置推定部は、誘起電圧推定部が推定した一通りの誘起電圧に基づいて磁極位置を推定する。
したがって、本発明では、位置推定演算の演算量を低減しつつ、高調波成分を適切に低減することができる。
【００１０】
本発明の回転機の制御装置は、高調波成分相殺部により相殺処理された電流を用いて電流フィードバック制御を行うことが好ましい。これにより、電流フィードバック制御においてフィードバック電流に含まれる高調波成分を適切に低減することができる。また、高調波成分を除去するためのフィルタが不要になる。
【図面の簡単な説明】
【００１１】
【図１】第１実施形態による回転機の制御装置の構成を示す制御ブロック図。

【図２】（ａ）界磁回路の模式図。（ｂ）２系統回転機のステータの部分断面図。
【図３】３相２系統回転機の巻線の模式図。
【図４】固定座標系、回転座標系、推定回転座標系の軸の関係を説明する図。
【図５】（ａ）巻線温度と抵抗との関係を示す特性図、（ｂ）電流とインダクタンスとの関係を示す特性図。
【図６】３相２系統電流の加算による６次高調波のキャンセルを説明する図。
【図７】第２実施形態による回転機の制御装置の構成を示す制御ブロック図。
【図８】第３実施形態による回転機の制御装置の構成を示す制御ブロック図。
【図９】３相３系統回転機の巻線の模式図。
【図１０】３相３系統電流の加算による６次高調波のキャンセルを説明する図。
【図１１】第４実施形態による回転機の制御装置の構成を示す制御ブロック図。
【図１２】３相２系統の固定座標系での（ａ）５次、（ｂ）７次高調波の加算を示す図（比較例）。
【発明を実施するための形態】
【００１２】
以下、回転機の制御装置の複数の実施形態を図面に基づいて説明する。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。また、前出の実施形態で説明した事項について、後出の実施形態で異なる旨を記載する事項以外は、原則として共通に適用されるものとする。
【００１３】
この回転機の制御装置は、例えば駆動力源としてエンジンを備える車両において、スタータ及びオルタネータの機能を統合したＩＳＧ（Integrated Starter Generator）の通電を制御するシステムに適用される。
以下の実施形態の説明では、特許請求の範囲における「回転機」を「モータ」と記し、「回転機の制御装置」を「モータ制御装置」と記す。また、第１～第４実施形態を包括して「本実施形態」という。
【００１４】
各実施形態のモータ制御装置は、３相以上の多相巻線組をステータに複数有するモータに対し、複数の電力変換器から対応する巻線組への通電を制御する装置である。以下、特定の巻線組への通電を制御する一群の構成要素の単位を「系統」と定義する。具体的に、第１～第４実施形態のモータの相数は、いずれも３相である。また、系統数については、第１、第２実施形態が２系統、第３実施形態が３系統、第４実施形態が一般化されたＮ系統である。そのような構成を前提として、各実施形態のモータ制御装置は、位置センサレス制御により、各系統の電力変換器の出力電圧を制御する。
【００１５】
各実施形態のモータ制御装置の符号は、「１０」に続く３桁目に、実施形態の番号を付す。また、各実施形態のモータの符号は、「８０」に続く３桁目に、２系統では「２」、３系統では「３」、Ｎ系統では「９」を付す。同様に、「高調波成分相殺部」としての電圧加算器、電流加算器、及び、それらに対応する及び除算器の符号についても、系統数に応じて３桁目に「２」、「３」、「９」を付す。
各系統の構成要素である電力変換器、電流センサ等は、２桁又は３桁符号の末尾数字を系統の番号とする。例えば第１系統の構成要素は符号末尾を「１」、第２系統の構成要素は符号末尾を「２」、第Ｎ系統の構成要素は符号末尾を「９」とする。
【００１６】
（第１実施形態）
第１実施形態による３相２系統のモータ制御装置について、図１～図６を参照して説明する。図１に示すように、モータ制御装置１０１は、２系統の３相巻線組を有するモータ８０２に２台の電力変換器６１、６２から交流電力を供給するシステムに適用される。
モータ８０２は、例えば永久磁石式同期型の３相交流モータである。モータ８０２には、ロータの磁極位置を検出する回転角センサは設けられていない。

【００１７】
図２（ａ）に示すように、モータ８０２の近傍には、インダクタンスＭｆの界磁巻線８８を有し、界磁電流ｉｆが流れる界磁回路８７が設けられている。なお、界磁電流ｉｆを制御する制御器の図示を省略する。
図２（ｂ）に示すように、永久磁石同期型のモータ８０２は、周方向に磁極８６が配置されたロータ８５が、ステータ８４の径内側に回転可能に支持されている。図２（ｂ）には、ロータ８５にＮ極及びＳ極が２対（すなわち計４極）設けられた例を示す。
ステータ８４に巻回される巻線について、例えば「Ｕ１」は第１系統のＵ相巻線を意味し、「Ｖ２」は第２系統のＶ相巻線を意味する。第１系統と第２系統との同相巻線は、ステータ８４の周方向に交互に配置されている。
【００１８】
図３に、第１系統巻線８１を実線、第２系統巻線８２を破線で表し、３相２系統のモータ８０２の巻線の配置を模式的に示す。３相２系統のモータ８０２の各相巻線は、第１系統と第２系統との間の位相が電気角３０（すなわち、６０／２）°ずれている。
また、２相固定座標系のαβ軸は、α軸α１、α２がＵ相軸Ｕ１、Ｕ２と一致するように定義される。
【００１９】
図１に戻り、第１系統及び第２系統の電力変換器６１、６２は、それぞれ第１系統巻線８１及び第２系統巻線８２に対応する。電力変換器６１、６２の入力側信号線及び出力側電力経路に付した３本の斜線は、３相であることを表す。典型的には、電力変換器６１、６２は、バッテリ等の直流電源から入力された直流電力を複数のスイッチング素子の動作により交流電力に変換するインバータである。
図１には、電力変換器６１、６２の入力側電力経路の図示を省略する。直流電源と電力変換器６１、６２との間にはＤＣＤＣコンバータ等が設けられてもよい。
また、３相上下アームの６個のスイッチング素子を含む３相交流インバータの構成も周知技術であるため図示を省略する。
【００２０】
電力変換器６１、６２とモータ８０２との間の電力経路に図示される三角波マークは、各系統の相電流を検出する電流センサ７１、７２を示す。電流センサ７１、７２は、３相全てに設けられてもよく、３相のうち２相に設けられ、残る１相の電流をキルヒホッフの法則により算出するようにしてもよい。
【００２１】
モータ制御装置１０１は、例えば特許第３４１１８７８号公報等に開示された周知技術である位置センサレス制御でのベクトル制御の構成を基本とする。ここで、ベクトル制御に用いられる各座標系の軸の関係を図４に示す。αβ軸は２相固定座標系で互いに直交する軸であり、ｄｑ軸は２相回転座標系で互いに直交する軸である。ロータ８５の回転により、電気角θ、すなわち、αβ軸に対するｄｑ軸の位相は時間と共に変化する。
【００２２】
実際の電気角θを直接検出しない位置センサレス制御では、ｄｑ軸とは別に、２相推定回転座標系のγδ軸を定義する。γδ軸における推定磁極位置θγと実際の電気角θとの差を「軸ずれΔθ」と表す。位置センサレス制御では、軸ずれΔθを０に収束させるように、ＰＩ制御等により電気角速度ωを演算することにより、推定磁極位置θγを実際の電気角θとみなして制御演算を実行する。
【００２３】
以下の明細書及び図面において、記号「$i_{\gamma\delta}$」は、γ軸電流i_{γ}及びδ軸電流i_{δ}を意味する。数式では、γ軸電流i_{γ}及びδ軸電流i_{δ}を別個に行列形式で表す。「$v_{\gamma\delta}$」及び「$e_{\gamma\delta}$」についても同様とする。なお、「θγ」については、γを下付文字でなく通常文字で記載する。
【００２４】
図１に戻り、本実施形態のモータ制御装置１０１は、２系統の３相巻線組を有するモー

タ８０２の通電を位置センサレス制御により制御することを特徴とする。ここで、２系統のγδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta 1}$、$v^*_{\gamma\delta 2}$を演算するまでの構成は、いずれかの周知技術を適用可能であるものとし、図示を省略する。例えばγδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta 1}$、$v^*_{\gamma\delta 2}$は、検出された実電流を電流指令値に一致させる電流フィードバック制御により演算されてもよい。或いは、検出された実トルク、又は実電流から推定された推定トルクをトルク指令値に一致させるトルクフィードバック制御により演算されてもよい。

【００２５】

モータ制御装置１０１は、第１系統の２相３相変換部１７１、３相２相変換部１８１、第２系統の２相３相変換部１７２、３相２相変換部１８２、電圧加算器３５２、除算器３６２、電流加算器４５２、除算器４６２、パラメータ変更部５５、誘起電圧推定部５７及び磁極位置推定部５８等を備える。

【００２６】

電圧加算器３５２及び電流加算器４５２は、特許請求の範囲に記載の「高調波成分相殺部」に相当し、推定回転座標系で２系統の電圧及び電流を加算することで、基本波成分に重畳した高調波成分を相殺する「相殺処理」を実行する。

或いは、電圧加算器３５２及び電流加算器４５２に、それぞれ除算器３６２、４６２を組み合わせたセットを「高調波成分相殺部」とみなし、推定回転座標系で２系統の電圧及び電流の平均値を算出することで相殺処理を実行すると解釈してもよい。

【００２７】

各系統の２相３相変換部１７１、１７２は、γδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta 1}$、$v^*_{\gamma\delta 2}$を３相電圧指令値v^*_{UVW1}、v^*_{UVW2}に変換し、電力変換器６１、６２に出力する。各系統の３相２相変換部１８１、１８２は、電流センサ７１、７２が検出した相電流i_{UVW1}、i_{UVW2}を取得し、γδ軸電流検出値$i_{\gamma\delta 1}$、$i_{\gamma\delta 2}$に変換する。

【００２８】

電圧加算器３５２は、２系統のγδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta 1}$、$v^*_{\gamma\delta 2}$の合計を算出する。除算器３６２は、その合計を２で除した平均値$v^*_{\gamma\delta}$を誘起電圧推定部５７に出力する。

電流加算器４５２は、２系統のγδ軸電流検出値$i_{\gamma\delta 1}$、$i_{\gamma\delta 2}$の合計を算出する。除算器４６２は、その合計を２で除した平均値$i_{\gamma\delta}$を誘起電圧推定部５７に出力する。

【００２９】

誘起電圧推定部５７は、「各系統に共通の情報」である電圧指令値の平均値$v^*_{\gamma\delta}$及び電流検出値の平均値$i_{\gamma\delta}$に基づいて、拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta}$を推定する。

磁極位置推定部５８は、拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta}$に基づいて、軸ずれΔθの関数「－ｓｉｎ△θ、ｃｏｓ△θ」を算出し、さらに、軸ずれΔθを０に収束させるＰＩ制御演算等により、磁極位置θγを推定する。また、一般には、磁極位置θγの推定と同時に電気角速度ωを推定する。すなわち、「磁極位置推定部」は、正確には「磁極位置及び速度推定部」として機能する。

【００３０】

誘起電圧推定部５７及び磁極位置推定部５８による推定演算の数式を以下に記載する。

記号は、以下の通りである。また、各記号の添え字「１」、「２」は、第１系統及び第２系統の値であることを示す。

Ｒ　：抵抗
L_d、L_q：ｄ軸、ｑ軸自己インダクタンス
M_d、M_q：ｄ軸、ｑ軸相互インダクタンス
ω　：電気角速度
M_f　：界磁回路のインダクタンス
i_f　：界磁電流

【００３１】

第１系統の推定回転座標系の電圧方程式、及び拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta 1}$は、数式１で表される。

【数１】

$$\begin{bmatrix} v_{\gamma 1} \\ v_{\delta 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + p(L_{d1} + M_d) & -\omega(L_{q1} + M_q) \\ \omega(L_{q1} + M_q) & R + p(L_{d1} + M_d) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\gamma 1} \\ i_{\delta 1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{\gamma 1} \\ e_{\delta 1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} e_{\gamma 1} \\ e_{\delta 1} \end{bmatrix} = \left[(L_{d1} + M_d - L_{q1} - M_q)(\omega i_{d1} - \dot{i}_{q1}) + \omega M_f i_f \right] \begin{bmatrix} -\sin\Delta\theta \\ \cos\Delta\theta \end{bmatrix}$$

【００３２】

第２系統の推定回転座標系の電圧方程式、及び拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta 2}$は、数式２で表される。

【数２】

$$\begin{bmatrix} v_{\gamma 2} \\ v_{\delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + p(L_{d2} + M_d) & -\omega(L_{q2} + M_q) \\ \omega(L_{q2} + M_q) & R + p(L_{d2} + M_d) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\gamma 2} \\ i_{\delta 2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{\gamma 2} \\ e_{\delta 2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} e_{\gamma 2} \\ e_{\delta 2} \end{bmatrix} = \left[(L_{d2} + M_d - L_{q2} - M_q)(\omega i_{d2} - \dot{i}_{q2}) + \omega M_f i_f \right] \begin{bmatrix} -\sin\Delta\theta \\ \cos\Delta\theta \end{bmatrix}$$

【００３３】

第１系統及び第２系統の電圧、電流、拡張誘起電圧の各平均値を数式３で定義する。

【数３】

$$v_\gamma = \frac{v_{\gamma 1} + v_{\gamma 2}}{2}, \quad v_\delta = \frac{v_{\delta 1} + v_{\delta 2}}{2}$$

$$i_\gamma = \frac{i_{\gamma 1} + i_{\gamma 2}}{2}, \quad i_\delta = \frac{i_{\delta 1} + i_{\delta 2}}{2}$$

$$e_\gamma = \frac{e_{\gamma 1} + e_{\gamma 2}}{2}, \quad e_\delta = \frac{e_{\delta 1} + e_{\delta 2}}{2}$$

【００３４】

また、２系統の自己インダクタンスについて数式４の関係が成り立つと仮定する。

【数４】

$$L_{d1} = L_{d2} = L_d, \quad L_{q1} = L_{q2} = L_q$$

【００３５】

２系統の電圧、電流平均値を用いた電圧方程式、及び拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta}$は、数式５で表される。

【数５】

$$\begin{bmatrix} v_\gamma \\ v_\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + p(L_d + M_d) & -\omega(L_q + M_q) \\ \omega(L_q + M_q) & R + p(L_d + M_d) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_\gamma \\ e_\delta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} e_\gamma \\ e_\delta \end{bmatrix} = \left[(L_d + M_d - L_q - M_q)\{\omega i_d - \dot{i}_q)\} + \omega M_f i_f \right] \begin{bmatrix} -\sin\Delta\theta \\ \cos\Delta\theta \end{bmatrix}$$

【００３６】

数式１、２、５で得られる「－ｓｉｎ△θ、ｃｏｓ△θ」に基づき、軸ずれΔθは、数式６で算出される。

【数６】

$$\Delta\theta = \tan^{-1}\frac{\sin\Delta\theta}{\cos\Delta\theta}$$

【００３７】

図１にて、誘起電圧推定部５７及び磁極位置推定部５８をまとめて推定部５６と記す。推定部５６には、モータ８０２の運転状態によって変化する電気角速度ω及び界磁電流ｉｆが入力される。なお、磁極位置推定部５８の内部で電気角速度ωを推定する構成では、電気角速度ωの入力矢印は正確には不要であるが、便宜上、入力情報として図示する。

また、推定部５６は、モータ８０２のパラメータである抵抗Ｒ、各インダクタンスＬ、Ｍを固定値として記憶してもよい。

【００３８】

ただし、例えば図５（ａ）に示すように、抵抗Ｒは巻線温度Ｔｍに対して正の相関を有している。また、図５（ｂ）に示すように、インダクタンスＬ、Ｍは相電流i_{UVW}に対して反比例型の負の相関を有している。なお、臨界電流i_0以下の領域は、磁気飽和領域に相当する。

そのため、第１実施形態のモータ制御装置１０１は、巻線温度Ｔｍ、相電流i_{UVW}等、モータ８０２の運転状態に応じて、モータ８０２のパラメータ値を変更するパラメータ変更部５５を備える。パラメータ変更部５５は、図５（ａ）、（ｂ）のような特性マップを記憶してもよいし、数式によりパラメータ値を算出してもよい。

推定部５６は、パラメータ変更部５５が随時変更したパラメータ値を用いて、拡張誘起電圧e_γ、e_δや軸ずれΔθの推定演算を行う。これにより、モータ８０２の運転状態に応じて、磁気飽和や温度変化等に依らず位置推定精度を確保することができる。

【００３９】

なお、パラメータ変更部５５は、モータ８０２に設けられた温度センサから巻線温度Ｔｍを直接取得してもよい。或いは、他の部位の温度や相電流i_{UVW}等の情報に基づいて巻線温度Ｔｍを推定してもよい。

また、例えば巻線温度Ｔｍの変化の時定数は、制御演算周期に比べて極めて長い。したがって、パラメータ変更部５５は、抵抗Ｒの値を変更する周期を制御周期の数百～数千回に一回、又は数秒に一回というように設定し、演算量を低減してもよい。

【００４０】

上述のように、磁極位置推定部５８は磁極位置θγを推定する。この磁極位置θγは、軸基準の定義により、例えば第１系統の磁極位置を表す。第２系統の磁極位置は、第１系統の磁極位置を基準として、所定の位相差を加算することにより表される。そこで、磁極位置推定部５８が推定した磁極位置θγを、適宜、「基準磁極位置θγ」と記す。

磁極位置推定部５８が演算した基準磁極位置θγは、各系統の２相３相変換部１７１、１７２、及び、３相２相変換部１８１、１８２に通知される。

【００４１】

このとき、第１系統の２相３相変換部１７１、３相２相変換部１８１には、基準磁極位置θγが入力される。第２系統の２相３相変換部１７２、３相２相変換部１８２には、角度加算器２７２、２８２により、基準磁極位置θγに電気角３０°が加算された位置が入力される。各系統の２相３相変換部１７１、１７２、及び３相２相変換部１８１、１８２は、入力された位置情報を用いて座標変換演算を行う。

【００４２】

ところで、電流センサ７１、７２が検出した３相電流i_{UVW1}、i_{UVW2}には、５次、７次、１１次、１３次等、すなわち、一般に（６ｋ±１）次（ｋは自然数）の高調波成分が１次成分に重畳することが知られている。この高調波成分は、ＩＰＭモータにおけるロータマグネットの着磁不均一性やロータ及びステータの形状に起因する構造的要因、又は、モ

ータ動作中の外乱等により発生する。相電流の１次成分に重畳する（６ｋ±１）次成分は、座標変換により、γδ軸電流の０次成分（すなわち直流成分）に重畳する６次、１２次等の（６ｋ）次成分となる。

【００４３】

本実施形態では、主に「ｋ＝１」のとき、すなわち、相電流１次成分に重畳する５次、７次成分を推定回転座標系に座標変換して現れる「γδ軸電流の０次成分に重畳した６次成分」に注目して説明する。なお、６次成分についての効果は、ｋが奇数のときに相当する１８次、３０次等の成分についても同様に当てはまる。

【００４４】

まず比較例として、２相固定座標系のαβ軸で位相が電気角３０°ずれた２系統の電流を加算した場合の高調波成分の変化について図１２を参照して説明する。

固定座標系αβ軸における第１系統α軸電流$i_{\alpha 1}$、β軸電流$i_{\beta 1}$、第２系統α軸電流$i_{\alpha 2}$、β軸電流$i_{\beta 2}$は、５次、７次高調波成分が重畳する場合、数式７で表される。

【数７】

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha 1} \\ i_{\beta 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\alpha 1_1次} + |i_{\alpha 1_5次}| \sin 5(\theta + \theta_{\alpha 1}) + |i_{\alpha 1_7次}| \sin 7(\theta + \theta_{\alpha 1}) \\ i_{\beta 1_1次} + |i_{\beta 1_5次}| \cos 5(\theta + \theta_{\beta 1}) + |i_{\beta 1_7次}| \cos 7(\theta + \theta_{\beta 1}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha 2} \\ i_{\beta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\alpha 2_1次} + |i_{\alpha 2_5次}| \sin 5(\theta + \theta_{\alpha 2} + \frac{\pi}{6}) + |i_{\alpha 2_7次}| \sin 7(\theta + \theta_{\alpha 2} + \frac{\pi}{6}) \\ i_{\beta 2_1次} + |i_{\beta 2_5次}| \cos 5(\theta + \theta_{\beta 2} + \frac{\pi}{6}) + |i_{\beta 2_7次}| \cos 7(\theta + \theta_{\beta 2} + \frac{\pi}{6}) \end{bmatrix}$$

【００４５】

図１２（ａ）に示すように、２系統のα軸電流５次高調波成分$i_{\alpha 1_5次}$、$i_{\alpha 2_5次}$を固定座標系で加算した場合、振幅は小さくなるものの、位相がずれた５次高調波が残る。図１２（ｂ）に示すように、２系統のα軸電流７次高調波成分$i_{\alpha 1_7次}$、$i_{\alpha 2_7次}$を固定座標系で加算した場合も同様である。つまり、固定座標系で２系統の値を加算しても、高調波成分をキャンセルすることはできない。

【００４６】

例えば特開２０１４－１３８５３０号公報には、２相固定座標系で加算された２系統の電圧ベクトル及び電流ベクトルに基づいて誘起電圧及び電気角を演算する技術が開示されている。

しかし、上述の通り、固定座標系で２系統の値を加算しても高調波成分はキャンセルされないため、推定電気角に脈動が生じる。また、固定座標系の基本波成分は交流量であるため、回転数が高くなるにつれてマイコン処理での離散化誤差が顕著になる。その結果、推定電気角の誤差が大きくなる。

そこで本実施形態では、各系統の電圧値又は電流値を推定回転座標系で加算し系統数で除すことにより平均値を求める。そして、各系統の平均値を用いて誘起電圧$e_{\gamma\delta}$を演算し、磁極位置を推定することを特徴とする。

【００４７】

具体的に、回転座標系の０次成分（すなわち直流成分）に６次高調波成分が重畳した場合について説明する。０次成分に６次高調波成分が重畳した２系統のγδ軸電流$i_{\gamma\delta 1}$、$i_{\gamma\delta 2}$は、数式８で表される。

【数８】

$$\begin{bmatrix} i_{\gamma 1} \\ i_{\delta 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\gamma 1_0次} + |i_{\gamma 1_6次}| \sin 6(\theta + \theta_{\gamma 1}) \\ i_{\delta 1_0次} + |i_{\delta 1_6次}| \cos 6(\theta + \theta_{\delta 1}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{\gamma 2} \\ i_{\delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\gamma 2_0次} + |i_{\gamma 2_6次}| \sin 6(\theta + \theta_{\gamma 2} + \frac{\pi}{6}) \\ i_{\delta 2_0次} + |i_{\delta 2_6次}| \cos 6(\theta + \theta_{\delta 2} + \frac{\pi}{6}) \end{bmatrix}$$

【００４８】

図６に、２系統のγ軸電流$i_{\gamma 1}$、$i_{\gamma 2}$、及び、それらの平均値を示す。２系統のγ軸電流０次成分の値、及び、γ軸電流６次成分の振幅は同一であると仮定する。

１周期が電気角６０°に相当する６次成分について、位相が電気角３０°ずれた２系統のγ軸電流$i_{\gamma 1}$、$i_{\gamma 2}$は、ちょうど山と谷とが反転した逆位相となる。そのため、逆位相のγ軸電流$i_{\gamma 1}$、$i_{\gamma 2}$を加算すると、６次高調波成分が互いにキャンセルされる。

なお、現実には各系統の巻線等の部品誤差や組付誤差等により、各系統のγ軸電流０次成分の値、又はγ軸電流６次成分の振幅に微小な誤差が存在し得る。その場合でも、２系統の値を加算することにより、６次高調波成分は、ほぼキャンセルされると考えられる。

【００４９】

図１に基づいて説明した通り、本実施形態のモータ制御装置１０１は、各系統のγδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta 1}$、$v^*_{\gamma\delta 2}$の平均値$v^*_{\gamma\delta}$、及び、γδ軸電流検出値$i_{\gamma\delta 1}$、$i_{\gamma\delta 2}$の平均値$i_{\gamma\delta}$を用いて、拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta}$及び基準磁極位置θγを推定する。

本実施形態では、基本波成分が直流量となる推定回転座標系の電圧、電流値を利用することで、離散化誤差をなくし、高回転時にも高精度な位置推定が可能となる。

また、各系統の電圧及び電流の平均値$v^*_{\gamma\delta}$、$i_{\gamma\delta}$を利用して基準磁極位置θγを推定することで、系統毎に電圧及び電流から磁極位置を推定する構成に比べ、高調波成分をキャンセルすることができる。したがって、磁極位置θγの脈動成分を低減し、位置推定精度を向上させることができる。

【００５０】

また、特許文献１の従来技術（特許第５５２７０２５号公報）では、二つのインバータでそれぞれ拡張誘起電圧及び推定位相角を演算するのに対し、本実施形態の誘起電圧推定部５７は、各系統に共通の情報に基づいて一通りの拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta}$を推定する。そして、磁極位置推定部５８は、誘起電圧推定部５７が推定した一通りの誘起電圧$e_{\gamma\delta}$に基づいて磁極位置を推定する。

したがって、本実施形態では、位置推定演算の演算量を低減しつつ、高調波成分を適切に低減することができる。

【００５１】

（第２実施形態）

第２実施形態による３相２系統のモータ制御装置について図７を参照して説明する。

図７のモータ制御装置１０２には、図１のモータ制御装置１０１の構成に加え、電流フィードバック制御の構成として、電流減算器１４及び電流制御器１５がさらに規定されている。除算器４６２で算出されたγδ軸電流の平均値$i_{\gamma\delta}$は、誘起電圧推定部５７に取得されるとともに、２系統共通のγδ軸電流指令値$i^*_{\gamma\delta}$に対してフィードバックされ、電流減算器１４で差分が算出される。

【００５２】

電流制御器１５は、電流指令値$i^*_{\gamma\delta}$とフィードバック電流$i_{\gamma\delta}$との差分を０に収束させるように、ＰＩ制御等により２系統共通のγδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta}$を演算する。原則としてγδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta}$と同じ値の$v^*_{\gamma\delta 1}$、$v^*_{\gamma\delta 2}$が、それぞれ、第１系統及び第２系統の電力変換器６１、６２に指令される。

また、γδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta}$は、誘起電圧推定部５７に直接取得される。すなわち、第２実施形態では、「高調波成分相殺部」としての電圧加算器は設けられない。このように、高調波成分相殺部は、各系統の電圧又は電流の少なくとも一方について相殺処理を実行するように設けられればよい。

【００５３】

第２実施形態のモータ制御装置１０２では、２系統のγδ軸電流$i_{\gamma\delta1}$、$i_{\gamma\delta2}$の平均値$i_{\gamma\delta}$が電流フィードバック制御のフィードバック電流として用いられる。

これと対比される比較例の構成では、各系統のγδ軸電流$i_{\gamma\delta1}$、$i_{\gamma\delta2}$が各系統の電流指令値に対して直接フィードバックされる。この場合、各系統の電流に重畳した高調波成分の影響により、電流制御器１５で演算される出力電圧に脈動が生じるおそれがある。また、系統毎にフィードバック演算するため、演算量が増加する。

【００５４】

第２実施形態では、第１実施形態と同様に位置推定精度を向上させることに加え、比較例の構成に比べ、フィードバック電流に重畳した高調波成分を、フィルタ等を用いることなく、簡易な演算で効果的に除去することができる。よって、電流フィードバック制御における出力電圧の脈動を抑制することができる。また、各系統共通にフィードバック演算を行うため、演算量を低減することができる。

【００５５】

（第３実施形態）

第３実施形態による３相３系統のモータ制御装置について、第１実施形態の図１、図３、図６にそれぞれ対応する図８、図９、図１０を参照して説明する。

図８に示すように、モータ制御装置１０３は、３系統の３相巻線組を有するモータ８０３に３台の電力変換器６１、６２、６３から交流電力を供給するシステムに適用される。

図９に、第１系統巻線８１を実線、第２系統巻線８２を破線、第３系統巻線８３を細かい破線で表し、３相３系統のモータ８０３の巻線の配置を模式的に示す。３相３系統のモータ８０３の各相巻線は、第１系統と第２系統との間、及び、第２系統と第３系統との間の位相が電気角２０（すなわち、６０／３）°ずれている。

【００５６】

モータ制御装置１０３は、第１実施形態のモータ制御装置１０１の構成に加え、さらに第３系統の２相３相変換部１７３及び３相２相変換部１８３を備える。第３系統の２相３相変換部１７３は、γδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta3}$を３相電圧指令値v^*_{UVW3}に変換し、電力変換器６３に出力する。第３系統の３相２相変換部１８３は、電流センサ７３が検出した第３系統の相電流i_{UVW3}を取得し、γδ軸電流検出値$i_{\gamma\delta3}$に変換する。

【００５７】

電圧加算器３５３は、３系統のγδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta1}$、$v^*_{\gamma\delta2}$、$v^*_{\gamma\delta3}$の合計を算出する。除算器３６３は、その合計を３で除した平均値を誘起電圧推定部５７に出力する。

電流加算器４５３は、３系統のγδ軸電流検出値$i_{\gamma\delta1}$、$i_{\gamma\delta2}$、$i_{\gamma\delta3}$の合計を算出する。除算器４６３は、その合計を３で除した平均値を誘起電圧推定部５７に出力する。

パラメータ変更部５５によるパラメータの設定や推定部５６での推定演算に関する事項は第１実施形態と同様である。

【００５８】

磁極位置推定部５８が推定した基準磁極位置θγは、各系統の２相３相変換部１７１、１７２、１７３、及び、３相２相変換部１８１、１８２、１８３に通知される。

このとき、第１系統の２相３相変換部１７１、３相２相変換部１８１には、基準磁極位置θγが入力される。第２系統の２相３相変換部１７２、３相２相変換部１８２には、角度加算器２７２、２８２により、基準磁極位置θγに電気角２０°が加算された位置が入力される。第３系統の２相３相変換部１７３、３相２相変換部１８３には、角度加算器２７３、２８３により、基準磁極位置θγに電気角４０°が加算された位置が入力される。

【００５９】
０次成分に６次高調波成分が重畳した３系統のγδ軸電流$i_{\gamma\delta1}$、$i_{\gamma\delta2}$、$i_{\gamma\delta3}$は、数式９で表される。
【数９】

$$\begin{bmatrix} i_{\gamma1} \\ i_{\delta1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\gamma1_0次} + |i_{\gamma1_6次}| \sin 6(\theta + \theta_{\gamma1}) \\ i_{\delta1_0次} + |i_{\delta1_6次}| \cos 6(\theta + \theta_{\delta1}) \end{bmatrix}$$

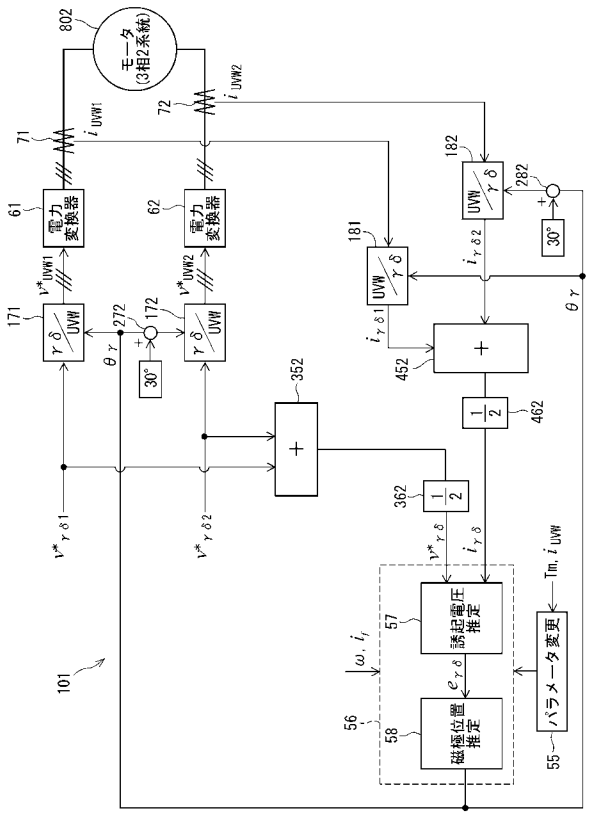
$$\begin{bmatrix} i_{\gamma2} \\ i_{\delta2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\gamma2_0次} + |i_{\gamma2_6次}| \sin 6(\theta + \theta_{\gamma2} + \frac{\pi}{9}) \\ i_{\delta2_0次} + |i_{\delta2_6次}| \cos 6(\theta + \theta_{\delta2} + \frac{\pi}{9}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{\gamma3} \\ i_{\delta3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{\gamma3_0次} + |i_{\gamma3_6次}| \sin 6(\theta + \theta_{\gamma3} + \frac{2\pi}{9}) \\ i_{\delta3_0次} + |i_{\delta3_6次}| \cos 6(\theta + \theta_{\delta3} + \frac{2\pi}{9}) \end{bmatrix}$$

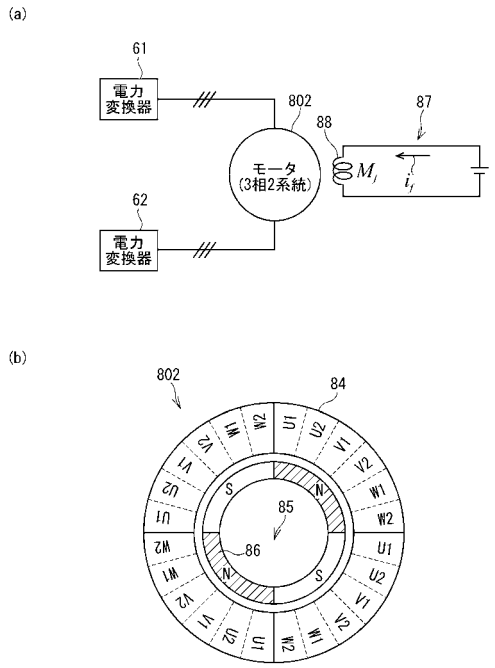
【００６０】
図１０に、３系統のγ軸電流$i_{\gamma1}$、$i_{\gamma2}$、$i_{\gamma3}$、及び、それらの平均値を示す。各系統のγ軸電流０次成分は同一の値であると仮定する。位相が電気角２０°ずれたγ軸電流$i_{\gamma1}$、$i_{\gamma2}$、$i_{\gamma3}$を加算すると、６次高調波成分が互いにキャンセルされる。
モータ制御装置１０３は、３系統のγδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta1}$、$v^*_{\gamma\delta2}$、$v^*_{\gamma\delta3}$の平均値$v^*_{\gamma\delta}$、及び、γδ軸電流検出値$i_{\gamma\delta1}$、$i_{\gamma\delta2}$、$i_{\gamma\delta3}$の平均値$i_{\gamma\delta}$を用いて、拡張誘起電圧$e_{\gamma\delta}$及び基準磁極位置θγを推定する。これにより、推定演算における６次高調波成分の影響を排除し、位置推定精度を向上させることができる。
【００６１】
（第４実施形態）
第４実施形態による３相Ｎ系統のモータ制御装置について、第１実施形態の図１、第３実施形態の図８に対応する図１１を参照して説明する。図１１には、第１系統、第２系統及び第Ｎ系統が明示されている他、第２系統と第Ｎ系統との間の一つ以上の系統の図示が省略されている。すなわち、この例でのＮは、４以上の整数である。
【００６２】
モータ制御装置１０４は、Ｎ系統の３相巻線組を有するモータ８０９にＮ台の電力変換器６１、６２、・・・、６９から交流電力を供給するシステムに適用される。第１、第３実施形態の２系統及び３系統の例から類推されるように、３相Ｎ系統のモータ８０９の巻線組は、各系統間の位相が電気角（６０／Ｎ）°ずれている。「θ_N＝（６０／Ｎ）°」と表すと、第Ｎ系統の位相は、第１系統の位相に対し、（Ｎ－１）θ_Nずれている。
【００６３】
モータ制御装置１０４は、２相３相変換部１７１、１７２、・・・、１７９、及び、３相２相変換部１８１、１８２、・・・、１８９を備える。第Ｎ系統の２相３相変換部１７９は、γδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta N}$を３相電圧指令値v^*_{UVWN}に変換し、電力変換器６９に出力する。第Ｎ系統の３相２相変換部１８９は、電流センサ７９が検出した第Ｎ系統の相電流i_{UVWN}を取得し、γδ軸電流検出値$i_{\gamma\delta N}$に変換する。
【００６４】
電圧加算器３５９は、Ｎ系統のγδ軸電圧指令値$v^*_{\gamma\delta1}$、$v^*_{\gamma\delta2}$、・・・、$v^*_{\gamma\delta N}$の合計を算出する。除算器３６９は、その合計をＮで除した平均値を誘起電圧推定部５７に出力する。
電流加算器４５９は、Ｎ系統のγδ軸電流検出値$i_{\gamma\delta1}$、$i_{\gamma\delta2}$、・・・、$i_{\gamma\delta N}$の合計を算出する。除算器４６９は、その合計をＮで除した平均値を誘起電圧推定部５７

に出力する。
パラメータ変更部５５によるパラメータの設定や推定部５６での推定演算に関する事項は上記実施形態と同様である。
【００６５】
磁極位置推定部５８が推定した基準磁極位置θγは、各系統の２相３相変換部１７１、１７２、・・・、１７９、及び、３相２相変換部１８１、１８２、・・・、１８９に通知される。このとき、第Ｎ系統の２相３相変換部１７９、３相２相変換部１８９には、角度加算器２７９、２８９により、基準磁極位置θγに電気角（Ｎ－１）θ_Nが加算された位置が入力される。
このように、本実施形態は、４系統以上のモータ制御装置に一般化可能である。
【００６６】
（その他の実施形態）
（ａ）上記では、３相回転機において主に推定回転座標系の６次成分をキャンセルする相殺処理について説明した。しかし、相殺処理の対象となる高調波成分は６次成分に限らない。例えば図６から類推されるように、２系統のモータ制御装置１０１、１０２では、６次以外に１８次、３０次等の成分を低減可能である。また、図１０から類推されるように、３系統のモータ制御装置１０３では、６次以外に１２次、２４次等の成分を低減可能である。
【００６７】
（ｂ）本発明の制御対象とする回転機は、３相回転機に限らず、４相以上のＭ相回転機であってもよい。すなわち、Ｎを２以上の整数、Ｍを３以上の整数とすると、本発明は、一般にＭ相Ｎ系統の回転機の制御装置として適用可能である。
以上、本発明は、上記実施形態になんら限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の形態で実施可能である。
【符号の説明】
【００６８】
１０１、１０２、１０３、１０４・・・モータ制御装置（回転機の制御装置）、
３５２、３５３、３５９・・・電圧加算器（高調波成分相殺部）、
４５２、４５３、４５９・・・電流加算器（高調波成分相殺部）、
５７・・・誘起電圧推定部、
５８・・・磁極位置推定部、
６１、６２、６３、６９・・・電力変換器、
８０２、８０３、８０９・・・モータ（回転機）。

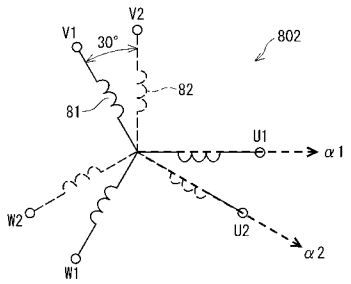
【図１】


802
モータ
(3相2系統)
71
72
61
62
電力変換器
171
172
181
182
282
352
452
462
362
30°
57
誘起電圧推定
58
磁極位置推定
56
55
パラメータ変更
101

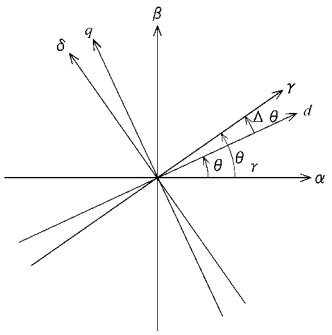
【図２】


(a)
61
電力変換器
802
モータ
(3相2系統)
87
88
62
(b)
802
84
85
86
U1
U2
V1
V2
W1
W2
N
S

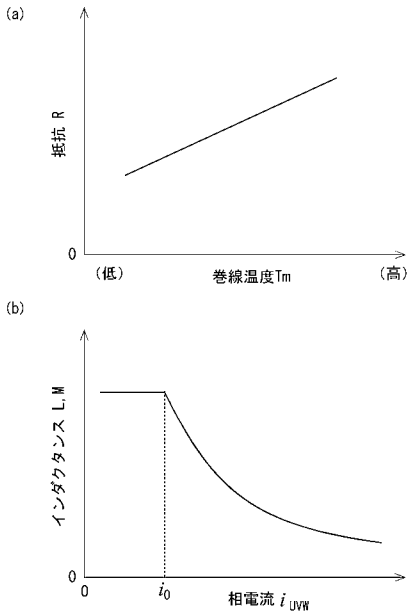
【図３】


V1
V2
30°
802
81
82
U1
W2
U2
W1

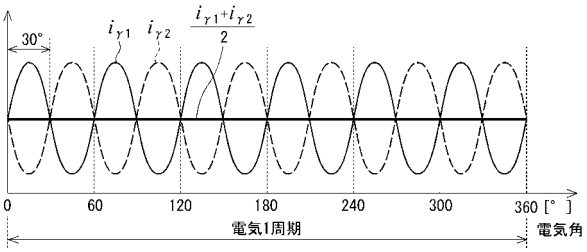
【図４】


β
δ
q
γ
d
Δθ
θ
θγ
α

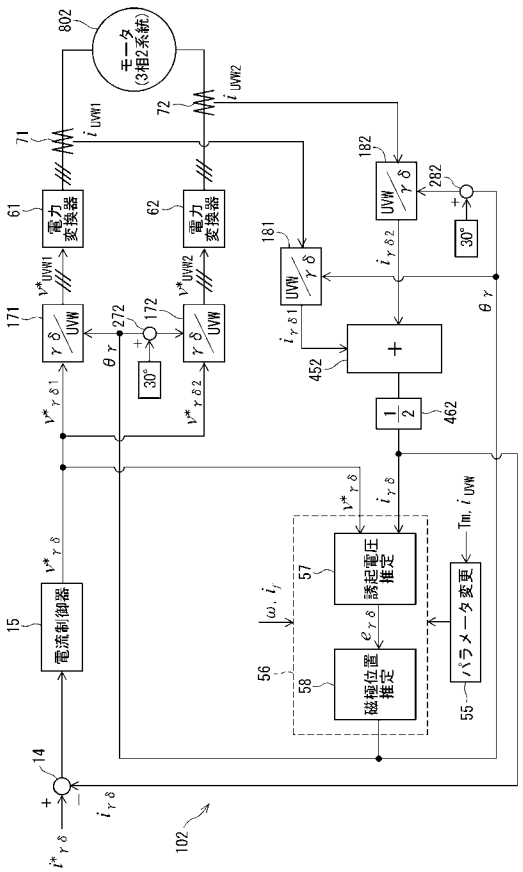
【図５】


(a)
抵抗 R
0
(低)
巻線温度Tm
(高)
(b)
インダクタンス L,M
0
0
i_0
相電流 i_{UVW}

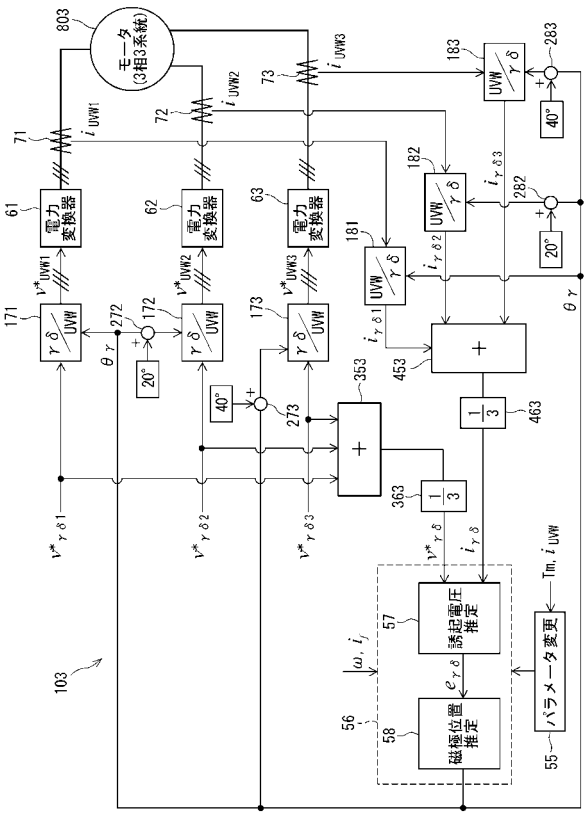
【図６】


30°
$i_{\gamma 1}$
$i_{\gamma 2}$
$\frac{i_{\gamma 1}+i_{\gamma 2}}{2}$
0
60
120
180
240
300
360 [°]
電気1周期
電気角

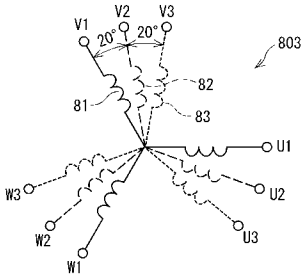
【図７】


802
モータ
(3相2系統)
i_{UVW1}
i_{UVW2}
71
72
61
62
電力変換器
v^*_{UVW1}
v^*_{UVW2}
171
172
$\gamma\delta$/UVW
UVW/$\gamma\delta$
181
182
282
30°
272
$\theta\gamma$
$v^*_{\gamma\delta 1}$
$v^*_{\gamma\delta 2}$
$i_{\gamma\delta 1}$
$i_{\gamma\delta 2}$
452
462
1/2
15
電流制御器
14
$i^*_{\gamma\delta}$
$i_{\gamma\delta}$
102
$v^*_{\gamma\delta}$
ω, i_f
56
57
磁極位置推定
誘起電圧推定
58
$e_{\gamma\delta}$
Tm, i_{UVW}
55
パラメータ変更

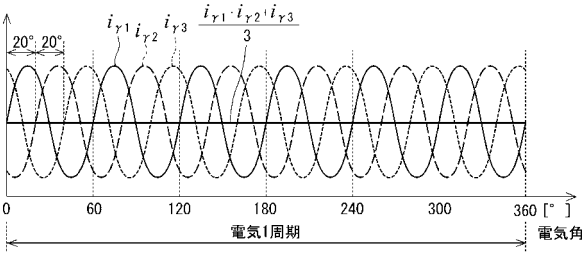
【図８】


803
モータ
(3相3系統)
i_{UVW1}
i_{UVW2}
i_{UVW3}
71
72
73
61
62
63
電力変換器
v^*_{UVW1}
v^*_{UVW2}
v^*_{UVW3}
171
172
173
$\gamma\delta$/UVW
UVW/$\gamma\delta$
181
182
183
282
283
20°
40°
272
273
$\theta\gamma$
$v^*_{\gamma\delta 1}$
$v^*_{\gamma\delta 2}$
$v^*_{\gamma\delta 3}$
$i_{\gamma\delta 1}$
$i_{\gamma\delta 2}$
$i_{\gamma\delta 3}$
353
453
363
463
1/3
103
$v^*_{\gamma\delta}$
$i_{\gamma\delta}$
ω, i_f
56
57
58
磁極位置推定
誘起電圧推定
$e_{\gamma\delta}$
Tm, i_{UVW}
55
パラメータ変更

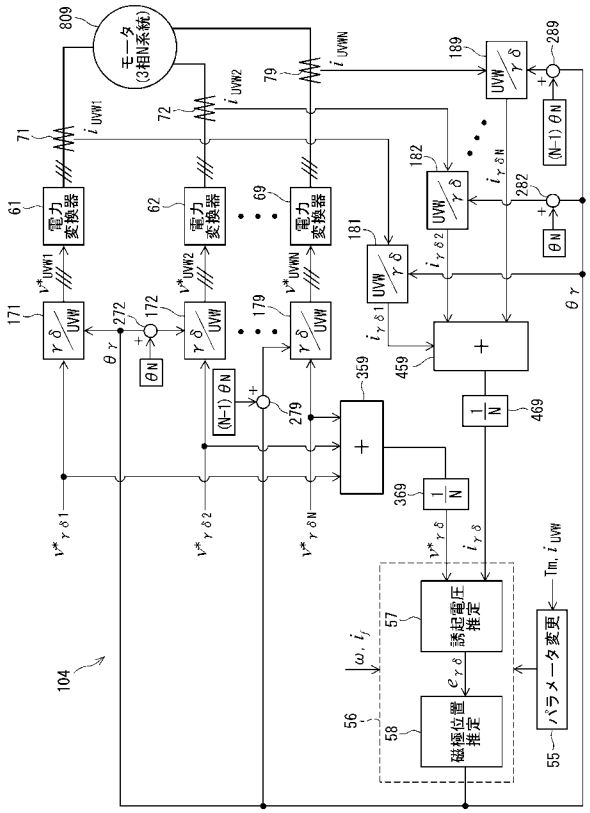
【図９】



【図１０】



【図１１】



【図１２】

