

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7600583号  
(P7600583)

(45)発行日 令和6年12月17日(2024.12.17)

(24)登録日 令和6年12月9日(2024.12.9)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 2 P	21/05 (2006.01)	H 0 2 P	21/05
H 0 2 P	21/22 (2016.01)	H 0 2 P	21/22
H 0 2 P	27/06 (2006.01)	H 0 2 P	27/06

請求項の数 4 (全17頁)

(21)出願番号	特願2020-154828(P2020-154828)	(73)特許権者	000001247 株式会社ジェイテクト 愛知県刈谷市朝日町一丁目1番地
(22)出願日	令和2年9月15日(2020.9.15)	(74)代理人	100105957 弁理士 恩田 誠
(65)公開番号	特開2022-48802(P2022-48802A)	(74)代理人	100068755 弁理士 恩田 博宣
(43)公開日	令和4年3月28日(2022.3.28)	(72)発明者	山口 茂利 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
審査請求日	令和5年8月11日(2023.8.11)	審査官	保田 亨介

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 モータ装置及びマップの設定方法

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

車両のステアリング装置に搭載され、前記ステアリング装置に対してトルクを付与するように、当該ステアリング装置が有するモータを動作させるべく当該モータに電圧を印加するインバータ回路を制御するモータ制御装置と、前記モータの回転角度を検出する回転角度センサとを備えたモータ装置であって、

前記モータ制御装置は、

指令電流に前記モータに流れる実電流を追従させる電流フィードバック制御するための操作量として指令電圧を演算する指令電圧演算部と、

前記指令電圧演算部により演算された前記指令電圧に基づいて、前記モータに印加する電圧が前記指令電圧となるように前記インバータ回路を操作する操作処理部と、

前記指令電圧を補正するための高調波電圧を補正電圧として設定する開ループ処理部とを備え、

前記開ループ処理部は、

前記回転角度及び前記回転角度の変化量である回転速度に基づいて、高調波磁束を演算する高調波磁束演算部と、

前記高調波磁束演算部により演算された前記高調波磁束に基づいて、前記補正電圧を演算する補正電圧演算部とを有し、

前記操作処理部は、前記補正電圧演算部により演算された前記補正電圧によって補正された前記指令電圧に基づいて、前記インバータ回路を操作し、

10

20

前記モータ制御装置は、前記回転角度及び前記回転速度と前記高調波磁束との関係を示すマップを設定するマップ設定部をさらに備え、

前記マップ設定部は、前記回転角度センサにより検出された前記回転角度により得られた前記回転速度の変化量を示す回転速度変動を検出し、当該回転速度変動に慣性モーメントを示す所定係数を乗算することによりトルクリプルを推定し、当該トルクリプルに基づいて前記高調波磁束を演算するための前記マップを生成し、当該マップを前記高調波磁束演算部が参照できるように設定するモータ装置。

【請求項 2】

前記開ループ処理部は、前記モータに流れる実電流を基本波電流とする場合に当該モータに印加される高調波電圧を前記補正電圧とする請求項 1 に記載のモータ装置。

10

【請求項 3】

前記高調波磁束演算部は、d 軸の実電流、q 軸の実電流、前記回転角度、及び前記回転速度と、d 軸の前記高調波磁束及び q 軸の前記高調波磁束との関係を定めた 4 次元マップを備えており、

前記高調波磁束演算部は、前記 4 次元マップを参照することにより、前記 d 軸の実電流、前記 q 軸の実電流、前記回転角度、及び前記回転速度に基づいて、d 軸の前記高調波磁束及び q 軸の前記高調波磁束をマップ演算する請求項 1 または 2 に記載のモータ装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のモータ装置の前記開ループ処理部で用いるマップの設定方法であって、

20

前記回転角度及び前記回転速度の変化を測定する測定ステップと、

前記測定ステップで測定された前記回転速度の変化量を示す回転速度変動を検出する変動検出ステップと、

前記変動検出ステップで検出された前記回転速度変動に慣性モーメントを示す所定係数を乗算することによりトルクリプルを推定する推定ステップと、

前記推定ステップで推定された前記トルクリプルに基づいて前記高調波磁束を演算するマップを生成するマップ生成ステップとを含み、

前記マップは、前記回転角度及び前記回転速度と前記高調波磁束との関係を定めているマップの設定方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、モータ装置及びマップの設定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、電動パワーステアリング装置が開示されている。電動パワーステアリング装置は、車両の操舵機構にモータのモータトルクを付与することにより、運転者のステアリング操作を補助する。電動パワーステアリング装置に搭載されるモータを制御対象とする制御装置は、検出された操舵トルクに基づいて、モータに流れる実電流の目標である指令電流を演算する。制御装置は、モータの回転角度に基づいて、指令電流を補正するための補正電流を演算する。補正電流は、空間高調波に起因したトルクリプルを低減するためのものである。そして、制御装置は、補正電流を用いて補正された指令電流に実電流を追従させる電流フィードバック制御を実行することにより、モータが出力するモータトルクを制御している。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2003 - 137110 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

## 【 0 0 0 4 】

補正電流を用いて指令電流を補正する場合には、電流フィードバック制御のフィードバックループの応答速度を十分に速くしなければ、空間高調波に起因したトルクリプルを低減する効果を得ることができない。しかし、電流フィードバック制御のフィードバックループの応答速度を速くするほど、指令電流に実電流を追従させることが困難になる。このため、電流フィードバック制御のフィードバックループの応答速度は、指令電流に実電流を追従させることができる程度に設定せざるを得ず、こうした電流フィードバック制御のフィードバックループの応答速度では、トルクリプルを低減する効果が十分に得られないおそれがあった。この場合、トルクリプルが発生することに起因して、モータから音や振動が発生するおそれがあった。

10

## 【 0 0 0 5 】

本発明の目的は、モータ装置及びマップの設定方法において、トルクリプルを低減することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 6 】

上記課題を解決するモータ装置は、車両のステアリング装置に搭載され、前記ステアリング装置に対してトルクを付与するように、当該ステアリング装置が有するモータを動作させるべく当該モータに電圧を印加するインバータ回路を制御するモータ制御装置と、前記モータの回転角度を検出する回転角度センサとを備えたモータ装置であって、前記モータ制御装置は、指令電流に前記モータに流れる実電流を追従させる電流フィードバック制御するための操作量として指令電圧を演算する指令電圧演算部と、前記指令電圧演算部により演算された前記指令電圧に基づいて、前記モータに印加する電圧が前記指令電圧となるように前記インバータ回路を操作する操作処理部と、前記指令電圧を補正するための高調波電圧を補正電圧として設定する開ループ処理部とを備え、前記開ループ処理部は、前記回転角度及び前記回転角度の変化量である回転速度に基づいて、高調波磁束を演算する高調波磁束演算部と、前記高調波磁束演算部により演算された前記高調波磁束に基づいて、前記補正電圧を演算する補正電圧演算部とを有し、前記操作処理部は、前記補正電圧演算部により演算された前記補正電圧によって補正された前記指令電圧に基づいて、前記インバータ回路を操作し、前記モータ制御装置は、前記回転角度及び前記回転速度と前記高調波磁束との関係を示すマップを設定するマップ設定部をさらに備え、前記マップ設定部は、前記回転角度センサにより検出された前記回転角度により得られた前記回転速度の変化量を示す回転速度変動を検出し、当該回転速度変動に慣性モーメントを示す所定係数を乗算することによりトルクリプルを推定し、当該トルクリプルに基づいて前記高調波磁束を演算するための前記マップを生成し、当該マップを前記高調波磁束演算部が参照できるように設定する。

20

30

## 【 0 0 0 7 】

上記構成によれば、開ループ処理部は、回転角度及び回転速度に基づいて演算された高調波磁束を用いて、指令電圧を補正するための補正電圧を演算するようにしている。高調波磁束の演算に際しては、回転角度だけでなく、回転速度を用いて高調波磁束を演算している。空間高調波に起因したトルクリプルは回転速度の変動に基づいて推定することができることから、回転速度に基づいてトルクリプルを低減するための補正電圧を演算することができる。そして、トルクリプルが低減するように補正している対象は、電流フィードバック制御に用いられる指令電流ではなく、指令電圧である。このため、電流フィードバック制御のフィードバックループの応答速度を指令電流に実電流を追従させることができる程度に設定したとしても、指令電圧を補正することで、トルクリプルを低減することができる。

40

また、上記構成によれば、マップ設定部は、トルクリプルをトルク変動から検出するのではなく、トルクリプルを回転速度変動から推定するようにしている。高調波磁束を演算するマップを生成するために必要となる情報は、回転角度センサを通じて測定することができる回転速度変動である。この回転速度変動は、モータ制御装置が備える回転角度セン

50

サを通じて得ることができる。この回転角度センサは、モータに電圧を印加するにあたって必要になる回転角度を検出するために、そもそも設けられるセンサである。このため、マップ設定部がマップを生成するにあたって、トルクリプルを検出するためのトルク計等のセンサを別途設ける場合と比べて、マップを生成する際に必要となる構成を少なくすることができる。

【0008】

上記モータ装置において、前記開ループ処理部は、前記モータに流れる実電流を基本波電流とする場合に当該モータに印加される高調波電圧を前記補正電圧とすることが好ましい。

【0009】

特に、高速回転速度領域では、鎖交磁束が基本波からずれることによる空間高調波に起因したトルクリプルが目立たなくなり、実電流が大きくなる時の磁気飽和による空間高調波に起因したトルクリプルが顕著となりやすい。上記構成によれば、指令電圧を補正電圧によって補正するため、モータに流れる実電流を基本波電流に近付けることができ、高速回転速度領域についても、空間高調波に起因したトルクリプルを低減することができる。

【0010】

上記モータ装置において、前記高調波磁束演算部は、d軸の実電流、q軸の実電流、前記回転角度、及び前記回転速度と、d軸の前記高調波磁束及びq軸の前記高調波磁束との関係を定めた4次元マップを備えており、前記高調波磁束演算部は、前記4次元マップを参照することにより、前記d軸の実電流、前記q軸の実電流、前記回転角度、及び前記回転速度に基づいて、d軸の前記高調波磁束及びq軸の前記高調波磁束をマップ演算することが好ましい。

【0011】

上記構成によれば、4次元マップには回転速度を入力できるようにしていることから、回転速度に応じた高調波磁束の振幅の減少や回転速度に応じた高調波磁束の位相の遅れ等を考慮した4次元マップを設定することができる。高調波磁束演算部は、例えば、d軸の実電流、q軸の実電流、及び回転角度と、d軸の高調波磁束及びq軸の高調波磁束との関係を定めた3次元マップを参照する場合と比べて、d軸の実電流、q軸の実電流、回転角度、及び回転速度に基づいて好適な高調波磁束を演算することができる。

【0014】

上記課題を解決するモータ装置で用いるマップの設定方法は、前記回転角度及び前記回転速度の変化を測定する測定ステップと、前記測定ステップで測定された前記回転速度の変化量を示す回転速度変動を検出する変動検出ステップと、前記変動検出ステップで検出された前記回転速度変動に慣性モーメントを示す所定係数を乗算することによりトルクリプルを推定する推定ステップと、前記推定ステップで推定された前記トルクリプルに基づいて前記高調波磁束を演算するマップを生成するマップ生成ステップとを含み、前記マップは、前記回転角度及び前記回転速度と前記高調波磁束との関係を定めている。

【0015】

上記方法によれば、変動検出ステップでは、測定ステップで測定された回転角度及び回転速度の変化量を示す回転速度変動を検出する。トルクリプルと回転速度変動の間には所定の関係が存在する。すなわち、トルクリプルは、回転速度変動の時間微分に慣性モーメントを示す所定係数を乗算した値である。このため、推定ステップでは、変動検出ステップで検出した回転速度変動からトルクリプルを推定することができる。そして、推定ステップで推定されたトルクリプルに基づいてトルクリプルを低減するための高調波磁束を演算することができる。これにより、回転角度及び回転速度と高調波磁束との関係を求めることができるため、高調波磁束を演算するためのマップを生成することができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明のモータ装置及びマップの設定方法によれば、トルクリプルを低減できる。

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】モータ装置の概略構成を示す図。

【図2】モータ装置の概略構成を示す斜視図。

【図3】高調波磁束演算部の概略構成を示す図。

【図4】(a), (b)は、相電圧の歪みを示す図。

【図5】マップの設定の手順を示すチャート。

【発明を実施するための形態】

【0018】

モータ制御装置の一実施形態を図面に従って説明する。

10

図1は、本実施形態におけるモータ装置1の構成を示している。モータ装置1は、モータ10と、インバータ回路INVと、モータ制御装置20とを備えている。モータ装置1は、例えば、車両の電動パワーステアリング装置に搭載されるものである。モータ10は、3相モータである。モータ10には、例えば、極数が10、スロット数が12の表面磁石同期電動機(SPM SM)が採用されている。モータ10は、ユーザによるステアリング操作に応じて転舵輪を転舵するためのアシストトルクを生成する。

【0019】

図2に示すように、モータ装置1は、モータ10と、インバータ回路INVと、モータ制御装置20とが一体化した、所謂、モータコントロールユニットである。モータ装置1のハウジングの内部には、モータ10、インバータ回路INV、及びモータ制御装置20が収容されている。また、モータ制御装置20は、回転角度センサ12を備えている。回転角度センサ12は、モータ制御装置20を構成するマイコン等の各種の電子部品が実装される制御基板に設けられている。回転角度センサ12は、モータ10の回転軸10aの回転角度を検出する。

20

【0020】

図1に示すように、モータ10のモータコイルの各端子は、インバータ回路INVを介してバッテリー14に接続されている。インバータ回路INVは、バッテリー14の正極とモータ10のモータコイルの3個の端子との間をそれぞれ開閉するとともに、バッテリー14の負極とモータ10のモータコイルの3個の端子との間をそれぞれ開閉する回路である。

【0021】

30

インバータ回路INVは、6つのスイッチング素子によって構成されている。スイッチング素子としては、MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) が採用されている。スイッチング素子には、モータ10のU相のモータコイルの端子に接続されるものに「u」、V相のモータコイルの端子に接続されるものに「v」、W相のモータコイルの端子に接続されるものに「w」の符号を付している。また、スイッチング素子MOSFETには、上側アーム、すなわちバッテリー14の正極側に「p」を付与している。スイッチング素子には、下側アーム、すなわちバッテリー14の負極側に「n」を付与している。なお、以下では、「u, v, w」を総括して「 $\forall$ 」と表記して、「p, n」を総括して「#」と表記している。インバータ回路INVは、バッテリー14の正極とモータ10のモータコイルの端子との間を開閉するスイッチング素子 $S_{\forall p}$ と、バッテリー14の負極とモータ10のモータコイルの端子との間を開閉するスイッチング素子 $S_{\forall n}$ とを備えている。スイッチング素子 $S_{\forall p}$ と、スイッチング素子 $S_{\forall n}$ とは、直列に接続されている。これらスイッチング素子 $S_{\forall \#}$ は、それぞれダイオード $D_{\forall \#}$ を有している。

40

【0022】

モータ10のモータコイルの各端子とインバータ回路INVとの間の接続線には、電流センサ16が設けられている。電流センサ16は、接続線を通るモータ10の各相の電流値から得られる実電流を検出する。なお、図1では、説明の便宜上、各相の電流センサを1つに纏めて図示している。また、以下では、接続線を通る各相の実電流を、 $i_{\forall}$ と表記している。

【0023】

50

モータ制御装置 20 について説明する。

モータ制御装置 20 は、モータ 10 を制御対象としている。モータ制御装置 20 は、モータ 10 に電圧を印加するインバータ回路 INV を操作する。

【0024】

モータ制御装置 20 は、dq 変換部 22 と、回転速度演算部 23 と、指令電流設定部 24 と、偏差演算部 26, 28 と、電流フィードバック制御部 30, 32 と、非干渉制御部 34 と、uvw 変換部 36 と、PWM 処理部 38 と、デッドタイム生成部 40 と、開ループ処理部 60 と、電圧補正部 66, 68 とを備えている。

【0025】

dq 変換部 22 は、電流センサ 16 により検出された 3 相の実電流  $i_u, i_v, i_w$  を d 軸の実電流  $i_d$  及び q 軸の実電流  $i_q$  に変換する。

10

回転速度演算部 23 は、回転角度センサ 12 により検出された回転角度  $e$  を時間微分することにより、回転速度  $\omega$  を演算する。回転角度センサ 12 により検出された回転角度  $e$  は電気角であり、回転速度  $\omega$  は電気角速度である。

【0026】

指令電流設定部 24 は、モータ 10 の生成するトルクの指令値であるトルク指令値  $T_{rq}^*$  及び回転速度  $\omega$  に基づいて、d 軸の指令電流  $i_d^*$  及び q 軸の指令電流  $i_q^*$  を設定する。指令電流設定部 24 は、q 軸の指令電流  $i_q^*$  を、トルク指令値  $T_{rq}^*$  の絶対値が大きいほどその絶対値が大きくなるように設定する。一方、指令電流設定部 24 は、d 軸の指令電流  $i_d^*$  を、回転速度  $\omega$  の絶対値が所定速度以上となる場合、その絶対値がゼロよりも大きい値となるように設定する。指令電流設定部 24 は、回転速度  $\omega$  の絶対値が所定速度以上の領域において、回転速度  $\omega$  が大きくなるほどその絶対値が大きくなるように設定する。d 軸の指令電流  $i_d^*$  は、周知の弱め界磁制御を行うためのものである。

20

【0027】

偏差演算部 26 は、d 軸の指令電流  $i_d^*$  から d 軸の実電流  $i_d$  を減算した偏差を演算する。偏差演算部 28 は、q 軸の指令電流  $i_q^*$  から q 軸の実電流  $i_q$  を減算した偏差を演算する。電流フィードバック制御部 30 は、d 軸の指令電流  $i_d^*$  に d 軸の実電流  $i_d$  を追従させるべく d 軸の実電流  $i_d$  の電流フィードバック制御を実行することにより、電流フィードバック制御するための操作量として d 軸の電圧を演算する。すなわち、電流フィードバック制御部 30 は、d 軸の指令電流  $i_d^*$  と実電流  $i_d$  との偏差を無くすように、d 軸の電圧を演算する。電流フィードバック制御部 32 は、q 軸の指令電流  $i_q^*$  に q 軸の実電流  $i_q$  を追従させるべく q 軸の実電流  $i_q$  の電流フィードバック制御を実行することにより、電流フィードバック制御するための操作量として q 軸の電圧を演算する。すなわち、電流フィードバック制御部 32 は、q 軸の指令電流  $i_q^*$  と q 軸の実電流  $i_q$  との偏差を無くすように、q 軸の電圧を演算する。本実施形態では、電流フィードバック制御部 30, 32 は、電流フィードバック制御として比例要素及び積分要素を用いた PI 制御を実行する。

30

【0028】

非干渉制御部 34 は、電流フィードバック制御部 30, 32 により演算された d 軸の電圧及び q 軸の電圧を、非干渉項と誘起電圧補償項とにより補正したものを最終的な d 軸の指令電圧  $v_d^*$  及び q 軸の指令電圧  $v_q^*$  として出力する。ここで、非干渉項とは、d 軸の実電流  $i_d$  及び q 軸の実電流  $i_q$  に基づく開ループ操作量である。また、誘起電圧補償項とは、回転速度  $\omega$  に基づく開ループ操作量である。これらは周知のため、これ以上の記載を省略する。なお、特許請求の範囲に記載した指令電圧演算部は、電流フィードバック制御部 30, 32 及び非干渉制御部 34 に相当する。

40

【0029】

uvw 変換部 36 は、d 軸の指令電圧  $v_d^*$  及び q 軸の指令電圧  $v_q^*$  を 3 相の指令電圧  $v_u^*, v_v^*, v_w^*$  に変換する。PWM 処理部 38 は、3 相の指令電圧  $v_u^*, v_v^*, v_w^*$  に基づき、3 相の PWM 信号  $g_u, g_v, g_w$  を生成する。デッドタイム生

50

成部 40 は、PWM 信号  $g \#$  に基づき、スイッチング素子  $S \#$  の操作信号  $g \#$  を生成し、インバータ回路  $INV$  に出力する。PWM 信号  $g \#$  は、上側アームのスイッチング素子  $S_p$  のオン期間、及び下側アームのスイッチング素子  $S_n$  のオン期間を規定する。PWM 信号  $g \#$  には、上側アームのスイッチング素子  $S_p$  と下側アームのスイッチング素子  $S_n$  とのいずれか一方がオフ操作からオン操作に切り替わるに先立って、他方がオフ操作されるようにデッドタイムが付与されている。なお、特許請求の範囲に記載した操作処理部は、 $uvw$  変換部 36、PWM 処理部 38、及びデッドタイム生成部 40 に相当する。

#### 【0030】

開ループ処理部 60 には、 $d$  軸の実電流  $i_d$ 、 $q$  軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $\omega$  が入力される。開ループ処理部 60 は、 $d$  軸の実電流  $i_d$ 、 $q$  軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $\omega$  に基づいて、 $d$  軸の指令電圧  $v_d^*$  を補正するための  $d$  軸の補正電圧  $v_{dh}$  を演算するとともに、 $q$  軸の指令電圧  $v_q^*$  を補正するための  $q$  軸の補正電圧  $v_{qh}$  を演算する。 $d$  軸の補正電圧  $v_{dh}$  及び  $q$  軸の補正電圧  $v_{qh}$  は、モータ 10 に流れる実電流の絶対値が大きくなる場合に、ステータコイルのインダクタンスの磁気飽和に起因した空間高調波によってモータ 10 に流れる実電流が基本波からずれることを抑制するためのものである。ここで、 $d$  軸の補正電圧  $v_{dh}$  及び  $q$  軸の補正電圧  $v_{qh}$  は、開ループ制御量である。

#### 【0031】

具体的には、開ループ処理部 60 は、高調波磁束演算部 62 と、補正電圧演算部 64 とを備えている。

図 3 に示すように、高調波磁束演算部 62 には、 $d$  軸の実電流  $i_d$ 、 $q$  軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $\omega$  が入力される。高調波磁束演算部 62 は、 $d$  軸の実電流  $i_d$ 、 $q$  軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $\omega$  に基づいて、高調波磁束  $d_h$ 、 $q_h$  を演算する。高調波磁束演算部 62 は、 $d$  軸の実電流  $i_d$ 、 $q$  軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $\omega$  と、 $d$  軸の高調波磁束  $d_h$  及び  $q$  軸の高調波磁束  $q_h$  との関係を定めた 4 次元マップ  $M$  を備えている。4 次元マップ  $M$  は、高調波磁束演算部 62 の記憶部に記憶されている。記憶部は、図示しないメモリの所定の記憶領域である。4 次元マップ  $M$  は、例えば、 $d$  軸の実電流  $i_d$ 、 $q$  軸の実電流  $i_q$ 、及び回転角度  $e$  の 3 次元マップが、回転速度  $\omega$  毎に複数用意されたものである。この 4 次元マップ  $M$  は、モータ 10 に定常的に基本波電流を流した際における  $d$  軸の実電流  $i_d$ 、 $q$  軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $\omega$  の組毎に高調波磁束  $d_h$ 、 $q_h$  を求めることで生成されたものである。4 次元マップ  $M$  の設定方法については後述する。4 次元マップ  $M$  では、 $d$  軸の実電流  $i_d$  の絶対値が大きいか、また  $q$  軸の実電流  $i_q$  の絶対値が大きいか、 $d$  軸の高調波磁束  $d_h$  及び  $q$  軸の高調波磁束  $q_h$  の絶対値が大きくなる。なお、4 次元マップ  $M$  に入力される回転角度  $e$  の角度範囲は、例えば、「 $0 \sim 60^\circ$ 」の範囲とする。これは、6 次の高調波、およびその定数倍の高調波を低減することを狙ったための設定である。

#### 【0032】

図 4 (a) に、モータ 10 に基本波電流を流した際のモータ 10 のモータコイルの各端子に印加される電圧である相電圧  $v_u$ 、 $v_v$ 、 $v_w$  の推移を示す。図示されるように、この場合、相電圧  $v_u$ 、 $v_v$ 、 $v_w$  は基本波に対して歪みを有する。図 4 (b) に、図 4 (a) の相電圧  $v \#$  の歪率を定量化して示す。ここで、歪率は、基本波の実効値に対する高調波の実効値の百分率にて定量化されている。図示されるように、歪率が大きくなるのは、 $uvw$  の固定座標系において、3 次、5 次、7 次、11 次、および 13 次である。ここで、3 次の成分は実際にはトルクリプル等に寄与しない。一方、3 次および 5 次の高調波成分は、回転座標系では 6 次の高調波成分となり、11 次および 13 次の高調波成分は、回転座標系では、12 次の高調波成分となる。このため、本実施形態では、6 次の高調波およびその倍数の高調波成分をターゲットとする。ここで、6 次の高調波は、「 $60^\circ$ 」を周期とするものであり、その倍数の高調波は、「 $60^\circ$ 」の約数を周期とするもので

10

20

30

40

50

ある。このため、マップの入力変数としての回転角度  $e$  の領域は、「 $60^\circ$ 」となる。

【0033】

図3に示すように、高調波磁束演算部62は、4次元マップMを参照することにより、d軸の実電流  $i_d$ 、q軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $\omega_e$  に基づいて、d軸の高調波磁束  $d_h$  及びq軸の高調波磁束  $q_h$  をマップ演算する。

【0034】

図1に示すように、補正電圧演算部64は、高調波磁束演算部62により演算されたd軸の高調波磁束  $d_h$  及びq軸の高調波磁束  $q_h$  と、回転速度  $\omega_e$  とに基づいて、下記の式(c1)を用いてd軸の補正電圧  $v_{dh}$  及びq軸の補正電圧  $v_{qh}$  を算出する。なお、式(c1)の導出については、<補正電圧の導出について>の欄に記載する。

【0035】

【数1】

$$\begin{pmatrix} v_{dh} \\ v_{qh} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p & -\omega_e \\ \omega_e & p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda d_h \\ \lambda q_h \end{pmatrix} \quad \dots(c1)$$

電圧補正部66は、非干渉制御部34により演算されたd軸の指令電圧  $v_d^*$  にd軸の補正電圧  $v_{dh}$  を加算することで、d軸の指令電圧  $v_d^*$  を補正してuvw変換部36に出力する。電圧補正部68は、非干渉制御部34により演算されたq軸の指令電圧  $v_q^*$  にq軸の補正電圧  $v_{qh}$  を加算することで、q軸の指令電圧  $v_q^*$  を補正してuvw変換部36に出力する。

【0036】

モータ制御装置20は、マップ設定部100を更に備えている。マップ設定部100には、d軸の実電流  $i_d$ 、q軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $\omega_e$  が入力される。マップ設定部100は、d軸の実電流  $i_d$ 、q軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $\omega_e$  に基づいて、上記4次元マップMを生成する。マップ設定部100は、生成した4次元マップMを開ループ処理部60の高調波磁束演算部62に出力することで、4次元マップMを設定する。4次元マップMの設定方法については、<4次元マップMの設定方法について>の欄に記載する。

【0037】

<補正電圧の導出について>

以下、上記の式(c1)を導出する。まず、dq軸上での電圧方程式は、下記の式(c2)となる。

【0038】

【数2】

$$\begin{pmatrix} v_d \\ v_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_d & 0 \\ 0 & R_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} p & -\omega_e \\ \omega_e & p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Phi_{md} + L_d \cdot i_d \\ \Phi_{mq} + L_q \cdot i_q \end{pmatrix} \quad \dots(c2)$$

ただし、式(c2)においては、d軸の抵抗  $R_d$ 、q軸の抵抗  $R_q$ 、微分演算子  $p$ 、永久磁石による磁束のd軸成分  $\Phi_{md}$  およびq軸成分  $\Phi_{mq}$ 、d軸のインダクタンス  $L_d$ 、q軸のインダクタンス  $L_q$  を用いた。ここで、磁束  $d$ 、 $q$  は、「 $d = \Phi_{md} + L_d \cdot i_d$ 、 $q = \Phi_{mq} + L_q \cdot i_q$ 」と定義でき、また、dq軸の磁束  $d$ 、 $q$  は、基本波成分  $d_{DC}$ 、 $q_{DC}$  と、高調波成分  $d(6)$ 、 $q(6)$ 、 $d(12)$ 、 $q(12)$  等とに分解できることから、以下の式(c3)が成立する。

【0039】

【数3】

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} vd \\ vq \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Rd & 0 \\ 0 & Rq \end{pmatrix} \begin{pmatrix} id \\ iq \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} p & -\omega e \\ \omega e & p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda d \\ \lambda q \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} Rd & 0 \\ 0 & Rq \end{pmatrix} \begin{pmatrix} id \\ iq \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} p & -\omega e \\ \omega e & p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda d DC + \lambda d(6\theta) + \lambda d(12\theta) \dots \\ \lambda q DC + \lambda q(6\theta) + \lambda q(12\theta) \dots \end{pmatrix} \dots (c3) \end{aligned}$$

上記の式(c3)におけるd軸の電圧vd及びq軸の電圧vqが基本波電圧とd軸の補正電圧vdh及びq軸の補正電圧vqhとの和であるとして、且つd軸の実電流id及びq軸の実電流iqを基本波電流とすると、d軸の補正電圧vdh及びq軸の補正電圧vqhは、下記の式(c4)にて表現される。

【0040】

【数4】

$$\begin{pmatrix} vdh \\ vqh \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p & -\omega e \\ \omega e & p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda d(6\theta) + \lambda d(12\theta) \dots \\ \lambda q(6\theta) + \lambda q(12\theta) \dots \end{pmatrix} \dots (c4)$$

このように導出された上記の式(c4)は、上記の式(c1)と同一である。

【0041】

<4次元マップMの設定方法について>

4次元マップMの設定は、モータ装置1が車両の電動パワーステアリング装置に搭載される前に実行される。このため、例えば、4次元マップMの設定は、モータ装置1の工場出荷前に実行される。

【0042】

4次元マップMの設定にあたっては、まず、4次元マップMの設定対象であるモータ装置1を、工場における所定のマップ設定エリアに設置する。このマップ設定エリアは、モータ装置1に対して電力を供給できるのであれば、工場内のどのような場所であってもよい。これは、モータ装置1が、4次元マップMを設定するために必要となる情報を検出するための回転角度センサ12を自身で備えているためである。そして、図2に示すように、モータ装置1をマップ設定エリアに設置した後、モータ装置1はマップ設定用制御装置110に接続される。マップ設定用制御装置110は、4次元マップMを設定する際に電力を供給するバッテリーを備えている。4次元マップMを設定する際には、マップ設定用制御装置110のバッテリーが図1のバッテリー14として機能する。そして、4次元マップMの設定の準備完了後、マップ設定用制御装置110は、モータ装置1に対して4次元マップMの設定を開始する旨の信号を出力する。モータ装置1のモータ制御装置20は、4次元マップMの設定を開始する旨の信号を取得した場合、図5のフローチャートに示す手順にしたがって4次元マップMの設定を実行する。

【0043】

図5に示すように、モータ制御装置20は、測定ステップを実行する(ステップS1)。測定ステップにおいて、モータ制御装置20は、モータ10に定常的に基本波電流を流した際におけるd軸の実電流id、q軸の実電流iq、回転角度e、及び回転速度eを測定する。モータ10は、定常的に基本波電流を流した際、すなわち一定のd軸の指令電流id\*及びq軸の指令電流iq\*によって実電流を流すことで回転する。この場合、トルクリプルが発生していなければ、モータ10は一定の負荷で回転することになるため、モータ10の回転は一定の加速度で加速することになる。モータ10は、モータ装置1が電動パワーステアリング装置に搭載された場合に回転軸10aが回転することのできる角度範囲に応じた角度範囲で回転する。マップ設定部100には、回転角度センサ12により検出された回転角度eの変化、及び回転速度演算部23により演算された回転速度eの変化が入力される。また、マップ設定部100には、d軸の実電流id及びq軸の実電流iqの変化が入力される。マップ設定部100は、d軸の実電流id、q軸の実電

10

20

30

40

50

流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $e$  の組毎に測定データを用意する。

【0044】

マップ設定部100は、測定ステップの終了後、変動検出ステップを実行する(ステップS2)。変動検出ステップにおいて、マップ設定部100は、回転速度  $e$  の変化に基づいて、回転速度  $e$  の変動である回転速度変動を検出する。トルクリプルが発生していなければ、モータ10は一定の負荷で回転することから、回転速度  $e$  の絶対値は一定の変化量で変化することになる。しかし、トルクリプルが発生した場合には、モータ10が回転速度  $e$  の絶対値が一定の変化量で変化するという回転速度  $e$  の関係が崩れることになる。このため、トルクリプルが発生していない場合の回転速度  $e$  とトルクリプルが発生している場合の回転速度  $e$  との間に乖離が生じる。

10

【0045】

変動検出ステップにおいて、マップ設定部100は、回転速度変動を示す情報として、当該回転速度変動の振幅、及び当該回転速度変動の位相を回転速度変動毎に記憶する。なお、回転速度変動の振幅は、トルクリプルが発生していない場合の回転速度  $e$  とトルクリプルが発生している場合の回転速度  $e$  との偏差である。また、回転速度変動の位相は、回転速度変動が生じている回転角度  $e$  の位置である。

【0046】

マップ設定部100は、変動検出ステップの終了後、推定ステップを実行する(ステップS3)。ここで、トルクリプルは、回転速度変動の時間微分に慣性モーメントを示す所定係数を乗算した値である。このため、トルクリプルと回転速度変動の間には所定の関係が存在する。そこで、推定ステップにおいて、マップ設定部100は、変動検出ステップで検出された回転速度変動に基づいて、d軸の実電流  $i_d$ 、q軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $e$  の組毎にトルクリプルを推定する。

20

【0047】

マップ設定部100は、推定ステップの終了後、マップ生成ステップを実行する(ステップS4)。マップ生成ステップにおいて、マップ設定部100は、推定ステップで推定されたトルクリプルに基づいて、高調波磁束を演算する4次元マップMを生成する。具体的には、マップ設定部100は、トルクリプルが最小となることが推定されるd軸の高調波磁束  $d_h$  及びq軸の高調波磁束  $q_h$  を演算する。マップ設定部100は、これらのd軸の高調波磁束  $d_h$  及びq軸の高調波磁束  $q_h$  を、d軸の実電流  $i_d$ 、q軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $e$  の組毎に演算する。マップ設定部100は、これらの演算結果を纏めることで4次元マップMを生成する。マップ設定部100は、4次元マップMの生成後、生成した4次元マップMを開ループ処理部60の高調波磁束演算部62に出力する。高調波磁束演算部62は、マップ設定部100により生成された4次元マップMを記憶部に記憶して4次元マップMを設定する。このようにして、d軸の実電流  $i_d$ 、q軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $e$  と、d軸の高調波磁束  $d_h$  及びq軸の高調波磁束  $q_h$  との関係を定めた4次元マップMが高調波磁束演算部62に設定される。

30

【0048】

高調波磁束演算部62への4次元マップMの設定後、モータ装置1とマップ設定用制御装置110との間の接続が解除される。このようにして4次元マップMが設定されたモータ装置1は、工場から出荷されて、車両の電動パワーステアリング装置に搭載される。

40

【0049】

本実施形態の作用を説明する。

開ループ処理部60は、d軸の高調波磁束  $d_h$  及びq軸の高調波磁束  $q_h$  を用いて、d軸の指令電圧  $v_d^*$  及びq軸の指令電圧  $v_q^*$  を演算するようにしている。d軸の高調波磁束  $d_h$  及びq軸の高調波磁束  $q_h$  の演算に際しては、回転角度だけでなく、回転速度  $e$  を用いて、d軸の高調波磁束  $d_h$  及びq軸の高調波磁束  $q_h$  を演算している。空間高調波に起因したトルクリプルは回転速度変動に基づいて推定することができることから、回転速度  $e$  に基づいてトルクリプルを低減するためのd軸の補正電圧  $v_{dh}$

50

及び q 軸の補正電圧  $v_{qh}$  を演算することができる。ここで、d 軸の補正電圧  $v_{dh}$  及び q 軸の補正電圧  $v_{qh}$  は、モータ 10 に基本波電流を流した際にトルクリプルを最小とするように求めたものである。このため、非干渉制御部 34 により演算された d 軸の指令電圧  $v_{d*}$  に開ループ処理部 60 により演算された d 軸の補正電圧  $v_{dh}$  を重畳し、非干渉制御部 34 により演算された q 軸の指令電圧  $v_{q*}$  に開ループ処理部 60 により演算された q 軸の補正電圧  $v_{qh}$  を重畳することで、モータ 10 に流れる実電流を基本波電流に近付けることができる。モータ 10 に流れる実電流を基本波電流に近付けることができるため、開ループ処理部 60 に入力される d 軸の実電流  $i_d$  及び q 軸の実電流  $i_q$  も基本波電流に近いものとなる。

#### 【0050】

本実施形態の効果を説明する。

(1) トルクリプルが低減するように補正している対象は、電流フィードバック制御に用いられる d 軸の指令電流  $i_{d*}$  及び q 軸の指令電流  $i_{q*}$  ではなく、d 軸の指令電圧  $v_{d*}$  及び q 軸の指令電圧  $v_{q*}$  である。このため、電流フィードバック制御のフィードバックループの応答速度を指令電流に実電流を追従させることができる程度に設定したとしても、d 軸の指令電圧  $v_{d*}$  及び q 軸の指令電圧  $v_{q*}$  を補正することで、トルクリプルを低減することができる。

#### 【0051】

(2) 特に、高速回転速度領域では、鎖交磁束が基本波からずれることによる空間高調波に起因したトルクリプルが目立たないものとなり、実電流が大きくなる時の磁気飽和による空間高調波に起因したトルクリプルが顕著となりやすい。特に、磁気飽和による空間高調波に起因したトルクリプルは、モータ装置 1 の機械構成やモータ装置 1 が搭載される電動パワーステアリング装置の機械構成の共振周波数と一致して異音を発生させるおそれがある。本実施形態では、d 軸の指令電圧  $v_{d*}$  及び q 軸の指令電圧  $v_{q*}$  を d 軸の補正電圧  $v_{dh}$  及び q 軸の補正電圧  $v_{qh}$  によって補正するため、モータ 10 に流れる実電流を基本波電流に近付けることができ、高速回転速度領域についても、空間高調波に起因したトルクリプルを低減することができる。

#### 【0052】

(3) 4次元マップ M には回転速度  $e$  を入力できるようにしていることから、回転速度  $e$  に応じた高調波磁束の振幅の減少や回転速度  $e$  に応じた高調波磁束の位相の遅れ等を考慮した 4次元マップ M を設定することができる。高調波磁束演算部 62 は、例えば、d 軸の実電流  $i_d$ 、q 軸の実電流  $i_q$ 、及び回転角度  $e$  と、d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  との関係を定めた 3次元マップを参照する場合と比べて、d 軸の実電流  $i_d$ 、q 軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $e$  に基づいて最適な高調波磁束を演算することができる。

#### 【0053】

(4) マップ設定部 100 は、トルクリプルをトルク変動から検出するのではなく、トルクリプルを回転速度変動から推定するようにしている。高調波磁束を演算する 4次元マップ M を生成するために必要となる情報は、回転角度センサ 12 を通じて測定することができる回転速度変動である。この回転速度変動は、モータ制御装置 20 が備える回転角度センサ 12 を通じて得ることができる。この回転角度センサ 12 は、モータ 10 に電圧を印加するにあたって必要になる回転角度  $e$  を検出するために、そもそも設けられるセンサである。このため、マップ設定部 100 が 4次元マップ M を生成するにあたって、トルクリプルを検出するためのトルク計などのセンサを別途設ける場合と比べて、4次元マップ M を生成する際に必要となる構成を少なくすることができる。

#### 【0054】

(5) 測定ステップでモータ 10 の回転速度  $e$  の変化を測定するにあたって、モータ 10 は自身で回転するようにしている。このため、マップ設定部 100 が 4次元マップ M を生成するにあたって、モータ 10 の回転軸 10a を回転させるための外付けモータを別途設ける場合と比べて、4次元マップ M を生成する際に必要となる構成を少なくすること

10

20

30

40

50

ができる。

【 0 0 5 5 】

( 6 ) 変動検出ステップでは、測定ステップで測定されたモータ 1 0 の回転速度の変化に基づいて、回転速度変動を検出する。トルクリプルと回転速度変動との間には所定の関係が存在する。すなわち、トルクリプルは、回転速度変動の時間微分に慣性モーメントを示す所定係数を乗算した値である。このため、推定ステップでは、変動検出ステップで検出した回転速度変動からトルクリプルを推定することができる。そして、推定ステップで推定されたトルクリプルに基づいてトルクリプルを低減するための d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  を演算することができる。これにより、回転角度  $e$  及び回転速度  $e$  と d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  との関係を求めることができるため、d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  を演算するための 4 次元マップ M を生成することができる。

10

【 0 0 5 6 】

上記実施形態は次のように変更してもよい。また、以下の他の実施形態は、技術的に矛盾しない範囲において、互いに組み合わせることができる。

・高調波磁束演算部 6 2 は、d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  を演算する際、d 軸の実電流  $i_d$  に代えて d 軸の指令電流  $i_{d^*}$  を用い、q 軸の実電流  $i_q$  に代えて q 軸の指令電流  $i_{q^*}$  を用いるようにしてもよい。また、トルク指令値  $T_{rq^*}$  と q 軸の指令電流  $i_{d^*}$  との間に相関関係がある場合や、回転速度  $e$  と d 軸の指令電流  $i_{d^*}$  との間に相関関係がある場合がある。この場合、高調波磁束演算部 6 2 は、d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  を演算する際、q 軸の実電流  $i_q$  に代えてトルク指令値  $T_{rq^*}$  を用い、d 軸の実電流  $i_d$  に代えて回転速度  $e$  を用いるようにしてもよい。

20

【 0 0 5 7 】

・高調波磁束演算部 6 2 は、d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  を演算する際、d 軸の実電流  $i_d$ 、q 軸の実電流  $i_q$ 、回転角度  $e$ 、及び回転速度  $e$  に加えて、回転速度  $e$  の変化量である回転加速度等のパラメータを用いるようにしてもよい。

【 0 0 5 8 】

・高調波磁束演算部 6 2 は、d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  を演算する際に、回転座標系の値ではなく、固定 2 相座標系や固定 3 相座標系の値を用いるようにしてもよい。

30

【 0 0 5 9 】

・高調波磁束演算部 6 2 は、d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  を演算する際、電気角である回転角度  $e$  に代えて機械角である回転角度を用いるようにしてもよい。また、高調波磁束演算部 6 2 は、d 軸の高調波磁束  $d_h$  及び q 軸の高調波磁束  $q_h$  を演算する際、電気角である回転角度  $e$  の変化量である回転速度  $e$  に代えて、機械角である回転角度の変化量である回転速度を用いるようにしてもよい。これは、補正電圧演算部 6 4 についても同様である。

【 0 0 6 0 】

・上記実施形態では、6 次のトルクリプルを低減するための d 軸の補正電圧  $v_{d_h}$  及び q 軸の補正電圧  $v_{q_h}$  を演算するようにしたが、1 2 次のトルクリプル等の他の次数のトルクリプルを低減するようにしてもよい。

40

【 0 0 6 1 】

・4 次元マップ M は、モータ制御装置 2 0 のマップ設定部 1 0 0 によって生成するようにしたが、例えばマップ設定用制御装置 1 1 0 等のモータ制御装置 2 0 とは別の制御装置によって生成するようにしてもよい。この場合、モータ制御装置 2 0 は、マップ設定部 1 0 0 を備えていなくてよい。別の制御装置は、生成したマップをモータ制御装置 2 0 に対して出力し、高調波磁束演算部 6 2 は取得したマップを記憶部に記憶する。

【 0 0 6 2 】

・モータ 1 0 とは別の外付けモータをモータ 1 0 の回転軸 1 0 a に取り付けようにし

50

てもよい。この場合、測定ステップでは、モータ10自身で回転軸10aを回転させるのではなく、外付けモータで回転軸10aを回転させるようにすることができる。

【0063】

・モータ制御装置20は、回転角度センサ12を備えていなくてもよい。この場合、例えば、外付けの回転角度センサをモータ制御装置20に接続するようにしてもよい。測定ステップでは、外付けの回転角度センサによって回転角度 $\theta$ 及び回転速度 $\omega$ の変化を検出する。また、例えば、回転軸10aの位置を検出するエンコーダ等の位置センサを接続するようにしてもよい。位置センサは、回転軸10aの位置を検出することを通じて、回転角度 $\theta$ を検出する。測定ステップでは、位置センサによって回転角度 $\theta$ 及び回転速度 $\omega$ の変化を検出する。

10

【0064】

・モータ制御装置20が回転角度センサ12を備えている場合であっても、外付けの回転角度センサや位置センサをモータ制御装置20に接続するようにしてもよい。この場合、測定ステップでは、回転角度センサ12に代えて、外付けの回転角度センサや、位置センサによって、回転角度 $\theta$ 及び回転速度 $\omega$ の変化を検出する。

【0065】

・測定ステップでは、モータ装置1が車両の電動パワーステアリング装置に搭載される前に4次元マップMを設定するようにしたが、モータ装置1が車両の電動パワーステアリング装置に搭載された後に4次元マップMを設定するようにしてもよい。この場合、測定ステップは、電動パワーステアリング装置のステアリングホイールを右に最大限操舵した状態から左に最大限操舵した状態まで操舵したときのモータ10の回転軸10aが回転することのできる角度範囲で実行されることになる。

20

【0066】

・マップ設定部100は、推定ステップにおいて、回転速度変動に加えて、例えば実電流等の他のパラメータに基づいて、トルクリプルを推定するようにしてもよい。

・マップ設定部100は、マップ生成ステップにおいて、トルクリプルに加えて、例えば実電流等の他のパラメータに基づいて、4次元マップMを生成するようにしてもよい。

【0067】

・モータ制御装置20は、異常検出部を備えるようにしてもよい。この場合、異常検出部は、回転速度変動を常時監視し、当該回転速度変動が回転速度変動の最大値を示す閾値を超える場合に、モータ10に異常があったことを検出する。閾値は、例えば、4次元マップMを設定する際に検出された回転速度変動の最大値に設定される。なお、モータ10の異常としては、例えば、ロータに設けられている永久磁石の減磁や脱落、モータコイルの劣化等が考えられる。

30

【0068】

・モータ10は、SPMSMに限らず、埋込磁石同期モータであってもよい。なお、永久磁石同期モータにも限らず、たとえば巻線界磁型同期モータやリラクタンスモータ等であってもよい。

【0069】

・インバータ回路INVは、例えば、3レベルインバータ回路であってもよいし、モータ10のモータコイルの各端子にDCDCコンバータと同様の回路構成の回路を接続したものであってもよい。

40

【0070】

・モータ装置1は、電動パワーステアリング装置に搭載されるものに限らず、例えばステアバイワイヤ装置に搭載されるものであってもよいし、発電機として用いられるものであってもよい。

【0071】

上記実施形態及び上記他の実施形態から把握できる技術的思想について、それらの効果とともに以下に追記する。

(イ)前記指令電流、前記指令電圧、前記高調波磁束、及び前記補正電圧は、回転座標

50

系における値であり、前記高調波磁束演算部は、前記高調波磁束の微分演算に基づき前記補正電圧を演算するモータ制御装置。上記構成によれば、回転座標系を用いることで、基本波成分を直流成分として扱うことができることから、補正電圧を容易に演算することができる。

【符号の説明】

【 0 0 7 2 】

1 ... モータ装置

1 0 ... モータ

2 0 ... モータ制御装置

I N V ... インバータ回路

10

6 0 ... 開ループ処理部

6 2 ... 高調波磁束演算部

6 4 ... 補正電圧演算部

1 0 0 ... マップ設定部

$v d^*$  ,  $v q^*$  ... d 軸、q 軸の指令電圧

$v d h$  ,  $v q h$  ... d 軸、q 軸の補正電圧

$d h$  ,  $q h$  ... d 軸、q 軸の高調波磁束

M ... 4次元マップ

20

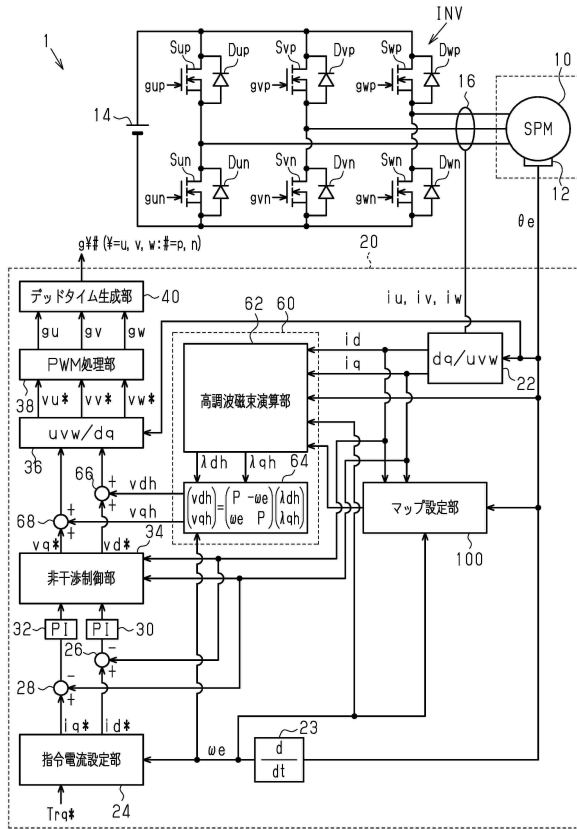
30

40

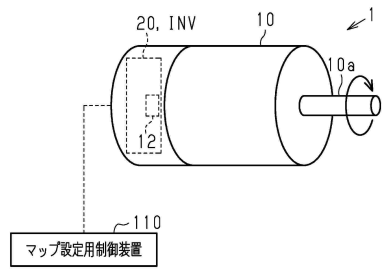
50

【図面】

【図 1】



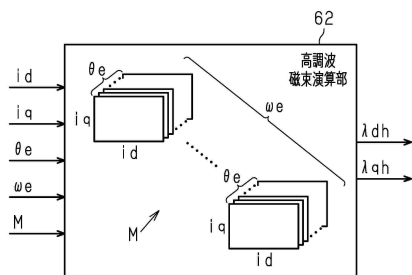
【図 2】



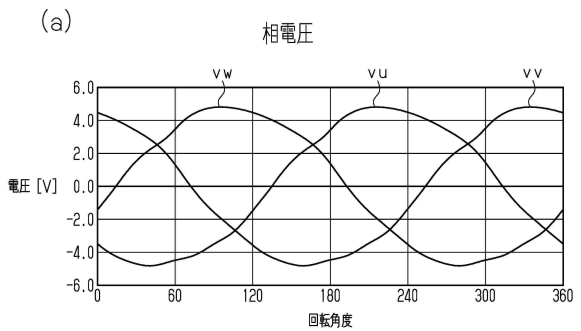
10

20

【図 3】

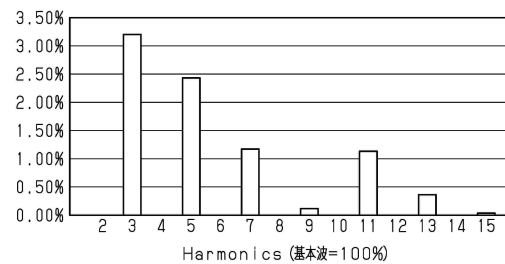


【図 4】



30

(b) 相電圧歪率



40

50

【 図 5 】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 1 1 1 7 8 8 ( J P , A )  
特開 2 0 1 1 - 2 2 3 7 2 4 ( J P , A )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 2 P 6 / 0 0 - 6 / 3 4  
2 1 / 0 0 - 2 5 / 0 3  
2 5 / 0 4  
2 5 / 1 0 - 2 7 / 1 8