

明 細 書

発明の名称： 処理装置、電動車両、処理方法、およびプログラム
技術分野

[0001] 本発明は、処理装置、電動車両、処理方法、およびプログラムに関し、特に、モータを励磁するために用いて好適なものである。本願は、2022年3月29日に日本に出願された特願2022-053569号に基づき優先権を主張し、それらの内容を全てここに援用する。

背景技術

[0002] 運転中のモータの振動は騒音の原因となる。また、例えば、ハイブリッド自動車（HV：Hybrid Vehicle）や電気自動車（EV：Electric Vehicle）などの電動車両における駆動用モータ（動力源）の振動は乗り心地に影響を与える。したがって、モータの振動を抑制することが望まれる。モータの振動を抑制する手法の一つとしては、モータの構造を変更することが考えられる。しかしながら、既存の電動車両のモータの構造を変更することは難しい。モータのステータコイルに供給される励磁信号に含まれる高調波を制御することによってモータの振動を抑制する手法が提案されている。

[0003] 非特許文献1には、オープン巻線構造のPMSM（Permanent Magnet Synchronous Motor）を対象として、モータのトルクリップルの低減や、モータの半径方向における振動の低減を実現することを目的とする技術が開示されている。かかる技術として非特許文献1には、基本波電流に第3次高調波電流が重畳された電流を励磁電流としてPMSMに供給することが記載されている。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：本田一成、赤津観共著、「第3次高調波電流制御を用いたオープン巻線構造PMSMの駆動手法検討」、電気学会論文誌D、Vol. 141、No. 1、pp. 35-45、2021年1月1日

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、非特許文献 1 には、第 3 次高調波電流が基本波に重畳された電流を励磁電流として PMSM に供給しても、モータの半径方向における振動を抑制する効果は小さいことが記載されている。したがって、非特許文献 1 に記載の技術には改善の余地がある。例えば、スター結線（Y 結線）の三相交流電源により、ステータコイルの結線方法がスター結線であるモータを動作させる場合、当該モータにおいては、3 の倍数の次数の高調波電流は流れない。したがって、基本波に第 3 次高調波が重畳された電流を励磁電流としてモータに供給しても、モータの半径方向における振動の抑制効果は十分ではない。

本発明は、以上のような問題点に鑑みてなされたものであり、モータの振動の抑制効果を高めることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の処理装置は、モータのステータコイルに供給される励磁信号の時間波形である励磁波形を生成するための処理を行う処理装置であって、基本波情報と、高調波情報と、を含む波形情報を設定する波形情報設定部を備え、前記基本波情報は、前記励磁波形に含める基本波を生成するための情報であり、前記高調波情報は、前記基本波に重畳させる第 5 次高調波を生成するための情報であり、前記波形情報設定部は、前記高調波情報を設定する高調波情報設定部を有し、前記高調波情報は、振幅割合 A_5 と、位相差 ϕ_5 と、を含み、前記振幅割合 A_5 は、前記基本波の振幅 I_0 に対する前記第 5 次高調波の振幅 I_5 の比を百分率で表したものであり、前記位相差 ϕ_5 は、前記基本波と前記第 5 次高調波との位相差であり、前記高調波情報設定部は、前記振幅割合 A_5 が、20% 超 80% 以下になるように、前記第 5 次高調波の振幅 I_5 を設定し、前記高調波情報設定部は、前記基本波に対する前記第 5 次高調波の位相が、進み位相になり、且つ、前記位相差 ϕ_5 が、80° 以上 106° 以下になるように、前記位相差 ϕ_5 を設定する。

[0007] 本発明の処理方法は、モータのステータコイルに供給される励磁信号の時間波形である励磁波形を生成するための処理を行う処理方法であって、基本波情報と、高調波情報と、を含む波形情報を設定する波形情報設定工程を備え、前記基本波情報は、前記励磁波形に含める基本波を生成するための情報であり、前記高調波情報は、前記基本波に重畳させる第5次高調波を生成するための情報であり、前記波形情報設定工程は、前記高調波情報を設定する高調波情報設定工程を有し、前記高調波情報は、振幅割合 A_5 と、位相差 ϕ_5 と、を含み、前記振幅割合 A_5 は、前記基本波の振幅 I_0 に対する前記第5次高調波の振幅 I_5 の比を百分率で表したものであり、前記位相差 ϕ_5 は、前記基本波と前記第5次高調波との位相差であり、前記高調波情報設定工程は、前記振幅割合 A_5 が、20%超80%以下になるように、前記第5次高調波の振幅 I_5 を設定し、前記高調波情報設定工程は、前記基本波に対する前記第5次高調波の位相が、進み位相になり、且つ、前記位相差 ϕ_5 が、 80° 以上 106° 以下になるように、前記位相差 ϕ_5 を設定する。

[0008] 本発明のプログラムは、前記処理装置の前記波形情報設定部としてコンピュータを機能させる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、モータの構成の一例を示す図である。

[図2]図2は、基本波に対する第5次高調波の振幅割合と電磁力との関係の一例を示す図である。

[図3]図3は、基本波と第5次高調波との位相差と電磁力との関係の一例を示す図である。

[図4]図4は、処理装置の機能的な構成の一例を示す図である。

[図5]図5は、処理方法の一例を説明するフローチャートである。

[図6]図6は、処理装置のハードウェアの構成の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態を説明する。

なお、以下の説明において、長さ、位置、大きさ、間隔など、比較対象が

同じであることは、厳密に同じである場合の他、発明の主旨を逸脱しない範囲で異なるもの（例えば、設計時に定められる公差の範囲内で異なるもの）も含むものとする。

[0011] [知見]

本発明の実施形態を説明する前に、本発明の実施形態に至るに際して本発明者らが得た知見を説明する。

モータに生じる騒音の主要な要因は、ステータ（ステータコア）の振動である。ステータの振動は、ステータ（ステータコア）に生じる電磁力により直接的に評価することができる。そこで、本発明者らは、特願2021-185783号において、基本波に対して重畳させる高調波として、ステータに生じる電磁力を低減することができる高調波を探索する手法を提案した。そして、本発明者らは、電磁界解析（数値解析）を行うことにより、どのような高調波を基本波に重畳させれば、ステータに生じる電磁力を低減することができるのかを調査した。

[0012] <モータMの構成>

図1は、調査対象のモータMの構成の一例を示す図である。なお、図1は、モータMを回転軸線O（z軸方向）に垂直に切った断面を示す。図1では表記の都合上、断面の切り口を表すハッチングの図示を省略する。図1において、x、y、zの傍らに示す矢印線は、x-y-z直交座標系におけるx座標、y座標、z座標の向きを示す。また、r、 θ の傍らに示す矢印線は、二次元極座標系におけるr座標、 θ 座標の向きを示す。なお、白丸（○）の中に黒丸（●）を付した記号は、z座標の向きを示す。また、紙面の奥側から手前側に向かう方向が正の方向であることを示す。また、図1に示す各座標の原点は、例えば、モータMの回転軸線O（中心線）である。図1では、表記の都合上、各座標の原点を、モータMの回転軸線Oから離れた位置に示す。

[0013] 図1において、モータMは、ロータ110と、ステータ120と、を備える。

ロータ１１０は、ロータコア１１１と、永久磁石１１２a～１１２pと、を備える。ロータコア１１１は、例えば、平面形状が同じ複数の無方向性電磁鋼板を積み重ねることにより構成される。なお、ロータコア１１１は、軟磁性体板の一例である無方向性電磁鋼板を用いるものに限定されない。例えば、ロータコア１１１は、無方向性電磁鋼板以外の軟磁性体板を用いることによって構成されても良い。無方向性電磁鋼板以外の軟磁性体板は、例えば、方向性電磁鋼板である。また、ロータコア１１１は、例えば、圧粉磁心、アモルファスコア、およびナノ結晶コアであっても良い。

ロータコア１１１には、モータMの回転軸に平行な方向（z軸方向）において貫通する貫通穴１１１a～１１１iが形成されている。

[0014] 貫通穴１１１aの中心の位置は、モータMの回転軸線Oの位置と同じである。貫通穴１１１aには、回転軸（シャフト）が設置される。

貫通穴１１１b～１１１iは、貫通穴１１１aを取り巻くように、モータMの周方向において間隔を有して配置される。なお、モータMの周方向は、モータMの回転軸線O周りの方向である。より具体的にモータMの周方向は、図１に示す θ 軸方向である。貫通穴１１１b～１１１iの形状および大きさは同じである。貫通穴１１１b～１１１iには、永久磁石１１２a～１１２pが設置される。貫通穴１１１b～１１１iに永久磁石１１２a～１１２pが設置された状態で、永久磁石１１２a～１１２pの両側方に空隙が形成される。当該空隙は、貫通穴１１１b～１１１iの一部の領域である。

[0015] ロータコア１１１を構成する複数の軟磁性体板は、例えば、貫通穴１１１a～１１１iに対応する穴が形成されるように円形の軟磁性体板を加工することによって製造される。これらの複数の軟磁性体板を、当該穴の位置が合うようにして積み重ねて固定したものがロータコア１１１の一例である。なお、貫通穴１１１a～１１１i以外の貫通穴がロータコア１１１に形成されていても良い。また、ロータコア１１１に対して所謂スキューが施されていても良い。

[0016] ステータ１２０は、ステータコア１２１と、ステータコイル１２２と、を

備える。ステータコア121は、例えば、平面形状が同じ複数の無方向性電磁鋼板を積み重ねることにより構成される。なお、ステータコア121は、軟磁性体板の一例である無方向性電磁鋼板を用いるものに限定されない。例えば、ステータコア121は、無方向性電磁鋼板以外の軟磁性体板を用いることによって構成されても良い。無方向性電磁鋼板以外の軟磁性体板は、例えば、方向性電磁鋼板である。また、ステータコア121は、例えば、圧粉磁心、アモルファスコア、およびナノ結晶コアであっても良い。

[0017] ステータコア121は、複数のティース部121aと、ヨーク部121b（コアバック部）と、を有する。なお、図1では、表記の都合上、複数のティース部のうちの1つのみに符号121aを付す。

複数のティース部121aは、モータMの周方向において等間隔となるように配置される。複数のティース部121aの形状および大きさは同じである。ヨーク部121bは、概ね中空円筒形状を有する。複数のティース部121aおよびヨーク部121bは、ヨーク部121bの内周側（回転軸線O側）の端面と、複数のティース部121aの外周側（図1に示すr軸の正の方向側）の端面と、が一致するように配置される。ただし、複数のティース部121aおよびヨーク部121bは、一体となっている（境界線がない）。

[0018] また、スロット121cにステータコイル122が配置される。スロット121cは、モータMの周方向において間隔を有した状態で隣り合う2つのティース部121aの間の領域である。なお、図1では、表記の都合上、1つのステータコイルにのみ符号122を付す。

[0019] ステータコア121を構成する複数の軟磁性体板は、例えば、複数のティース部121aおよびヨーク部121bに対応する形状の領域が形成されるように円形の軟磁性体板を加工することによって製造される。これらの複数の軟磁性体板を、それらの輪郭（内縁および外縁）が合うようにして積み重ねて固定したものがステータコア121の一例である。なお、ステータコア121に対して所謂スキューが施されていても良い。

[0020] なお、図1では、モータMが、インナーロータ型のIPM (Interior Permanent Magnet) モータである場合を例示する。ただし、モータMは、インナーロータ型のIPMモータに限定されない。例えば、モータMは、同期モータ以外のモータであっても良いし、アウターロータ型のモータであっても良い。また、モータMは、ラジアルギャップ型のモータに限定されない。例えば、モータMは、アキシアルギャップ型のモータであっても良い。

[0021] 以下では、図1に示すモータMとして、ステータ120の外径が140mmであり、ロータ110の外径が90mmであり、ロータ110およびステータ120の高さ(z軸方向の長さ)が24mmであり、ステータ120のスロットの数が48であり、ロータコア111およびステータコア121を構成する軟磁性体板が無方向性電磁鋼板であり、極数が8であり、ステータコイル122の結線方法がスター結線である三相交流モータを例示して、本発明者らが行った調査の結果を示す。

[0022] <数値解析の概要>

本発明者らは、電磁界解析(数値解析)を行うことにより、基本波に重畳させる高調波について後述する知見を得た。そこで、以下に、電磁界解析(数値解析)の概要を説明する。

本調査では、数値解析の一例である有限要素法を用いて、モータMの計算モデルに対して設定した要素(メッシュ)のそれぞれにおける磁束密度Bおよび渦電流密度J_eを算出した。なお、磁束密度Bおよび渦電流密度J_eは、ベクトル量である。また、基本波に重畳させる高調波について後述する知見は、差分法など、有限要素法以外の数値解析の手法(離散化手法)を用いて電磁界解析を実行しても得られる。

[0023] 有限要素法を用いた電磁界解析の手法としてA-φ法を用いる手法がある。この場合、電磁界解析を行うための基礎方程式は、マクスウェルの方程式(Maxwell)に基づき以下の(1)式~(4)式で与えられる。なお、各式において、→は、ベクトルであることを表す。

[0024]

[数1]

$$\text{rot}\left(\frac{1}{\mu} \text{rot} \vec{A}\right) = \vec{J}_0 - \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \sigma \text{grad} \phi \quad \dots (1)$$

$$\text{div}\left(\sigma \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \text{grad} \phi\right)\right) = 0 \quad \dots (2)$$

$$\vec{J}_e = -\sigma \left(\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \text{grad} \phi\right) \quad \dots (3)$$

$$\vec{B} = \text{rot} \vec{A} \quad \dots (4)$$

[0025] (1) 式～(4) 式において、 μ は、透磁率であり、 A は、ベクトルポテンシャルであり、 σ は、導電率であり、 J_0 は、励磁電流密度であり、 J_e は、渦電流密度であり、 B は、磁束密度である。(1) 式および(2) 式を連立して解いて、ベクトルポテンシャル A とスカラーポテンシャル ϕ を求める。その後、(3) 式および(4) 式から、磁束密度 B と、渦電流密度 J_e とを要素のそれぞれに対して求める。なお、(1) 式では、表記を簡素化するため、透磁率の x 成分 μ_x 、 y 成分 μ_y 、 z 成分 μ_z が等しい場合($\mu_x = \mu_y = \mu_z$ の場合)の式を示す。

[0026] そして、ステータコア121に対して設定された各要素における磁束密度 B に基づいて、ステータコア121に生じる電磁力 F を算出する(以下の説明では、ステータコア121に生じる電磁力 F を必要に応じて電磁力 F と略称する)。また、ロータコア111とステータコア121との間のエアギャップに対して設定された各要素における磁束密度 B に基づいて、モータ M に生じるトルク T を算出する(以下の説明では、モータ M に生じるトルク T を必要に応じてトルク T と略称する)。電磁力 F およびトルク T は、例えば、公知の節点力法を用いることにより算出される。節点力法では、磁束密度 B に基づいてマクスウェル応力テンソルが算出される。また、マクスウェル応

力テンソルを用いて、 r 方向、 θ 方向、 z 方向の電磁力 F_r 、 F_θ 、 F_z を成分として含む電磁力 F が算出される（電磁力 F はベクトル量である）。また、 θ 方向の電磁力 F_θ を用いてトルク T が算出される（トルク T はベクトル量である）。なお、電磁力 F およびトルク T を算出する方法は、節点力法に限定されず、その他の公知の手法であっても良い。また、電磁界解析を行う手法自体は、一般的な手法であるので、その詳細な説明を省略する。

[0027] <基本波に重畳させる高調波についての知見>

本発明者らは、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合の電磁力 F と、時間波形が基本波に各種の高調波を重畳させた時間波形である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合の電磁力 F と、を、電磁界解析（数値解析）を行うことにより算出した。ここで、励磁電流 $I(\omega t)$ [A] は、以下の（5）式で表されるものとする。（5）式において、 ω は、各周波数 [rad/s] である。 t は、時刻 [s] である。 n は、高調波の次数 [—] である。 I_0 は、基本波の振幅 [A] である。 I_n は、第 n 次高調波の振幅 [A] である。 ϕ_n は、基本波と第 n 次高調波との位相差 [rad] である。なお、[] 内に示す記号は単位を表す。また、[—] は、無次元量であることを示す。また、基本波と第 n 次高調波との位相差 ϕ_n が正の値である場合に、第 n 次高調波は基本波に対して進み位相であるものとする。

[0028] [数2]

$$I(\omega t) = I_0 \sin \omega t + \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad \cdots (5)$$

[0029] トルク T は、励磁電流の実効値に対応する。そこで、本調査では、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合と、時間波形が基本波に各種の高調波を重畳させた時間波形である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合と、で同等のトルク T が発生するようにして

、それぞれの場合の電磁力 F を同等のトルク条件の下で比較した。具体的には、時間波形が基本波である励磁電流の実効値と、時間波形が基本波に高調波を重畳させた時間波形である励磁電流の実効値と、がそれぞれ所望のトルク T に対応する励磁電流の実効値と同じになるように、それぞれの励磁電流の実効値を調整した。なお、時間波形が基本波である励磁電流の実効値と、時間波形が基本波に高調波を重畳させた時間波形である励磁電流の実効値と、がそれぞれ所望のトルク T に対応する励磁電流の実効値と厳密に同じにならない場合があった。この場合には、時間波形が基本波である励磁電流の実効値と、時間波形が基本波に高調波を重畳させた時間波形である励磁電流の実効値と、がそれぞれ所望のトルク T に対応する励磁電流の実効値に可及的に近い値になるように、それぞれの励磁電流の実効値を調整した。

[0030] また、本調査では、静磁界解析を行うことにより、トルク T および電磁力 F を算出した。具体的には、一周期分の励磁電流の時間波形において、離散的な複数の時刻における励磁電流の値を用いて、当該時刻におけるトルクを算出することを、当該複数の時刻のそれぞれにおいて行った。そして、このようにして算出した各時刻におけるトルクの平均値をモータ M に生じるトルク T として算出した。そして、このようにして算出したトルク T が、所望のトルクと同じになるように、時間波形が基本波である励磁電流の実効値と、時間波形が基本波に高調波を重畳させた時間波形である励磁電流の実効値と、をそれぞれ調整した。なお、トルク T が、所望のトルクと厳密に同じにならない場合があった。この場合には、当該トルク T が所望のトルク T に可及的に近い値になるように、時間波形が基本波である励磁電流の実効値と、時間波形が基本波に高調波を重畳させた時間波形である励磁電流の実効値と、をそれぞれ調整した。

[0031] そして、このようにして実効値を調整した励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合の電磁力 F として、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合の電磁力 F と、時間波形が基本波に各種の高調波を重畳させた時間波形である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供

給した場合の電磁力 F と、をそれぞれ算出して比較した。なお、このようにして算出される電磁力 F は、ステータコア 121 の全体に生じる電磁力である。しかしながら、前述したように本調査では、時間波形が基本波である励磁電流の実効値と、時間波形が基本波に高調波を重畳させた時間波形である励磁電流の実効値と、を同じにする。時間波形が基本波である励磁電流の実効値と、時間波形が基本波に高調波を重畳させた時間波形である励磁電流の実効値と、を同じにすることは、モータ T のトルク T を同じにすること（すなわちモータ M の回転方向における電磁力を同じにすること）に対応する。したがって、以上のように励磁電流の実効値を同じにするという条件の下で算出される電磁力 F の差には、モータ M の半径方向における電磁力の差となって表される。なお、モータ M の半径方向における電磁力は、ベクトル量である電磁力の成分のうち、モータ M の半径方向の成分である。モータ M の半径方向の成分は、例えば、図 1 に示す二次元極座標系の r 成分である。

[0032] また、以上のようにして算出される電磁力 F を小さくすることは、モータ M の振動の時間波形の平均値を小さくすることに対応する。本調査では、モータ M の振動を低減することは、モータ M の振動の時間波形の平均値を小さくすることを意味する。

[0033] ところで、複数の次数の高調波を基本波に重畳させたり、極端に高次の次数の高調波を基本波に重畳させたりすると、励磁電流の時間波形が複雑な形状になる。そうすると、例えば、励磁電流を生成するための回路や制御が複雑になったり、励磁電流を生成するための回路に備わるスイッチング素子がスイッチングを行うことにより生じるスイッチングノイズの影響が大きくなったりする虞がある。また、前述したように例えば、スター結線（ Y 結線）の三相交流電源により、ステータコイルの結線方法がスター結線であるモータを動作させる場合、当該モータにおいては、3 の倍数の次数の高調波電流は流れない。したがって、第 3 次高調波電流を基本波電流に重畳させても、モータ M の半径方向における振動の抑制効果は十分ではない。以上のことを踏まえ、本発明者らは、前述した比較の結果から、基本波に意図的に重畳さ

せる高調波を、第3次高調波よりも高い奇数次の高調波のうち最も低次の高調波である第5次高調波のみとし、且つ、第5次高調波の振幅 I_5 を適正化することにより、励磁電流の時間波形の形状を極端に複雑にしなくても、モータMの振動（すなわち、モータMの半径方向における電磁力）の抑制効果を大きくすることが可能になることを見出した。さらに、本発明者らは、第5次高調波の振幅 I_5 に加え、基本波と第5次高調波との位相差 ϕ_5 を適正化することにより、モータMの半径方向における電磁力をより低減させることが可能になることを見出した。なお、基本波に第5次高調波のみを意図的に重畳させるとは、励磁信号を生成するときに、第5次高調波を生成する動作が行われ、且つ、第5次高調波以外の高調波を生成する動作が行われないことをいう。

[0034] ここで、以下の（6）式に示すように、基本波の振幅 I_0 に対する第 n 次高調波の振幅 I_n の比（ $= I_n \div I_0$ ）を百分率で表したものを、基本波に対する第 n 次高調波の振幅割合 A_n とする。第 n 次高調波の振幅 I_n は、基本波の振幅 I_0 と、基本波に対する第 n 次高調波の振幅割合 A_n と、を用いると、以下の（7）式で表される。また、第 n 次高調波の振幅 I_n は、以下の（7a）式で表される。また、基本波に第5次高調波を重畳させた励磁電流 $I(\omega t)$ [A] は、（5）式より、以下の（8）式で表されるものとする。以下の説明では、基本波に対する第5次高調波の振幅割合 A_5 を、必要に応じて振幅割合 A_5 と略称する。

[0035]

[数3]

$$A_n = \frac{I_n}{I_0} \times 100 \quad \dots (6)$$

$$I_n = \frac{I_0 \times A_n}{100} \quad \dots (7)$$

$$I_5 = \frac{I_0 \times A_5}{100} \quad \dots (7a)$$

$$I(\omega t) = I_0 \sin \omega t + I_5 \sin(5\omega t + \phi_5) \quad \dots (8)$$

[0036] 図2は、振幅割合 A_5 （横軸）と電磁力 F （縦軸）との関係の一例を示す図である。なお、図2では、基本波と第5次高調波との位相差 ϕ_5 を 1.65 rad （ $\div 95^\circ$ ）に固定している場合を例示する。図2において、破線201は、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル122に供給した場合の電磁力 F の値を示す。破線202は、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル122に供給した場合の電磁力 F の0.9倍の電磁力 F の値を示す。黒丸は、時間波形が基本波に第5次高調波を重畳させた時間波形である励磁電流をステータコイル122に供給した場合の電磁力 F を示す。なお、図2では、電磁力 F を正規化して無次元量で表す。

[0037] モータ M の半径方向における振動は、モータ M の半径方向における電磁力に対応する。したがって、振幅割合 A_5 と電磁力 F との関係などから、振幅割合 A_5 の範囲を定めることは、モータ M の振動を抑制する観点から効果的である。本発明者らは、図2に示す結果などから、振幅割合 A_5 を0%超90%以下（ $0\% < A_5 \leq 90\%$ ）とすることにより、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル122に供給した場合に比べて電磁力 F を低減することができるという知見を得た。前述したように励磁電流の実効値を同じにするという条件の下で算出される電磁力 F の差は、モータ M の半径方向における電磁力の差となって表される。モータ M の半径方向における電磁力が大きく

なることはモータMの振動が大きくなることに対応する。図2に示すように、振幅割合 A_5 を0%超90%以下とすれば、電磁力Fを低減することができるので、モータMの振動（すなわち、モータMの半径方向における電磁力）の抑制効果を発現させることができる。したがって、振幅割合 A_5 を0%超90%以下としても良い。しかしながら、図2に示すように、振幅割合 A_5 を0%超90%以下とすると、電磁力Fを十分に低減することができない場合を含む（例えば、振幅割合 A_5 が0%および90%に近い値での電磁力Fを参照）。したがって、モータMの振動の抑制効果を確実に発現させることができない場合が生じ得る。そこで本発明者らは、モータMの振動の抑制効果を確実に発現させる観点から、振幅割合 A_5 を20%超80%以下（ $20\% < A_5 \leq 80\%$ ）にすれば、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル122に供給した場合に比べて電磁力Fを10%以上低減させることができるので好ましいという知見を得た。時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル122に供給した場合に比べて10%程度まで電磁力Fを低減できれば、モータMの振動の抑制効果として確実な効果が得られると考えられる。例えば、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル122に供給した場合に比べて10%程度まで電磁力Fを低減できれば、モータMの振動（振幅）が小さくなり易い運転条件（例えば、低回転数、低トルクの運転条件）でモータMを運転している場合でも、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル122に供給する場合と、振幅割合 A_5 を20%超80%以下にする場合とで、モータMの振動の絶対値（振幅）に明確な差を生じさせることができると考えられる。したがって、振幅割合 A_5 を20%超80%以下にすることによるモータMの振動の抑制効果を確実に発現させることができると考えられる。

[0038] さらに、本発明者らは、振幅割合 A_5 を40%以上70%以下（ $40\% \leq A_5 \leq 70\%$ ）にすれば、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル122に供給した場合に比べて電磁力Fを25%近く低減させることができるのでさらに好ましいという知見を得た。

- [0039] また、本発明者らは、振幅割合 A_5 を 45%以上55%以下 ($45\% \leq A_5 \leq 55\%$) にすれば、電磁力 F を最小値付近にすることができるので、より一層好ましいという知見を得た。
- [0040] なお、以上の振幅割合 A_5 の範囲の上下限値は、0%超90%以下の範囲で任意に入れ替えられても良い。例えば、「20%超80%以下」の「20%超」に代えて、「0%超」、「40%以上」、または「45%以上」が採用されても良い。また、「20%超80%以下」の「80%以下」に代えて、「90%以下」、「70%以下」、または「55%以下」が採用されても良い。また、「40%以上70%以下」の「40%以上」に代えて、「0%超」、「20%超」、または「45%以上」が採用されても良い。また、「40%以上70%以下」の「70%以下」に代えて、「90%以下」、「80%以下」、または「55%以下」が採用されても良い。「0%超90%以下」の「0%超」に代えて、「20%超」、「40%以上」、または「45%以上」が採用されても良い。「0%超90%以下」の「90%以下」に代えて、「80%以下」、「70%以下」、または「55%以下」が採用されても良い。また、「45%以上55%以下」の「45%以上」に代えて、「0%超」、「20%超」、または「40%以上」が採用されても良い。「45%以上55%以下」の「55%以下」に代えて、「90%以下」、「80%以下」、または「70%以下」が採用されても良い。
- [0041] ここで、基本波に意図的に重畳させる高調波を第5次高調波のみとしても、実際の励磁信号（励磁電流および励磁電圧）には、5以外の次数の高調波が含まれる場合がある。この場合、第5次高調波の振幅が、その他の次数の高調波の振幅よりも大きいのが好ましい。すなわち、基本波に対する第5次高調波の振幅割合 A_5 は、基本波に対する第5次高調波以外の高調波の振幅割合 A_n ($n \neq 5$) よりも大きいのが好ましい。なお、実際の励磁信号には、高調波以外に、ノイズおよび高周波が基本波に重畳される場合がある。ノイズは、不定期に基本波に重畳される信号である。したがって、ノイズは、基本波に同期しない信号である。よって、ノイズは、高調波に含まれない。また

、本実施形態では、高調波の次数 n は、40 以下であるものとする。また、本実施形態では、高周波は、第 40 次高調波の周波数（＝基本波の周波数 $\times$ 40）を上回る高い周波数の信号であるものとする。すなわち、本実施形態では、第 40 次高調波の周波数を上回る高い周波数の信号は、高調波に含まれないものとする。

[0042] なお、前述したように図 2 では、基本波と第 5 次高調波との位相差 ϕ_5 を 1.65 rad （ $\div 95^\circ$ ）とした場合を示す。しかしながら、基本波と第 5 次高調波との位相差 ϕ_5 は 1.65 rad （ $\div 95^\circ$ ）に限定されない。例えば、電動車両の駆動用モータなどのモータを動作させることができる範囲内であれば、基本波と第 5 次高調波との位相差 ϕ_5 が 1.65 rad （ $\div 95^\circ$ ）以外の値であっても、電磁力 F を低減することができる振幅割合 A_5 の範囲は、前述した範囲（例えば、 $0\% < A_5 \leq 90\%$ 、好ましくは $20\% < A_5 \leq 80\%$ 、より好ましくは $40\% \leq A_5 \leq 70\%$ 、より一層好ましくは $45\% \leq A_5 \leq 55\%$ ）であった。なお、駆動用モータとは、ハイブリッド自動車および電気自動車などの、モータを駆動源として移動可能な電動車両の動力源となるモータであり、車輪（ホイールおよびタイヤ）を回転させるためのトルクを発生するモータである。なお、以下の説明では、モータを駆動源として移動可能な電動車両を、必要に応じて単に電動車両と称する。また、以下の説明では、 $0\% < A_5 \leq 90\%$ よりも好ましい振幅割合 A_5 の範囲として前述した範囲（例えば、 $20\% < A_5 \leq 80\%$ 、 $40\% \leq A_5 \leq 70\%$ 、および $45\% \leq A_5 \leq 55\%$ ）を、必要に応じて振幅割合 A_5 の好適範囲、または単に好適範囲と称する。

[0043] 図 3 は、基本波と第 5 次高調波との位相差 ϕ_5 （横軸）と電磁力 F （縦軸）との関係の一例を示す図である。なお、図 3 では、振幅割合 A_5 を 50% に固定している場合を例示する。以下の説明では、基本波と第 5 次高調波との位相差 ϕ_5 を、必要に応じて位相差 ϕ_5 と略称する。

図 3 において、破線 201、202 は、図 2 に示したものと同一である。すなわち、破線 201 は、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイ

ル 1 2 2 に供給した場合の電磁力 F の値である。破線 2 0 2 は、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合の電磁力 F の 0.9 倍の電磁力 F の値である。黒丸は、時間波形が基本波に第 5 次高調波を重畳させた時間波形である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合の電磁力 F を示す。なお、図 3 でも図 2 と同様に、電磁力 F を正規化して無次元量で表す（ただし、各図の電磁力 $F = 1.0$ [—] における電磁力 F の実際の値（単位を N とする値）は同じである）。

[0044] モータ M の半径方向における振動は、モータ M の半径方向における電磁力に対応する。したがって、位相差 ϕ_5 と電磁力 F との関係などから、位相差 ϕ_5 の範囲を定めることは、モータ M の振動を抑制する観点から効果的である。本発明者らは、図 2 および図 3 に示す結果などから、振幅割合 A_5 が 0% 超 90% 以下 ($0\% < A_5 \leq 90\%$) である場合には、位相差 ϕ_5 に関わらず、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合に比べて電磁力 F を低減させることができるが、振幅割合 A_5 が好適範囲である場合には、位相差 ϕ_5 を 80° 以上 106° 以下 ($80^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$) にすることにより、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合に比べて電磁力 F を 10% 以上低減させることができるので好ましいという知見を得た。また、本発明者らは、振幅割合 A_5 が好適範囲である場合には、位相差 ϕ_5 を 90° 超 106° 以下 ($90^\circ < \phi_5 \leq 106^\circ$) にすることにより、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合に比べて電磁力 F を 20% 以上低減させることができるのでより好ましいという知見を得た。さらに、本発明者らは、振幅割合 A_5 が好適範囲である場合、位相差 ϕ_5 を、 95° 以上 106° 以下 ($95^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$) にすれば、時間波形が基本波である励磁電流をステータコイル 1 2 2 に供給した場合に比べて電磁力 F を 25% 以上低減させることができるのでより一層好ましいという知見を得た。また、本発明者らは、振幅割合 A_5 が好適範囲である場合、位相差 ϕ_5 を、 103° 以上 106° 以下 ($103^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$) にすれば、電磁力 F を最小値付近にすることができる。

ので最も好ましいという知見を得た。

[0045] なお、前述したように図3では、振幅割合 A_5 を50%とした場合の位相差 ϕ_5 と電磁力 F との関係を示すが、電動車両駆動用モータを動作させることができる範囲内であれば、振幅割合 A_5 が50%以外の値であっても、電磁力 F を低減することができる好ましい位相差 ϕ_5 の範囲は、前述した範囲($80^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$ 、より好ましくは $90^\circ < \phi_5 \leq 106^\circ$ 、より一層好ましくは $95^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$ 、最も好ましくは $103^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$)であった。なお、以下の説明では、 $80^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$ 、より好ましくは $90^\circ < \phi_5 \leq 106^\circ$ 、より一層好ましくは $95^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$ 、最も好ましくは $103^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$ の範囲を、必要に応じて位相差 ϕ_5 の好適範囲、または単に好適範囲と称する。

[0046] 前述したように本調査では静磁界解析を行っているので、励磁電流の実効値(振幅)が同等(すなわちトルク T が同等)であれば、電磁力 F はモータ M の回転数に依存しない。したがって、図2および図3を参照しながら説明した結果は、モータ M の回転数に依存しない。よって、例えば、振幅割合 A_5 を0%超90%以下にすることにより、駆動用モータの回転数に関わらず駆動用モータの振動を低減することができる。このことから、例えば、駆動用モータの回転数に関わらず電動車両の乗り心地を改善することができる。また、例えば、振幅割合 A_5 を20%超80%以下にすると共に、位相差 ϕ_5 を 80° 以上 106° 以下にすることにより、駆動用モータの振動をより低減することができる。このことから、例えば、電動車両の乗り心地をより一層改善することができる。さらに、例えば、振幅割合 A_5 を20%超80%以下にすると共に、位相差 ϕ_5 を 90° 超 106° 以下にすることにより、駆動用モータの振動をより一層低減することができる。このことから、例えば、電動車両の乗り心地をより一層改善することができる。

[0047] なお、IPMモータなどの電動車両の駆動用モータとして一般的に使用される実用的な範囲においては、駆動用モータの振動を低減することができる振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 の範囲として前述した範囲($0\% < A_5 \leq 90\%$

、好ましくは $20\% < A_5 \leq 80\%$ 且つ $80^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$ など）が得られた。

[0048] また、本調査では、モータを動作させる電源が、スター結線（Y結線）の三相交流電源であり、且つ、ステータコイルの結線方法がスター結線である場合を例示した。しかしながら、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 を前述した範囲にすることが出来れば、モータを動作させる電源は、スター結線（Y結線）の三相交流電源に限定されない。また、ステータコイルの結線方法は、スター結線に限定されない。

[0049] 以下に説明する本発明の一実施形態は、以上の知見に基づいてなされたものである。

[0050] [実施形態]

以下、本発明の一実施形態を説明する。

図4は、処理装置400の機能的な構成の一例を示す図である。処理装置400のハードウェアは、例えば、プロセッサ（例えば中央処理装置）、記憶装置（例えば主記憶装置および補助記憶装置）、および各種のインターフェース装置を備える情報処理装置、または専用のハードウェアを用いることにより実現される。また、本実施形態では、不図示の電動車両が処理装置400を備える場合を例示する。ただし、処理装置400は、電動車両の外部に存在していても良い。このようにする場合、処理装置400は、例えば、電動車両が備える制御装置と無線通信を行っても良い。

[0051] 処理装置400は、モータMのステータコイル122に供給される励磁信号ESの時間波形である励磁波形を生成するための処理を行う。本実施形態では、処理装置400が、励磁波形として励磁電流の時間波形を生成する場合を例示する。励磁波形は、電気一周期の各時刻における励磁信号の値が特定されれば良い。各時刻は、任意の時間間隔で連続する時刻のそれぞれであっても良い。例えば、励磁波形を、電気一周期の各時刻における値とする場合、当該値から、各周期の各時刻における値が算出される。また、例えば、電気半周期の各時刻における値から、残りの半周期の各時刻における値を算

出する場合、励磁波形は、電気半周期の各時刻における値が特定されれば良い。また、モータMは、例えば、IPMモータなどの、電動車両の駆動用モータである。

[0052] <波形情報設定部401>

波形情報設定部４０１は、波形情報を設定する。波形情報は、基本波に第５次高調波を重畳させた励磁波形を生成するために必要な情報である。波形情報は、基本波に第５次高調波を重畳させた励磁波形の生成条件を示す情報であるともいえる。波形情報には、励磁波形に含める基本波を生成するための情報と、基本波に重畳させる第５次高調波を生成するための情報と、が含まれる。なお、設定とは、例えば、揮発性メモリおよび不揮発性メモリの少なくとも一方に記憶することを含む処理である。本実施形態では、波形情報設定部４０１が、この波形情報を、運転条件に基づいて設定する場合を例示する。また、本実施形態では、波形情報設定部４０１が、運転条件設定部４０１ａと、基本波情報設定部４０１ｂと、高調波情報設定部４０１ｃと、を有する場合を例示する。

[0053] <<運転条件設定部401a>>

本実施形態では、モータMを制御する電動車両の制御装置410が、モータMの運転条件OCを処理装置400に送信する場合を例示する。以下の説明では、モータMを制御する電動車両の制御装置410を、必要に応じて電動車両の制御装置410または単に制御装置410と称する。

[0054] 運転条件設定部401aは、電動車両の制御装置410から送信されたモータMの運転時の運転条件OCを取得して設定する。以下の説明では、モータMの運転時の運転条件を、必要に応じて単にモータMの運転条件と称する。運転条件設定部401aは、例えば、規定のタイミングで（例えば周期的に）モータMの運転条件OCを取得しても良い。また、運転条件設定部401aは、例えば、電動車両の制御装置410にモータMの運転条件OCの取得を要求して取得しても良い。運転条件設定部401aは、取得したモータMの運転条件OCが、当該モータMの運転条件OCの一つ前に取得したモータ

タMの運転条件OCと違う場合に、当該モータMの運転条件OCを基本波情報設定部401bおよび高調波情報設定部401cに出力する。モータMの運転条件OCには、例えば、モータMの速度指令値およびモータMのトルク指令値が含まれる。モータMの速度指令値は、モータMの回転速度の指令値である。モータMのトルク指令値は、モータMのトルクの指令値である。このように本実施形態では、モータMの運転条件OCに、モータMを動作させるための指令値が含まれる場合を例示する。

[0055] 運転条件設定部401aは、例えば、モータMの運転条件OCを、モータMを制御する電動車両の制御装置410から取得して設定する。電動車両の制御装置410は、例えば、モータMのトルクの実測値と目標値との差に応じたトルク指令値を生成しても良い。また、電動車両の制御装置410は、例えば、モータMの回転速度の実測値と目標値との差に応じた速度指令値を生成しても良い。モータMのトルクの目標値およびモータMの回転速度の目標値は、例えば、電動車両のアクセル開度および車速（の実測値）を用いることにより算出される。なお、運転条件設定部401aは、必ずしも、モータMの運転条件OCを、電動車両の制御装置410から取得する必要はない。例えば、モータMの運転条件OCは予め設定（スケジューリング）されていても良い。このような場合、運転条件設定部401aは、当該設定された運転条件OCを、例えば、処理装置400のユーザインターフェースのオペレータによる入力操作に基づいて取得しても良い。また、運転条件設定部401aが運転条件OCを算出しても良い。例えば、運転条件設定部401aは、電動車両のアクセル開度および車速などに基づいて、モータMのトルクの目標値およびモータMの回転速度の目標値を算出して設定しても良い。なお、アクセル開度および車速は、例えば、実測値である。

[0056] <<基本波情報設定部401b>>

基本波情報設定部401bは、運転条件設定部401aにより設定されたモータMの運転条件OCに基づいて、励磁波形に含める基本波を生成するための情報を取得して設定する。以下の説明では、励磁波形に含める基本波を

生成するための情報を、必要に応じて、基本波情報と称する。モータMの回転速度は、基本波の周波数（基本周波数 f_0 ）に対応する。モータMのトルクは、励磁電流の実効値 I_{rms} および進角 η に対応する。そこで、基本波情報設定部401bは、基本波の周波数（基本周波数 f_0 ）、励磁電流の実効値 I_{rms} 、および進角 η を、モータMの運転条件OCから算出することで取得しても良い。本実施形態では、基本波情報設定部401bが、基本波の周波数（基本周波数 f_0 ）、励磁電流の実効値 I_{rms} 、および進角 η を、モータMの運転条件OCに基づいて算出することで取得する場合を例示する。なお、進角 η が固定されている場合、基本波情報設定部401bは、進角 η を算出しなくても良い。

[0057] また、例えば、モータMの回転速度、トルク、および進角と、基本波の周波数（基本周波数 f_0 ）、励磁電流の実効値 I_{rms} 、および進角 η と、を相互に対応付けて記憶するルックアップテーブルを処理装置400に予め記憶させておいても良い。このようにする場合、基本波情報設定部401bは、モータMの速度指令値およびモータMのトルク指令値に対応する、基本波の周波数（基本周波数 f_0 ）、励磁電流の実効値 I_{rms} 、および進角 η を、当該ルックアップテーブルから読み出す。なお、進角が固定されている場合には、当該ルックアップテーブルに進角は記憶されていてもされていなくても良い。

[0058] <<高調波情報設定部401c>>

高調波情報設定部401cは、例えば、運転条件設定部401aにより設定されたモータMの運転条件OCと、予め記憶されている第5次高調波の情報と、に基づいて、基本波に重畳させる第5次高調波を生成するための情報を取得して設定する。以下の説明では、基本波に重畳させる第5次高調波を生成するための情報を、必要に応じて、高調波情報と称する。

[0059] 予め記憶されている第5次高調波の情報には、例えば、振幅割合 A_5 と位相差 ϕ_5 とが含まれる。後述するように本実施形態では、予め記憶されている第5次高調波の情報が、モータMの運転条件OC（モータMの速度指令値およ

びモータMのトルク指令値)と、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 と、を相互に対応付けて記憶するルックアップテーブルである場合を例示する。この場合、高調波情報は、ルックアップテーブルから読み出された振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 を含む。

[0060] <基本波に重畳させる高調波についての知見>の欄で説明したように本実施形態では、振幅割合 A_5 は、 $0\% < A_5 \leq 90\%$ の範囲から選択される。また、位相差 ϕ_5 は $0^\circ \leq \phi_5 < 360^\circ$ の範囲から選択される。また、振幅割合 A_5 は、例えば、 $20\% < A_5 \leq 80\%$ の範囲から選択されるのが好ましく、 $40\% \leq A_5 \leq 70\%$ の範囲から選択されるのがより好ましく、 $45\% \leq A_5 \leq 55\%$ の範囲から選択されるのがより一層好ましい。振幅割合 A_5 の範囲がこれらの範囲の場合、位相差 ϕ_5 は、例えば、 $80^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$ の範囲から選択されるのが好ましく、 $90^\circ < \phi_5 \leq 106^\circ$ の範囲から選択されるのがより好ましく、 $95^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$ の範囲から選択されるのがより一層好ましく、 $103^\circ \leq \phi_5 \leq 106^\circ$ の範囲から選択されるのが最も好ましい。

[0061] 振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 の値は、例えば、モータMの振動をどの程度抑制する必要があるかに応じて定められれば良い。例えば、モータMの運転条件OC（モータMの速度指令値およびモータMのトルク指令値）の範囲として想定される範囲において、図2および図3に示すような、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 と電磁力Fとの関係を調査しても良い。当該調査は、例えば、実際のモータMを使用した模擬実験や、実際のモータMを想定した電磁界解析を用いることにより行われる。以上のような調査を行う場合、当該調査の結果に基づいて、前述した範囲の中から、電磁力Fが可及的に小さくなる（好ましくは最小になる）振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 の値を選択しても良い。

[0062] また、以上のような調査の結果に基づいて、モータMの運転条件OC（モータMの速度指令値およびモータMのトルク指令値）と、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 と、を相互に対応付けて記憶するルックアップテーブルを処理装置

400に予め記憶させておいても良い。このようにする場合、高調波情報設定部401cは、モータMの速度指令値およびモータMのトルク指令値に対応する、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 を、当該ルックアップテーブルから読み出す。そして、高調波情報設定部401cは、当該ルックアップテーブルから読み出した振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 を、調波情報として設定する。本実施形態では、高調波情報設定部401cが、運転条件設定部401aにより設定されたモータMの運転条件OCに基づいて、当該ルックアップテーブルを参照することにより、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 を設定する場合を例示する。

[0063] ただし、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 を取得する方法は、前述した方法に限定されない。

例えば、モータMの運転条件OCに代えて、〈〈基本波情報設定部401b〉〉の欄で説明した基本波情報と、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 と、を相互に対応付けて記憶するルックアップテーブルを処理装置400に予め記憶させておいても良い。

また、高調波情報設定部401cは、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 として、モータMの速度指令値およびモータMのトルク指令値に関わらず同一の値を取得しても良い。このようにする場合、高調波情報設定部401cは、振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 を、例えば、処理装置400のユーザインターフェースのオペレータによる入力操作に基づいて取得しても良い。

[0064] 〈励磁波形生成部402〉

励磁波形生成部402は、モータMのステータコイル122に供給される励磁信号の時間波形である励磁波形として、基本波に第5次高調波を重畳させた励磁波形を生成する。また、励磁波形生成部402は、励磁波形に基づく励磁信号ESをモータMに供給する。

[0065] 本実施形態では、励磁波形生成部402は、基本波情報設定部401bにより設定された基本波情報（基本波の周波数（基本周波数 f_0 ）、励磁電流の実効値 I_{rms} 、および進角 η ）と、高調波情報設定部401cにより設定され

た高調波情報（振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 ）と、に基づいて、モータ M のステータコイル 1 2 2 に供給する励磁電流の励磁波形を生成する。具体的には、励磁波形生成部 4 0 2 は、基本波に第 5 次高調波を重畳させた励磁波形を有する励磁電流を、モータ M に励磁信号を供給する信号線に供給しても良い。また、励磁波形生成部 4 0 2 は、基本波の時間波形と第 5 次高調波の時間波形とを別々に生成し、基本波の時間波形と第 5 次高調波の時間波形とを位相差 ϕ_5 に基づく時間差だけずらして前述した信号線に供給しても良い。

[0066] 励磁波形生成部 4 0 2 は、基本波の振幅 I_0 および第 5 次高調波の振幅 I_5 として、基本波に第 5 次高調波を重畳させたときの励磁電流の実効値 I_{rms} が、基本波情報設定部 4 0 1 b により取得された励磁電流の実効値 I_{rms} に可及的に近くなり（好ましくは一致し）、且つ、基本波の振幅 I_0 に対する第 5 次高調波の振幅 I_5 の比を百分率で表した値が、高調波情報設定部 4 0 1 c により取得された振幅割合 A_5 に可及的に近くなる（好ましくは一致する）振幅を算出する。なお、基本波の周波数は、基本波情報設定部 4 0 1 b により取得される。また、第 5 次高調波の周波数は、基本波の周波数の 5 倍の周波数である。

[0067] 励磁波形生成部 4 0 2 は、以上のようにして振幅 I_0 および周波数が定まる基本波に対し、高調波情報設定部 4 0 1 c により取得された位相差 ϕ_5 だけ進み位相の第 5 次高調波であって、以上のようにして振幅 I_5 および周波数が定まる第 5 次高調波を、当該基本波に重畳させた時間波形を生成する。そして、励磁波形生成部 4 0 2 は、このようにして生成した時間波形に対して、基本波情報設定部 4 0 1 b により取得された進角 η に基づいて定められる位相差（励磁電圧に対する位相差）だけ位相をずらした時間波形を、励磁波形として生成する。

[0068] 例えば、PWM（Pulse Width Modulation）制御を実行する場合、励磁波形生成部 4 0 2 は、例えば、以下の処理を実行する。まず、励磁波形生成部 4 0 2 は、以上のようにして生成した励磁波形を有する変調波を生成する。励磁波形生成部 4 0 2 は、当該変調波と所定の搬送波（例えば三角波）とを

比較することによりパルス信号を生成して、当該パルス信号をモータMのステータコイル122に供給する。なお、励磁電流の生成方法は、PWM制御による方法に限定されず、その他の公知の方法で実現しても良い。例えば、励磁電流の生成方法は、PAM (Pulse Amplitude Modulation) 制御による方法でも良い。また、励磁波形生成部402は、前述したようにして生成した励磁波形の励磁電流をそのままモータMに供給しても良い。また、励磁波形生成部402は、前述したようにして生成した励磁波形の励磁電流を、モータMのインピーダンスを用いて、励磁電圧に変換してモータMに供給しても良い。すなわち、励磁波形生成部402が、前述したようにして生成した励磁波形に基づいてモータM（ステータコア121）を励磁するための励磁信号ESをモータM（ステータコイル122）に供給していれば、励磁信号の供給方法は限定されない。

以上のように本実施形態では、処理装置400が、モータMの動作を制御する制御装置としての役割を有する場合を例示する。

[0069] [フローチャート]

次に、図5のフローチャートを参照しながら、処理装置400を用いた本実施形態の処理方法の一例を説明する。

[0070] まず、ステップS501において、運転条件設定部401aは、モータMの運転条件OCを取得して設定する。図5のフローチャートでは、ステップS501において取得されるモータMの運転条件OCは、前回のステップS501において取得されたモータMの運転条件OCと異なるものとする。

次に、ステップS502において、処理装置400は、モータMの運転条件OCに基づいて、モータMの運転を終了するか否かを判定する。この判定の結果、モータMの運転を終了しない場合（ステップS502でNOの場合）、ステップS503の処理が実行される。ステップS503において、基本波情報設定部401bは、モータMの運転条件OCに基づいて、基本波情報（基本波の周波数（基本周波数 f_0 ）、励磁電流の実効値 I_{rms} 、および進角 η ）を算出して設定する。

[0071] 次に、ステップS504において、高調波情報設定部401cは、モータMの運転条件OCに対応する、高調波情報（振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 ）をルックアップテーブルから読み出して設定する。ステップS504で設定される振幅割合 A_5 は、0%超90%以下であれば良い。ただし、ステップS504で設定される振幅割合 A_5 は、例えば、20%超80%以下であるのが好ましく、40%以上70%以下であるのがより好ましく、45%以上55%以下であるのがより一層好ましい。また、ステップS504で取得される振幅割合 A_5 が、例えば、20%超80%以下である場合（好ましくは40%以上70%以下である場合、より好ましくは45%以上55%以下である場合）、ステップS504で取得される位相差 ϕ_5 は、例えば、80°以上106°以下であるのが好ましく、90°超106°以下であるのがより好ましく、95°以上106°以下であるのがより一層好ましく、103°以上106°以下であるのが最も好ましい。

[0072] 次に、ステップS505において、励磁波形生成部402は、基本波情報（基本波の周波数（基本周波数 f_0 ）、励磁電流の実効値 I_{rms} 、および進角 η ）と、高調波情報（振幅割合 A_5 および位相差 ϕ_5 ）と、に基づいて、モータMのステータコイル122に供給する励磁波形を生成し、当該励磁波形を有する励磁電流をモータMに供給する。

[0073] 前述したステップS502の判定の結果、モータMの運転を終了する場合（ステップS502でYESの場合）、ステップS506の処理が実行される。ステップS506において、励磁波形生成部402は、励磁電流のモータMへの供給を停止する。ステップS506の処理が終了すると、図5のフローチャートによる処理は終了する。

[0074] [処理装置400のハードウェア]

次に、処理装置400のハードウェアの一例について説明する。図6において、処理装置400は、CPU601、主記憶装置602、補助記憶装置603、通信回路604、信号処理回路605、画像処理回路606、I/F回路607、ユーザインターフェース608、ディスプレイ609、およ

びバス610を有する。

[0075] CPU601は、処理装置400の全体を統括制御する。CPU601は、主記憶装置602をワークエリアとして用いて、補助記憶装置603に記憶されているプログラムを実行する。主記憶装置602は、データを一時的に格納する。補助記憶装置603は、CPU601によって実行されるプログラムの他、各種のデータを記憶する。

[0076] 通信回路604は、処理装置400の外部との通信を行うための回路である。通信回路604は、処理装置400の外部と無線通信を行っても有線通信を行っても良い。

[0077] 信号処理回路605は、通信回路604で受信された信号や、CPU601による制御に従って入力した信号に対し、各種の信号処理を行う。

画像処理回路606は、CPU601による制御に従って入力した信号に対し、各種の画像処理を行う。この画像処理が行われた信号は、例えば、ディスプレイ7609に出力される。

ユーザインターフェース608は、オペレータOPが処理装置400に対して指示を行う部分である。ユーザインターフェース608は、例えば、ボタン、スイッチ、およびダイヤルなどを有する。また、ユーザインターフェース608は、ディスプレイ609を用いたグラフィカルユーザインターフェースを有していても良い。

[0078] ディスプレイ609は、画像処理回路606から出力された信号に基づく画像を表示する。I/F回路607は、I/F回路607に接続される装置との間でデータのやり取りを行う。図6では、I/F回路607に接続される装置として、ユーザインターフェース608およびディスプレイ609を示す。しかしながら、I/F回路607に接続される装置は、これらに限定されない。例えば、可搬型の記憶媒体がI/F回路607に接続されても良い。また、ユーザインターフェース608の少なくとも一部およびディスプレイ609は、処理装置400の外部にあっても良い。

[0079] なお、CPU601、主記憶装置602、補助記憶装置603、信号処理

回路605、画像処理回路606、およびI/F回路607は、バス610に接続される。これらの構成要素間の通信は、バス610を介して行われる。また、処理装置400のハードウェアは、前述した処理装置400の機能を実現することができれば、図6に示すハードウェアに限定されない。例えば、CPU601に代えてまたは加えてGPUがプロセッサとして用いられるても良い。

[0080] [まとめ]

以上のように本実施形態では、処理装置400は、基本波情報と高調波情報とを含む波形情報を設定する。処理装置400は、振幅割合 A_5 と位相差 ϕ_5 とを含む情報を、高調波情報として設定する。この際、処理装置400は、振幅割合 A_5 が20%超80%以下となるように、第5次高調波の振幅 I_5 を設定する。また、処理装置400は、基本波に対する第5次高調波の位相が進み位相となり、且つ、位相差 ϕ_5 が 80° 以上 106° 以下となるように、位相差 ϕ_5 を設定する。したがって、モータMの半径方向における振動の抑制効果を高めることが可能になる。

[0081] また、本実施形態では、処理装置400は、前述した波形情報に基づいて、基本波に第5次高調波を重畳させた励磁波形を生成する。したがって、波形情報の設定と励磁波形の生成とを一つの装置で実現することができる。よって、例えば、波形情報の設定と励磁波形の生成とを別々の装置で実現する場合に比べて、通信障害が生じる可能性を低減することと、通信インターフェースや通信ケーブルなどの構成要素を削減することと、が可能になる。ただし、処理装置400は、励磁波形を生成する励磁波形生成部402を備えていなくても良い。例えば、波形情報の設定と励磁波形の生成とを別々の装置で実現する場合には、個々の装置を別々の場所に設置することができると共に、波形情報の設定と励磁波形の生成とを一つの装置で実現する場合に比べて小型化することができる。よって、例えば、波形情報の設定と励磁波形の生成とを一つの装置で実現する場合に比べて、設置スペースによる制約を受けることを抑制することができる。

[0082] また、本実施形態では、処理装置400は、電動車両の動力源となるモータMのステータコイル122に供給する励磁信号の時間波形である励磁波形を生成するための処理を行う。したがって、電動車両の乗り心地を改善することができる励磁波形を生成することが可能になる。ただし、モータMの振動を抑制することは、電動車両の駆動用モータに限らず各種のモータMにおいて望まれる。したがって、本実施形態を適用するモータMは、電動車両の駆動用モータに限定されない。

[0083] なお、以上説明した本発明の実施形態で説明した処理装置および処理方法は、PLC (Programmable Logic Controller) により実現されても良いし、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) などの専用のハードウェアにより実現することができる。また、本発明の実施形態で説明した処理装置および処理方法は、コンピュータがプログラムを実行することによって実現しても良い。また、前記プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体および前記プログラムなどのコンピュータプログラムプロダクトも本発明の実施形態として適用することができる。なお、コンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、非一時的な記録媒体を表す。記録媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ROMなどを用いることができる。

また、以上説明した本発明の実施形態は、何れも本発明を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されてはならないものである。すなわち、本発明はその技術思想、またはその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。例えば、上述した実施形態では、処理装置400は、電動車両に搭載されており、電動車両の駆動用モータの励磁波形を生成するよう構成されているが、モータで回転させる回転体を有する例えば電動工具などの電動車両以外の他の装置（機器）に適用されても良い。

産業上の利用可能性

[0084] 本発明は、例えば、モータを励磁することに利用することができる。

請求の範囲

- [請求項1] モータのステータコイルに供給される励磁信号の時間波形である励磁波形を生成するための処理を行う処理装置であって、
- 基本波情報と、高調波情報と、を含む波形情報を設定する波形情報設定部を備え、
- 前記基本波情報は、前記励磁波形に含める基本波を生成するための情報であり、
- 前記高調波情報は、前記基本波に重畳させる第5次高調波を生成するための情報であり、
- 前記波形情報設定部は、前記高調波情報を設定する高調波情報設定部を有し、
- 前記高調波情報は、振幅割合 A_5 と、位相差 ϕ_5 と、を含み、
- 前記振幅割合 A_5 は、前記基本波の振幅 I_0 に対する前記第5次高調波の振幅 I_5 の比を百分率で表したものであり、
- 前記位相差 ϕ_5 は、前記基本波と前記第5次高調波との位相差であり、
- 前記高調波情報設定部は、前記振幅割合 A_5 が、20%超80%以下になるように、前記第5次高調波の振幅 I_5 を設定し、
- 前記高調波情報設定部は、前記基本波に対する前記第5次高調波の位相が、進み位相になり、且つ、前記位相差 ϕ_5 が、 80° 以上 106° 以下になるように、前記位相差 ϕ_5 を設定する、処理装置。
- [請求項2] 前記高調波情報設定部は、前記位相差 ϕ_5 が、 90° 超 106° 以下となるように、前記位相差 ϕ_5 を設定する、請求項1に記載の処理装置。
- [請求項3] 前記波形情報設定部により設定された波形情報に基づいて、前記励磁波形を生成する励磁波形生成部をさらに備え、
- 前記励磁波形生成部は、前記波形情報設定部により設定された波形情報に基づいて生成した励磁波形に基づく励磁信号を前記モータに供

給する、請求項 1 または 2 に記載の処理装置。

- [請求項4] 前記モータは、IPM (Interior Permanent Magnet) モータである、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の処理装置。
- [請求項5] 前記モータは、電動車両を駆動するモータである、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の処理装置。
- [請求項6] 請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の処理装置を備える、電動車両。
- [請求項7] モータのステータコイルに供給される励磁信号の時間波形である励磁波形を生成するための処理を行う処理方法であって、
基本波情報と、高調波情報と、を含む波形情報を設定する波形情報設定工程を備え、
前記基本波情報は、前記励磁波形に含める基本波を生成するための情報であり、
前記高調波情報は、前記基本波に重畳させる第 5 次高調波を生成するための情報であり、
前記波形情報設定工程は、前記高調波情報を設定する高調波情報設定工程を有し、
前記高調波情報は、振幅割合 A_5 と、位相差 ϕ_5 と、を含み、
前記振幅割合 A_5 は、前記基本波の振幅 I_0 に対する前記第 5 次高調波の振幅 I_5 の比を百分率で表したものであり、
前記位相差 ϕ_5 は、前記基本波と前記第 5 次高調波との位相差であり、
前記高調波情報設定工程は、前記振幅割合 A_5 が、20%超80%以下になるように、前記第 5 次高調波の振幅 I_5 を設定し、
前記高調波情報設定工程は、前記基本波に対する前記第 5 次高調波の位相が、進み位相になり、且つ、前記位相差 ϕ_5 が、 80° 以上 106° 以下になるように、前記位相差 ϕ_5 を設定する、処理方法。
- [請求項8] 請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の処理装置の前記波形情報設定

部としてコンピュータを機能させるためのプログラム。