

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6095004号
(P6095004)

(45) 発行日 平成29年3月15日(2017.3.15)

(24) 登録日 平成29年2月24日(2017.2.24)

(51) Int.Cl. F I
H O 2 P 23/14 (2006.01) H O 2 P 23/14

請求項の数 15 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2013-165182 (P2013-165182)	(73) 特許権者	509186579 日立オートモティブシステムズ株式会社 茨城県ひたちなか市高場2520番地
(22) 出願日	平成25年8月8日(2013.8.8)	(74) 代理人	110002365 特許業務法人サンネクスト国際特許事務所
(65) 公開番号	特開2015-35877 (P2015-35877A)	(74) 代理人	100084412 弁理士 永井 冬紀
(43) 公開日	平成27年2月19日(2015.2.19)	(72) 発明者	今西 裕人 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
審査請求日	平成28年3月9日(2016.3.9)	(72) 発明者	宮崎 英樹 茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

周方向に配置された複数のティースにコイルが巻回されてなる固定子と、周方向に配置された磁石を有し、前記固定子の径方向内側または外側に配設される回転子と、前記複数のティースの少なくとも一つに設けられた前記ティースのひずみを検出するひずみ検出部とを備えた回転電機と、

前記ひずみ検出部の検出値から前記ティース内の磁束を演算し、前記演算された前記ティース内の磁束、および、前記コイルに流れるコイル電流と前記演算された前記ティース内の磁束との位相差に基づいて前記磁石の残留磁束密度推定値を演算する制御部と、

を有する回転電機制御装置。

【請求項2】

請求項1に記載の回転電機制御装置において、

前記ひずみ検出部は、前記ティースの径方向に沿った向きのひずみを検出するように、前記ティースにおける回転軸方向端面のうちのいずれか一方に設けられている回転電機制御装置。

【請求項3】

請求項2に記載の回転電機制御装置において、

前記ひずみ検出部は、前記ティースの周方向中央に設けられる回転電機制御装置。

【請求項4】

請求項2または3に記載の回転電機制御装置において、

10

20

前記ひずみ検出部は、前記ディスクの先端側に設けられる回転電機制御装置。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置において、

直流電流を交流電流に変換して前記回転電機に供給するインバータ電源を備え、

前記制御部は、前記ひずみ検出部の検出値に基づいて前記磁石の残留磁束密度推定値を算出し、前記算出された前記残留磁束密度推定値に基づいて前記インバータ電源のスイッチング動作指令信号を演算して前記インバータ電源に出力する回転電機制御装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の回転電機制御装置において、

前記制御部は、前記残留磁束密度推定値とコイル電流とに基づいて前記回転電機のトルク推定値を演算するトルク推定演算部と、トルク要求値に基づいたトルク目標値を演算するトルク目標演算部と、前記トルク推定値が前記トルク目標値に一致するようにトルク指令を演算するトルク指令演算部とを備える回転電機制御装置。

10

【請求項 7】

請求項 6 に記載の回転電機制御装置において、

前記制御部は、前記トルク要求値を演算するトルク要求演算部を前記トルク推定演算部とは別に有し、

前記トルク推定演算部は、前記トルク要求演算部に比べて前記回転電機の近傍に設けられている回転電機制御装置。

【請求項 8】

20

請求項 5 に記載の回転電機制御装置において、

前記制御部は、前記残留磁束密度推定値に基づいて前記磁石の温度推定値を算出する磁石温度演算部を有し、前記磁石の温度推定値と基準温度より高い所定温度とを比較した結果により前記スイッチング動作指令信号を演算して出力する回転電機制御装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の回転電機制御装置において、

前記制御部は、トルク要求値を演算するトルク要求演算部を前記磁石温度演算部とは別に有し、

前記磁石温度演算部は、前記トルク要求演算部に比べて前記回転電機の近傍に設けられる回転電機制御装置。

30

【請求項 10】

請求項 8 または 9 に記載の回転電機制御装置において、

前記制御部は、前記温度推定値が前記所定温度以上になると、前記回転電機のトルクまたは回転数を低下させる電流指令を演算して出力する回転電機制御装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の回転電機制御装置において、

前記制御部は、前記磁石温度演算部で演算した前記温度推定値が前記所定温度以上になると前記回転電機のトルクまたは回転数を低下させる電流指令を演算する電流指令演算部と、前記電流指令に基づいて前記スイッチング動作指令信号を PWM パルスとして演算する PWM 演算部とを有する回転電機制御装置。

40

【請求項 12】

請求項 5 ~ 10 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置において、

前記制御部は、前記残留磁束密度推定値が所定値以下になると、前記回転電機のトルクまたは回転数を低下させるように前記スイッチング動作指令信号を演算して出力する回転電機制御装置。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の回転電機制御装置において、

前記制御部は、前記残留磁束密度推定値が所定値以下になると前記回転電機のトルクまたは回転数を低下させるように前記回転電機のトルクまたは回転数を低下させる電流指令を演算する電流指令演算部と、前記電流指令に基づいて前記スイッチング動作指令信号を

50

PWMパルスとして演算するPWM演算部とを有する回転電機制御装置。

【請求項14】

請求項5～13のいずれか一項に記載の回転電機制御装置において、

前記ティースの温度を検出する温度検出部を備え、

前記制御部は、前記温度検出部が検出した前記ティースの温度に基づいて、前記ひずみ検出部で検出したひずみの中から温度によるひずみ成分を除外するように、前記残留磁束密度推定値を補正して前記スイッチング動作指令信号を演算して出力する回転電機制御装置。

【請求項15】

回転電機の固定子を構成する複数のティースの少なくとも一つに設けられた前記ティースのひずみを検出するひずみ検出部からの検出値により前記ティース内の磁束を演算し、前記演算された前記ティース内の磁束、および、前記ティースに巻回されたコイルに流れるコイル電流と前記演算された前記ティース内の磁束との位相差に基づいて前記回転電機の回転子に設けられた磁石の残留磁束密度推定値を演算する制御部を有する回転電機制御装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機制御装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

電気自動車の車両駆動用回転電機において、磁石の温度変化に起因して、磁石の残留磁束密度が変化することによるトルク精度の悪化を防止する回転電機制御装置が知られている。例えば、特許文献1に記載の発明では、磁石の残留磁束密度の変化をd軸電流によって補正し、トルクを一定に保つようになっている。

【0003】

しかしながら、磁石は回転子に埋め込まれており、温度や磁束の大きさを直接計測することができない。またコイルの発熱は電気抵抗が原因で生じ、主に回転電機のトルクの増加に応じて大きくなるのに対し、磁石の発熱は磁石を貫く磁束の変化が原因で生じ、回転電機のトルクだけではなく、回転数が増加することによっても大きくなる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2000-224812号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

そのため、従来のコイル温度のみを計測する装置では、磁石の温度を検出できないことから、磁石の温度上昇による残留磁束密度の変化が検出できず、したがってトルク精度の悪化を防止できないという問題があった。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

請求項1の発明による回転電機制御装置は、周方向に配置された複数のティースにコイルが巻回されてなる固定子と、周方向に配置された磁石を有し、前記固定子の径方向内側または外側に配設される回転子と、前記複数のティースの少なくとも一つに設けられた前記ティースのひずみを検出するひずみ検出部とを備えた回転電機と、前記ひずみ検出部の検出値から前記ティース内の磁束を演算し、前記演算された前記ティース内の磁束、および、前記コイルに流れるコイル電流と前記演算された前記ティース内の磁束との位相差に

50

基づいて前記磁石の残留磁束密度推定値を演算する制御部と、を有する。

請求項 15 の発明による回転電機制御装置は、回転電機の固定子を構成する複数のティースの少なくとも一つに設けられた前記ティースのひずみを検出するひずみ検出部からの検出値により前記ティース内の磁束を演算し、前記演算された前記ティース内の磁束、および、前記ティースに巻回されたコイルに流れるコイル電流と前記演算された前記ティース内の磁束との位相差に基づいて前記回転電機の回転子に設けられた磁石の残留磁束密度推定値を演算する制御部を有する。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、磁石の温度による回転電機のトルク変動を抑制し、トルク精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】第1の実施の形態におけるモータ駆動装置の概略構成を示す図である。

【図2】第1の実施の形態におけるモータ2の概略構成を示す図である。

【図3】第1の実施の形態におけるモータ2の概略構成を示す図である。

【図4】第1の実施の形態におけるコイル24の発熱の傾向を示す図である。

【図5】第1の実施の形態における磁石21の発熱の傾向を示す図である。

【図6】第1の実施の形態におけるひずみセンサ15の検出値の傾向を示す図である。

【図7】第1の実施の形態における制御演算部8のブロック図である。

【図8】第1の実施の形態における制御演算部8の動作を示すフローチャートである。

【図9】第1の実施の形態における残留磁束密度演算部34のブロック図である。

【図10】第1の実施の形態における残留磁束密度演算部34の動作を示すフローチャートである。

【図11】第2の実施の形態におけるモータ駆動装置の概略構成を示す図である。

【図12】第2の実施の形態における制御演算部8のブロック図である。

【図13】第3の実施の形態におけるモータ駆動装置の概略構成を示す図である。

【図14】第3の実施の形態におけるモータ2の概略構成を示す図である。

【図15】第3の実施の形態における制御演算部8のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、図を参照して本発明を実施するための形態について説明する。本発明の回転電機の一例として、モータ、特にインナーロータモータについて説明する。

【0010】

- 第1の実施の形態 -

図1は、本発明の第1の実施の形態におけるモータ駆動装置100を搭載した電気自動車200の概略構成を示す図である。なお、図1の破線矢印は信号の流れを示している。電気自動車200は、バッテリー1と、モータ2と、インバータ電源3と、減速機4と、差動機構5と、駆動輪6と、制御演算部8と、制御演算部8に接続されている後述の各種センサ9～15とを備えている。また、モータ駆動装置100は、モータ2と、インバータ電源3と、制御演算部8を有する。

【0011】

インバータ電源3は、バッテリー1から供給される直流電流を、パルス幅変調(PWM)により三相交流電流に変換してモータ2に供給する。モータ2は、インバータ電源3から三相交流電流として供給された電気エネルギーを運動エネルギーに変換する。モータ2が運動エネルギーとして発生した動力は、減速機4に伝えられ、この減速機4内部のギア式の減速機構により減速された後に、差動機構5を介して左右の駆動輪6に伝えられ、車両を駆動する駆動力となる。

【0012】

10

20

30

40

50

駆動輪 6 の近傍には車両を制動させる制動装置 7 が設けられている。制動装置 7 には油圧倍力装置が備えられており、この油圧倍力装置が発生する油圧操作力で駆動輪 6 を押さえつけ、摩擦力を発生させる。これにより運動エネルギーを熱エネルギーに変換し、車両を制動する。制動装置 7 は、車両を制動することでモータ 2 の回転数を低下させることができる。

【 0 0 1 3 】

図 1 において、制御演算部 8 は CPU やメモリなどから構成され、後述するモータ制御プログラムを実行してモータ 2 および制動装置 7 を制御する。制御演算部 8 は、インバータ電源 3 に指令を送り、モータ 2 に印加する電流の大きさや、交流電流の周波数を変更させることで、モータ 2 が発生するトルクや、バッテリー 1 に充電される回生電力を変化させることができる。また、制御演算部 8 は、駆動輪 6 に発生させる摩擦力を変更させる指令（後述する制動力指令）を制動装置 7 に送ることで、制動装置 7 が発生する制動力を変化させることができる。

10

【 0 0 1 4 】

図 1 に示すように、制御演算部 8 には、車速を検出する車速センサ 9、アクセルペダル開度（アクセルペダルの操作量）を検出するアクセルセンサ 10、ブレーキペダル開度（ブレーキペダルの操作量）を検出するブレーキセンサ 11、モータ 2 の後述するコイル 24 に印加された電流を検出する電流センサ 12、モータ 2 の後述するロータ 20 の回転角を検出する回転角センサ 13、モータ 2 の後述するコイル 24 の温度を検出するコイル温度センサ 14、モータ 2 の後述するティース 26 のひずみを検出するひずみセンサ 15、などが接続されている。制御演算部 8 は、これら各種センサ 9 ~ 15 の信号に応じて、制動装置 7 を制御したり、インバータ電源 3 を介してモータ 2 を駆動制御したりする。

20

【 0 0 1 5 】

図 2 は、モータ 2 の軸方向断面図である。モータ 2 は、回転軸である A - A 軸を含む面に対して対称な構成を有しているため、図 2 では、A - A 軸より図示下方の構成について省略する。図 3 は、モータ 2 の軸方向に直交する断面図である。モータ 2 は、回転軸（不図示）に対して、回転対称性があるため、モータ 2 の一部のみを示している。モータ 2 は IPM (Interior Permanent Magnet) モータであって、ロータ 20 の内部に磁石 21 が埋め込まれている。ロータ 20 の両端は、ケース 22 に設けられた軸受 23 によって支持されている。ケース 22 の内周面にはステータ 25 が固定されている。ステータ 25 から内周方向に伸びたティース 26 には、U 相、V 相、W 相の 3 相巻線が Y 結線されたコイル 24 が、巻かれている。コイル 24 には、コイル 24 の温度を計測するためのコイル温度センサ 14（図 2）が取り付けられている。また、ティース 26 のうちの少なくとも 1 つに、ティース 26 のひずみを検出するひずみセンサ 15 が取り付けられている。ひずみセンサ 15 は、ティース 26 の回転軸方向端面のうちのいずれか一方に設けられている。ひずみセンサ 15 の使い方については、後述する。

30

【 0 0 1 6 】

モータ 2 において、運動エネルギーと電気エネルギーの間のエネルギー変換は、以下のように行われる。力行時には、三相交流電流の供給を受けて回転磁界を発生するコイル 24 とロータ 20 との間の磁気的作用によりロータ 20 が回転磁界の回転速度に同期して回転する。即ち、電気エネルギーが運動エネルギーに変換される。一方、回生時には、ロータ 20 の界磁磁束がロータ 20 の回転によってコイル 24 に鎖交することにより三相交流電流が発生する。即ち、運動エネルギーが電気エネルギーに変換される。

40

【 0 0 1 7 】

上述の運動エネルギーと電気エネルギーの間のエネルギー変換には磁石 21 の残留磁束密度が関わっている。磁石 21 の残留磁束密度の大きさは磁石 21 の温度に依存する。常温を基準温度として具体例を以下に示す。磁石 21 の温度が上昇すると、磁石 21 の残留磁束密度は小さくなる。反対に、磁石 21 の温度が低下すると、磁石 21 の残留磁束密度は大きくなる。常温に戻した時に、磁石の残留磁束密度の大きさが温度変化前の大きさに戻る場合と戻らない場合がある。前者は可逆減磁と呼ばれ、後者は不可逆減磁と呼ばれる

50

。以降においては、特に断りがない限り、可逆減磁の場合について述べる。

このように、磁石 2 1 の残留磁束密度は磁石 2 1 の温度によって変化する。磁石 2 1 の温度が異なると、コイル 2 4 に流れる電流が等しい場合でも、モータ 2 が出力するトルクの大きさが異なる。また、コイル 2 4 に印加される電流は、磁石 2 1 の温度が基準温度（たとえば、常温）のときにモータ 2 のエネルギー変換効率が最大となるように設計されているため、磁石 2 1 の温度が常温から変化するとモータ 2 のエネルギー変換効率が低下する分、出力トルクが低下してしまう。

【 0 0 1 8 】

コイル 2 4 は、電流が印加されると電気抵抗により発熱する。図 4 はコイル 2 4 の発熱の傾向を説明する図であり、モータ 2 の回転数・トルク特性（最大トルク）を示す曲線 L 1 にコイル 2 4 の発熱傾向（ライン L 1 1 ~ L 1 4）を重ねて示したものである。図 4 において縦軸はモータトルク、横軸はモータ回転数を表している。横軸より図示上方は力行側、図示下方は回生側を表している。また、太線で示すライン L 1 は常温におけるモータ 2 の最大トルクを表している。最大トルク L 1 は、各モータ回転数において出力可能なモータトルクを示しており、モータ 2 は最大トルクよりも内側の領域（ライン L 1 で囲まれた領域）で用いられる。

【 0 0 1 9 】

各ライン L 1 1 ~ L 1 4 は、コイル 2 4 の発熱量が同一の動作点を結んだ曲線であり、上述のように、これによりコイル 2 4 の発熱傾向が分かる。コイル 2 4 に印加される交流電流は、概ねモータトルクの大きさ（絶対値）に応じて変化する。そのため、コイル 2 4 の発熱量はモータトルクの大きさに応じて大きくなり、L 1 1 < L 1 2 < L 1 3 < L 1 4 の順に発熱量が大きくなっている。図 4 から分かるように、モータトルクが同じであれば、回転数が変化しても発熱量はほとんど変化しない。

【 0 0 2 0 】

一方、磁石 2 1 は、磁石 2 1 内に発生する渦電流によって発熱が起こる。磁石 2 1 の渦電流は、コイル 2 4 に発生する磁束が変化することによって起こり、その大きさは、コイル 2 4 内に発生する磁束の密度（磁束密度）の大きさと、モータ回転数、すなわち、磁束密度の時間変化に応じて変化する。図 5 は磁石 2 1 の発熱の傾向を説明する図であり、モータ 2 の最大トルクを示す曲線 L 1 に磁石 2 1 の発熱傾向（曲線 L 2 1 ~ L 2 4）を重ねて示したものである。図 4 と同様に、図 5 においても縦軸はモータトルク、横軸はモータ回転数を表している。横軸より図示上方は力行側、図示下方は回生側を表している。コイル 2 4 によって発生する磁束の密度（磁束密度）は、モータトルクの大きさに応じて大きくなる。また、モータ 2 の回転数が大きくなると磁束の変化が激しくなる。そのため、コイル 2 4 の磁束密度の大きさと時間変化に起因する渦電流に起因する磁石 2 1 の発熱量はモータトルクの大きさとモータ回転数に応じて変化する。図 5 に示すように、同一発熱量の動作点を結んだ曲線 L 2 1 ~ L 2 4 は複雑な形状となっている。図 5 においては、L 2 1 < L 2 2 < L 2 3 < L 2 4 の順に発熱量が大きくなっている。

【 0 0 2 1 】

上述したように、コイル 2 4 の発熱量はモータトルクの大きさに応じて変化するのに対して（図 4）、磁石 2 1 の発熱量はモータトルクの大きさとモータ回転数に応じて変化する（図 5）。従って、コイル 2 4 はモータトルクの大きさ（絶対値）が大きくなると発熱量が増え、コイル温度が高温になる。また、磁石 2 1 の場合には、モータトルクの大きさが大きくなったりモータ回転数が大きくなったりすると発熱量が増え、磁石温度が高温になる。

【 0 0 2 2 】

このようにコイル 2 4 と磁石 2 1 では発熱傾向が異なる。モータ 2 には、コイル 2 4 の温度を計測するコイル温度センサ 1 4 が設けられている。コイル温度センサ 1 4 によりコイル 2 4 の温度を測ることは可能だが、上述の発熱傾向の違いから、磁石 2 1 の温度や、磁石 2 1 の温度に応じた磁石 2 1 の残留磁束密度の変化を見積もることはできない。またコイル 2 4 は非回転部分であるステータ 2 5 に設けられているため、コイル温度センサ 1

10

20

30

40

50

4を容易に取り付けられるが、磁石21は回転部分であるロータ20に埋め込まれているため、直接温度センサや磁束センサなどを取り付けることが困難である。そのため、磁石21の残留磁束密度の変化によるトルク精度の悪化や効率の低下を防止するためには、磁石21に直接センサを設けることなく、高精度に磁石21の残留磁束密度の変化による影響を、推定する手段が必要である。

【0023】

そこで、第1の実施の形態では、図3に示すように、ティース26のひずみを検出するひずみセンサ15を設け、制御演算部8はひずみセンサ15の検出値の変化とコイル24に印加した電流波形から、ティース26内の磁束推定値を計算するようにした。これにより、後述するように磁石21に直接センサを設けることなく、磁石21の残留磁束密度の

10

【0024】

ティース26内の磁束の密度とティース26の径方向の引張応力には強い相関があるため、第1の実施の形態では、ひずみセンサ15はティース26の径方向の引張応力を検出するように設ける。また、ティース26には径方向の引張応力の他に、周方向の曲げ応力も生じる。ティース26の周方向の曲げ応力によるひずみは、コイル24の占積率やひずみセンサ15の取り付け位置により大きく変化し、ひずみセンサ15の取り付け位置などを精度よく取り付けないと、再現性や量産性などにおいて問題が生じる。そのため、本実施形態では、以下で示すように、周方向の曲げ応力を検出しないような検討を行った。

20

【0025】

具体的には、ひずみセンサ15はティース26の径方向の引張応力が検出でき、周方向の曲げ応力の影響が小さい位置に取り付けた。周方向の曲げ応力によるひずみは、ティース26の周方向中央から離れるほど大きくなる。そこで、第1の実施の形態におけるひずみセンサ15は、ティース26の周方向中央、すなわち、図3における、 $W1 = W2$ を満たす位置に取り付けた。また、周方向の曲げ応力によるひずみは、ティース26の径方向外側ほど大きくなる。そこで、第1の実施の形態におけるひずみセンサ15は、ティース26の先端側、すなわち、図3における、 $W3 < W4$ となる位置に取り付けた。これにより、ひずみセンサ15はティース26の周方向の曲げ応力による影響を受けることなく、径方向の引張応力によるひずみを検出できる。

30

【0026】

図6を参照して、ティースひずみと、コイル電流と、モータ回転角から磁石21の残留磁束密度を推定するアルゴリズムを説明する。

図6(a)は、コイル24の交流電流の波形を示す図である。図6(b)は、ティース26内の磁束の波形を示す図である。図6(c)は、ひずみセンサ15の検出値の波形を示す図である。図6(a)~(c)を用いて、コイル24の交流電流とひずみセンサ15の検出値との間の傾向を説明する。なお、ここで示すことは、後述する制御演算部8の動作に関する。

【0027】

図6(a)に示すコイル24の交流電流は、主にq軸成分からなる。また、コイル24による磁束も、主にq軸成分からなる。一方、図に示していないが、磁石21による磁束は主に、q軸成分と位相が90°ずれる成分、すなわち、d軸成分からなる。また、磁石21による磁束は、ロータ20の回転角に依存するものである。図6(b)のティース26内の磁束は、コイル24による磁束と、磁石21による磁束を合成したものである。q軸成分とd軸成分が合成されたものとなる。図6(c)に示すひずみセンサ15の検出値は、ティース26内の磁束の大きさの2乗に比例するので、図6(b)のゼロクロス

40

の時刻と、図6(c)の検出値がゼロとなる時刻が一致し、図6(b)の振幅(正負どちらの場合も含む)が最大となる時刻と、図6(c)の検出値が最大となる時刻が一致する。そのため、図6(c)に示す波形の周期は、図6(b)に示す波形の周期の2分の1となる。以上を踏まえて、磁石21の温度上昇による図6(b)、(c)の波形変化につい

50

て述べる。

【0028】

磁石21の残留磁束密度、および、ティース26内の磁束のうち磁石21の残留磁束密度に起因する磁束は、磁石21の温度に応じて変化する。また、上述のように、図6(b)に示すティース26内の磁束の波形は、コイル24による磁束(q軸成分)と、磁石21による磁束(d軸成分)からなる。温度上昇に伴って磁石21の残留磁束密度は小さくなり、ティース26内の磁束のうち磁石21による磁束(d軸成分)は減る。一方、ティース26内の磁束のうちコイル24による磁束(q軸成分)は、温度変化しない。その結果、図6(b)に示すように、磁石21による磁束(d軸成分)の分だけ、ティース26内の磁束の振幅は小さくなる。また、ティース26内の磁束の位相はコイル24による磁束(q軸成分)に近づく。図6(a)に示すコイル24の交流電流は、ティース26内の磁束のうちコイル24による磁束(q軸成分)と同位相であるので、図6(b)の位相が、図6(a)の位相に近づき、両者の位相差が小さくなる現象が見られる。

10

【0029】

図6(c)に示すひずみセンサ15の検出値は、図6(b)に示すティース26内の磁束の2乗に比例する。このことから、図6(b)に示すティース26内の磁束の振幅が小さくなると、図6(c)に示すように、ティース26のひずみの振幅も小さくなる。また、同じ理由で、図6(a)と図6(b)の波形の位相差が小さくなれば、図6(c)と図6(a)の位相差も小さくなる。

20

【0030】

以上の現象を利用して、第1の実施の形態における制御演算部8は、ひずみセンサ15の検出値の振幅の情報と、ロータ20の回転角の情報から、ティース26内の磁束推定値を得る。さらに、制御演算部8は、ひずみセンサ15の検出値の波形とコイル24に印加した電流波形の位相差の情報と、ティース26内の磁束推定値から、磁石21の残留磁束密度推定値を計算する。

【0031】

すなわち、コイル電流波形(図6(a))とティース内磁束波形(図6(b))の位相差は、磁石温度に依存する。ティース内磁束波形(図6(b))とひずみセンサ出力波形(図6(c))の位相は一致している。したがって、コイル電流波形(図6(a))とひずみセンサ出力波形(図6(c))との位相差は磁石温度に依存する。そこで、本発明では、コイル電流波形(図6(a))とひずみセンサ出力波形(図6(c))との位相差と、ティース内磁束とに基づいて磁石の残留磁束密度推定値を求める。

30

【0032】

ひずみセンサ15の検出値の出力波形の情報だけでなく、ロータ20の回転角の情報も用いて、ティース26内の磁束推定値を求めるのには、以下の理由がある。図6(b)に示すティース26内の磁束の波形から図6(c)に示すひずみセンサ15の検出値の出力波形を求めることは一意に決まる。しかし、反対に、図6(c)の波形から図6(b)の波形を求めようとすると、一意に決まらない。これは、図6(c)の波形は、図6(b)の波形の2乗したもから得られているため、その逆変換を行うことは、ある正数値の平方根を求めることを想像すれば容易にわかるように、正負2つの値が出てしまうためである。具体的には、図6(b)に示す実線の波形、または、当該波形と時間軸に対して対称な波形のいずれかを選択するという問題が生じる。そのため、これを解決するために、ロータ20の回転角の情報を用いて、上記波形のいずれかを選択する。

40

【0033】

以上で説明した、磁石21の残留磁束密度推定値の算出の流れについてまとめると、以下ようになる。すなわち、図6(c)に示すようなひずみセンサ15の検出値の情報と、ロータ20の回転角の情報から、図6(b)に示すようなティース26内の磁束の推定値が得られる。

【0034】

磁石21の残留磁束密度は、磁石21の温度に応じて変化する。磁石21の温度が上昇

50

すると、磁石 2 1 の残留磁束密度は小さくなる。反対に、磁石 2 1 の温度が低下すると、磁石 2 1 の残留磁束密度は大きくなる。このことから、磁石 2 1 の残留磁束密度から磁石 2 1 の温度推定値を算出することができる。そこで第 1 の実施の形態における制御演算部 8 は、磁石 2 1 の残留磁束密度推定値から、磁石 2 1 の温度推定値を算出する。

【 0 0 3 5 】

モータ 2 は運転状態に応じて発熱するので、その発熱によってモータ温度が過度に上昇すると、コイル 2 4 に塗布されているワニスが変質するおそれがある。また、磁石 2 1 がネオジム磁石である場合は、高温時に大きな逆磁場を受けると、その後常温に戻しても磁石 2 1 の残留磁束密度が回復しない減磁、すなわち、不可逆減磁を起こすおそれがある。従って、コイル 2 4 および磁石 2 1 を過度な温度上昇から保護する必要がある。以下では、過度な温度上昇を防止する方法について述べる。

10

【 0 0 3 6 】

上述したように、コイル 2 4 と磁石 2 1 では発熱傾向が異なるため、温度を下げるための望ましい対応が異なる。そこで、以下に示すように、コイル 2 4 が高温の場合と、磁石 2 1 が高温の場合とで、異なる方法を用いて、コイル 2 4 および磁石 2 1 の過度な温度上昇を防止する。

【 0 0 3 7 】

コイル 2 4 の過度な温度上昇を防止するためには、コイル温度に応じて発熱量すなわちモータトルクを制限すればよい。コイル温度が比較的低い場合には許容されるモータトルクは比較的大きく、ある温度以下では図 4 の最大トルクまで許容される。逆に、コイル温度が比較的高い場合には、許容されるモータトルクに制限がかかる。

20

【 0 0 3 8 】

一方、磁石 2 1 の発熱量はモータトルクの大きさ（絶対値）とモータ回転数に応じて変化し、発熱量一定のラインは図 5 に示すライン L 2 1 ~ L 2 4 のような形状となる。磁石 2 1 の過度な温度上昇を防止するためには、磁石 2 1 の温度に応じて、発熱量すなわちモータトルクとモータ回転数を制限する必要がある。

【 0 0 3 9 】

上述したように、磁石 2 1 の発熱は、モータトルクの大きさ（絶対値）とモータ回転数に応じて大きくなる。そのため、モータトルクを下げても、モータ回転数が大きい場合には、磁石 2 1 の温度が上昇する可能性がある。例えば、車両が下り勾配を走行中のような場合、すなわち、モータ回転数を増加させる負荷がロータ 2 0 に加わっている場合には、モータトルクをゼロに制限しても、車速すなわちモータ回転数は増加する。このとき、磁石 2 1 の発熱が大きくなり磁石温度は上昇を続ける。また、このような場合にモータトルクを調整してモータ回転数を下げようとする、モータトルクを回生側に増大させる必要がある。この場合も磁石 2 1 の発熱は増大する。

30

【 0 0 4 0 】

第 1 の実施の形態では、制御演算部 8 は、モータトルクをゼロとするようにインバータ電源 3 に指令を送ってもなお磁石 2 1 の算出温度が基準温度より高い所定温度を越えて上昇する場合には、車速すなわちモータ回転数を低下させるように制動装置 7 に指令を送る。これにより、モータ回転数を低下させ、磁石 2 1 の過度な温度上昇を避けることができる。

40

【 0 0 4 1 】

図 7 は第 1 の実施の形態における制御演算部 8 の構成を示す機能ブロック図である。図 8 は第 1 の実施の形態における制御演算部 8 の動作を示すフローチャートである。以下では、図 7 , 8 を用いて第 1 の実施の形態のモータ制御動作を説明する。なお、本説明の途中で図 9 及び図 1 0 も用いる。車両のイグニッションキースイッチ（不図示）がオンとなっている間、図 8 に示すモータ制御プログラムが繰り返し実行される。

【 0 0 4 2 】

図 7 に示すように、制御演算部 8 には、トルク要求演算部 3 0、制動力要求演算部 3 1、磁束演算部 3 2、トルク推定演算部 3 3、残留磁束密度演算部 3 4、磁石温度演算部 3

50

5、トルク制限演算部36、トルク目標演算部37、トルク指令演算部38、電流指令演算部39、PWM演算部40、制動力制限演算部41、制動力指令演算部42が設けられている。以下では、上述の各部が図8に示すモータ制御プログラム内でどのような動作をするか説明する。

【0043】

ステップS1では、車速センサ9が検出した車速信号と、アクセルセンサ10が検出したアクセル開度信号（アクセルペダルの踏み込み量に応じた信号）とに基づいて、トルク要求演算部30がモータ2のトルク要求値を計算する。具体的には、アクセルペダルのアクセル開度は車両としての出力要求値に比例するので、アクセル開度を出力要求値に換算する。そして、その出力要求値を車速で除算することで、車両の駆動力要求値、すなわちモータ2のトルク要求値を計算する。

10

【0044】

ステップS2では、ブレーキセンサ11が検出したブレーキ信号（ブレーキペダルの踏み込み量に応じた信号）に基づいて、制動力要求演算部31が制動装置7の制動力要求値を計算する。ブレーキ信号は車両としての制動力要求値に比例するので、ブレーキ信号を制動力要求値に換算する。なお、制動力要求値はモータトルク相当に換算されており、車両を減速させるように働くので負値となる。

【0045】

ステップS3では、回転角センサ13が検出したロータ20の回転角信号と、ひずみセンサ15が検出したティース26のひずみ信号とに基づいて、磁束演算部32がティース26内の磁束推定値を計算する。なお、図6の説明箇所ですべたとおり、ロータ20の回転角信号が、ティース26内の磁束波形の正負いずれかを選択する役割を担っている。

20

【0046】

ステップS4では、電流センサ12が検出したコイル24の電流信号と、磁束演算部32が計算するティース26内の磁束推定値とに基づいて、トルク推定演算部33がモータ2のトルク推定値を計算する。なお、モータ2のトルクは、コイル24内の交流電流の振幅と、ティース26内の磁束の振幅と、交流電流と磁束の位相差によって決まる。すなわち、モータ2のトルクは、コイル24の交流電流とティース26内の磁束を最大振幅と位相差による極形式で表記した場合の外積となる。

【0047】

ステップS5では、電流センサ12が検出したコイル24の電流信号と、磁束演算部32が計算するティース26内の磁束推定値とに基づいて、残留磁束密度演算部34が磁石21の残留磁束密度推定値を計算する。

30

【0048】

ここで、残留磁束密度演算部34と具体的な計算手順の詳細について、図9と図10を用いて説明する。図9は残留磁束密度演算部34の構成の詳細を示すブロック図である。図10は残留磁束密度演算部34の動作、すなわち、図8のステップS5の詳細を示すフローチャートである。残留磁束密度演算部34は、磁束振幅算出部50、電流振幅算出部51、位相差算出部52、および残留磁束密度算出部53を有する。図10のフローチャートを説明しながら上述の各部の動作を説明する。

40

【0049】

ステップS51では、磁束演算部32で計算されたティース26内の磁束推定値に基づいて、磁束振幅算出部50が磁束の最大振幅を算出する。ステップS52では、電流センサ12が検出したコイル24の電流信号に基づいて、電流振幅算出部51が交流電流の最大振幅を算出する。ステップS53では、電流センサ12が検出したコイル24の電流信号と、磁束演算部32が計算するティース26内の磁束推定値とに基づいて、位相差算出部52がティース26内の磁束とコイル24の交流電流との間の位相差を算出する。

【0050】

ステップS54では、磁束振幅算出部50が算出するティース26内の磁束推定値の最大振幅と、電流振幅算出部51が算出するコイル24の交流電流の最大振幅と、位相差算

50

出部 5 2 が算出するティース 2 6 内の磁束推定値とコイル 2 4 の交流電流との間の位相差とに基づいて、残留磁束密度算出部 5 3 が磁石 2 1 の残留磁束密度推定値を算出する。ティース 2 6 内の磁束の最大振幅と、コイル 2 4 の交流電流の最大振幅と、ティース 2 6 内の磁束とコイル 2 4 の交流電流との間の位相差を入力パラメータとし、磁石 2 1 の残留磁束密度を出力パラメータとしたときの対応関係は、制御演算部 8 が備えるメモリ内に数値マップとして格納されている。ステップ S 5 4 ではこの数値マップに基づいて、磁石 2 1 の残留磁束密度推定値を計算する。ステップ S 5 内の最終ステップであるステップ S 5 4 が終了すると、図 8 のステップ S 6 に進む。

【 0 0 5 1 】

図 8 に示すステップ S 6 では、残留磁束密度演算部 3 4 が出力した磁石 2 1 の残留磁束密度推定値に基づいて、磁石温度演算部 3 5 が磁石 2 1 の温度推定値を計算する。磁石 2 1 の残留磁束密度を入力パラメータとし、温度を出力パラメータとしたときの対応関係は、制御演算部 8 が備えるメモリ内に数値マップとして格納されている。ステップ S 6 ではこの数値マップに基づいて、磁石 2 1 の温度推定値を計算する。

【 0 0 5 2 】

ステップ S 7 では、回転角センサ 1 3 が検出したロータ 2 0 の回転角信号と、コイル温度センサ 1 4 が検出したコイル 2 4 の温度と、磁石温度演算部 3 5 が出力した磁石 2 1 の温度推定値とに基づいて、コイル 2 4 と磁石 2 1 を過度な温度上昇から保護するためのトルク制限処理をトルク制限演算部 3 6 が実行する。回転角センサ 1 3 が検出したロータ 2 0 の回転角信号からモータ 2 の回転数推定値が算出される。コイル 2 4 の温度と磁石 2 1 の温度とモータ 2 の回転数を入力パラメータとし、トルク制限値を出力パラメータとしたときの対応関係は、制御演算部 8 が備えるメモリ内に数値マップとして格納されている。ステップ S 7 ではトルク制限演算部 3 6 が、この数値マップに基づいてトルク制限値を計算する。

【 0 0 5 3 】

ステップ S 8 では、トルク要求演算部 3 0 が出力したモータ 2 のトルク要求値と、トルク制限演算部 3 6 が出力したモータ 2 のトルク制限値とに基づいて、トルク目標演算部 3 7 がトルク目標値を計算する。トルク制限として、力行側と回生側にそれぞれ、力行側トルク制限値と回生側トルク制限値が設けられている。力行側トルク制限値と回生側トルク制限値に挟まれたトルク範囲（トルク制限範囲）にトルク要求値が位置する場合は、トルク要求値がトルク目標値となる。力行側で、かつ、トルク制限範囲の外にトルク要求値が位置する場合は、力行側トルク制限値がトルク目標値となる。回生側で、かつ、トルク制限範囲の外にトルク要求値が位置する場合は、回生側トルク制限値がトルク目標値となる。

【 0 0 5 4 】

ステップ S 9 では、トルク目標演算部 3 7 が出力したモータ 2 のトルク目標値と、トルク推定演算部 3 3 が出力したモータ 2 のトルク推定値とに基づいて、トルク指令演算部 3 8 がモータ 2 のトルク指令値を算出する。具体的には、トルク推定値とトルク目標値が等しい場合には、現行のトルク指令値を維持する。トルク推定値がトルク目標値よりも大きい場合には、トルク推定値をトルク目標値に近づけるためにトルク指令値を現行のトルク指令値よりも低くする。トルク推定値がトルク目標値よりも小さい場合には、トルク推定値をトルク目標値に近づけるためにトルク指令値を現行のトルク指令値よりも高くする。このように、トルク推定値がトルク目標値と一致するようにトルク指令演算部 3 8 がトルク指令値を算出する。

【 0 0 5 5 】

ステップ S 10 では、トルク指令演算部 3 8 が出力したモータ 2 のトルク指令値と、残留磁束密度演算部 3 4 が出力した磁石 2 1 の残留磁束密度推定値と、回転角センサ 1 3 が検出したロータ 2 0 の回転角信号とに基づいて、電流指令演算部 3 9 がコイル 2 4 の電流指令値を計算する。回転角センサ 1 3 が検出したロータ 2 0 の回転角信号からモータ 2 の回転数推定値が算出される。モータ 2 の回転数とトルクおよび磁石 2 1 の残留磁束密度を

10

20

30

40

50

入力パラメータとし、コイル 2 4 の電流を出力パラメータとしたときの対応関係は、制御演算部 8 が備えるメモリ内に数値マップとして格納されている。電流指令演算部 3 9 は、この数値マップに基づいて、コイル 2 4 の電流指令値を計算する。

【 0 0 5 6 】

ステップ S 1 1 では、電流指令演算部 3 9 が出力した電流指令値と、電流センサ 1 2 で検出されるコイル 2 4 の電流信号と、回転角センサ 1 3 で検出されたロータ 2 0 の回転角信号とに基づいて、PWM 演算部 4 0 は、パルス幅変調 (P W M) 方式によりインバータ電源 3 のスイッチ素子のオンオフ P W M パルスを生成して出力する。

【 0 0 5 7 】

ステップ S 1 2 では、車速センサ 9 で検出された車速信号と、磁石温度演算部 3 5 が出力した磁石 2 1 の温度推定値と、トルク推定演算部 3 3 が出力したモータ 2 のトルク推定値とに基づいて、磁石 2 1 を過度な温度上昇から保護するための制動装置 7 の制動力制限値を制動力制限演算部 4 1 が計算する。磁石 2 1 の温度が所定温度以上であり、かつモータ 2 のトルクがゼロであるにも関わらず車速が上昇する場合には、車速が車速制限値以下となる指令値を制動力制限値とする。上記以外の場合には、制動力要求値をゼロとする。磁石 2 1 の推定温度とトルク推定値と車速信号とを入力パラメータとし、車速制限値を出力パラメータとしたときの対応関係は、制御演算部 8 が備えるメモリ内に数値マップとして格納されている。制動力制限演算部 4 1 がこの数値マップに基づいて、車速制限値を計算する。これにより、モータ回転数を低下させ、磁石 2 1 の過度な温度上昇を避けることができる。

【 0 0 5 8 】

ステップ S 1 3 では、制動力要求演算部 3 1 が出力した制動力装置 7 の制動力要求値と、制動力制限演算部 4 1 が出力した制動装置 7 の制動力制限値とに基づいて、制動力指令演算部 4 2 が制動装置 7 へ送信する制動力指令値を計算する。

【 0 0 5 9 】

以上説明した制御演算部 8 の各部をまとめると以下のとおりである。

- (1) トルク要求演算部 3 0 は、アクセル開度と車速からトルク要求値を演算する。
- (2) 磁束演算部 3 2 は、ティースひずみおよび回転角を用いてティース内磁束を演算する。
- (3) トルク推定値演算部 3 3 は、ティース内磁束とコイル電流からトルク推定値を演算してトルク目標演算部 3 7 に出力する。
- (4) 残留磁束密度演算部 3 4 は、ティース内磁束、および、コイル電流と前記演算されたティース内の磁束の位相差から残留磁束密度推定値を演算する。
- (5) 磁石温度演算 3 5 は、残留磁束密度推定値から磁石温度推定値を演算する。
- (6) トルク制限演算部 3 6 は、コイル温度、回転角信号、磁石温度推定値の 3 つの信号からトルク制限値を演算する。
- (7) トルク目標演算部 3 7 は、トルク要求値がトルク制限値を超えないようにトルク目標を演算する。
- (8) トルク指令演算部 3 8 は、トルク推定値がトルク目標値に一致するようにトルク指令を演算する。
- (9) 電流指令演算部 3 9 は、トルク指令値と、回転角と、磁石温度推定値の 3 つの信号を使用して電流指令を演算する。
- (1 0) P W M 演算部 4 0 は、電流指令と、コイル電流と、回転角の 3 つの信号を使用して P W M パルスであるスイッチング動作指令を演算する。
- (1 1) 制動力演算部 3 1 は、ブレーキ開度信号から制動力要求を演算する。
- (1 2) 制動力制限演算部 4 1 は、車速信号と、磁石温度推定値と、トルク推定値の 3 つの信号を使用して制動力制限値を演算する。
- (1 3) 制動力指令演算部 4 2 は、制動力要求と制動力制限値から制動力指令を演算する。

【 0 0 6 0 】

以上で説明した第1の実施の形態におけるモータ2またはモータ駆動装置100は、以下のような作用効果を奏する。

(1)モータ2のティース26にひずみセンサ15が設けられていることにより、ティース26の磁気吸引力によるひずみが検出できる。さらに、ティース26のひずみと、ロータ20の回転角とからティース26内の磁束推定値が求められる。さらに、ティース26内の磁束とコイル24の電流から、磁石21の残留磁束密度推定値が求められる。

【0061】

(2)ティース26のひずみセンサ15がティース26の径方向のひずみを検出するようにしたことにより、コイル24の占積率やひずみセンサ15の取り付け位置によって変化しない径方向のひずみを高精度に検出することができ、磁気吸引力によるひずみが精度よく検出できる。

10

【0062】

(3)ティース26のひずみセンサ15がティース26の周方向中央に設けられるようにしたことにより、周方向の曲げ応力による径方向成分が少なくなり、磁気吸引力によるひずみが精度よく検出できる。

(4)ティース26のひずみセンサ15がティース26の先端側に設けられたことにより、曲げ応力が小さくなり、磁気吸引力によるひずみが精度よく検出できる。

【0063】

(5)回転電機駆動装置100は、回転電機2と、直流電流を交流電力に変換して回転電機に供給するインバータ電源3と、インバータ電源3のスイッチング動作指令信号を演算する制御演算部8とを備え、制御演算部8は、ひずみ検出センサ15の検出値に基づいて磁石21の残留磁束密度推定値を算出する残留磁束密度推定値演算部34を有する。制御演算部8は、残留磁束密度推定値演算部34で演算された残留磁束密度推定値に基づいてスイッチング動作指令信号を演算してインバータ電源3に出力する。すなわち、モータ2のティース26に設けたひずみセンサ15の検出値に基づいて磁石21の残留磁束密度推定値が残留磁束密度推定値演算部34により求められる。モータ駆動制御装置100は、磁石21の残留磁束密度推定値に基づいてスイッチング動作指令信号を演算してモータ2を駆動制御する。これにより、トルク精度を向上させることができる。

20

【0064】

(6)制御演算部8は、残留磁束密度推定値とコイル電流とに基づいて回転電機2のトルク推定値を演算するトルク推定演算部33と、トルク要求値に基づいたトルク目標値を演算するトルク目標演算部37と、トルク推定値がトルク目標値に一致するようにトルク指令を演算するトルク指令演算部38とを備える。モータ駆動装置100が磁石21の残留磁束密度推定値とコイル24の電流に基づいて算出されたトルク推定値とトルク目標値が一致するようにモータ2を駆動制御するようにしたことにより、トルク精度を向上させることができる。

30

【0065】

- 第1の実施の形態の変形例 -

第1の実施の形態を以下のように変形して実施形してもよい。

モータ駆動装置100の制御演算部8は、磁石温度演算部35で算出した磁石21の温度推定値を基準温度より高い所定温度と比較し、その比較結果によりモータ2を駆動制御するようにしてもよい。

40

【0066】

たとえば、上述の磁石21の温度推定値が所定値以上になると、モータ駆動装置100がモータ2のトルクまたは回転数を低下させるようにモータ2を駆動制御するようにしてもよい。

【0067】

あるいはまた、上述の磁石21の残留磁束密度推定値が所定値以下になると、モータ駆動装置100がモータ2のトルクまたは回転数を低下させるようにモータ2を駆動制御するようにしてもよい。

50

変形例の回転電機駆動装置において、制御演算部 8 は、残留磁束密度推定値に基づいて磁石 2 1 の温度推定値を算出する磁石温度演算部 3 5 を有し、温度推定値を基準温度より高い所定温度と比較した結果によりスイッチング動作指令信号を演算して出力するようにした。たとえば、制御演算部 8 は、温度推定値が所定温度以上になると、回転電機 2 のトルクまたは回転数を低下させるようにスイッチング動作指令信号を演算して出力する。以上の変形例によれば、磁石 2 1 やコイル 2 4 の過度な温度上昇を抑制することができる。

【 0 0 6 8 】

- 第 2 の実施の形態 -

図 1 1 は、本発明の第 2 の実施の形態におけるモータ駆動装置 1 0 0 を搭載した電気自動車 2 0 0 の概略構成を示す図である。図 1 2 は第 2 の実施の形態における制御演算部 8 の構成を示すブロック図である。第 2 の実施の形態は、上述した第 1 の実施の形態の制御演算部 8 の構成を変更したものである。図 1、図 7 に示す要素と同様の要素に対しては同一の符号を付し、以下では相違点を中心に説明する。

10

【 0 0 6 9 】

第 2 の実施の形態における制御演算部 8 は、モータ 2 に印加する電流の大きさや交流電流の周波数を演算する第 1 の制御演算部 6 1 と、モータ 2 のトルク要求値を演算する第 2 の制御演算部 6 2 から構成される。第 1 の制御演算部 6 1 と第 2 の制御演算部 6 2 は、それぞれ別の CPU やメモリで構成されている。

【 0 0 7 0 】

第 2 の制御演算部 6 2 は主に、モータ 2 によらない演算を実行する。第 2 の制御演算部 6 2 には、車速センサ 9、アクセルセンサ 1 0、ブレーキセンサ 1 1、などが接続されている。第 2 の制御演算部 6 2 はモータ 2 のトルク要求値を演算し、第 1 の制御演算部 6 1 に送信する。

20

【 0 0 7 1 】

第 1 の制御演算部 6 1 は主に、モータ 2 に固有の演算を実行する。第 1 の制御演算部 6 1 には、電流センサ 1 2、回転角センサ 1 3、コイル温度センサ 1 4、ひずみセンサ 1 5、などが接続されている。第 1 の制御演算部 6 1 は、第 2 の制御演算部 6 2 が送信したトルク要求値から、モータ 2 に印加する電流の大きさや交流電流の周波数を演算し、インバータ電源 3 へ指令するとともに、モータ 2 のトルクや、磁石 2 1 の温度を演算し、第 2 の制御演算部 6 2 へ送信する。

30

【 0 0 7 2 】

このように、モータ 2 に固有の演算を行う第 1 の制御演算部 6 1 と、モータ 2 によらない演算を行う第 2 の制御演算部 6 2 を別に構成することで、プログラムのメンテナンス性を向上させることができる。例えば車両のスペックが変更になり、モータ 2 の特性が変わった場合には、第 1 の制御演算部 6 1 のみを修正すればよい。

【 0 0 7 3 】

第 2 の実施の形態における制御演算部 8 は、第 1 の制御演算部 6 1 を、第 2 の制御演算部 6 2 に比べてモータ 2 の近傍に設け、電流センサ 1 2、回転角センサ 1 3、コイル温度センサ 1 4、ひずみセンサ 1 5 の検出値に基づいて、モータ 2 のトルクや、磁石 2 1 の温度を演算し、第 2 の制御演算部 6 2 へ送信する。これにより、ひずみセンサ 1 5 や電流センサ 1 2 の検出値が、通信遅れや通信ノイズの影響を受けることなく、モータ 2 のトルクや、磁石 2 1 の温度を演算することができる。

40

【 0 0 7 4 】

- 第 3 の実施の形態 -

図 1 3 は、本発明の第 3 の実施の形態におけるモータ駆動装置 1 0 0 を搭載した電気自動車 2 0 0 の概略構成を示す図である。図 1 4 は第 3 の実施の形態におけるモータ 2 の構成を示す図である。図 1 5 は第 3 の実施の形態における制御演算部 8 の構成を示すブロック図である。第 3 の実施の形態では、上述した第 1 の実施の形態の一部の構成を変更したものである。図 1、図 2、図 7 に示す要素と同様の要素に対しては同一の符号を付し、以下では相違点を中心に説明する。

50

【 0 0 7 5 】

第3の実施の形態におけるモータ2は、ティース26の温度を検出するティース温度センサ71を備えている。第3の実施の形態における磁束演算部32は、回転角センサ13が検出したロータ20の回転角信号と、ひずみセンサ15が検出したティース26のひずみ信号と、ティース温度センサ71が検出したティース26の温度に基づいて、ティース26内の磁束推定値を計算する。ティース26の応力とひずみの関係はティース26のヤング率に依存する。またティース26のヤング率は、ティース26の温度に依存し、温度が高くなるとヤング率は低下する。第3の実施の形態における磁束演算部32は、ティース温度センサ71が検出したティース26の温度を用いて、ひずみセンサ15で検出したひずみのうち、温度によるひずみ成分を除外するようにティース26内の磁束推定値を補正することにより、ティース26の温度の影響を受けることなく、ティース26内の磁束推定値を高精度に算出できる。

10

【 0 0 7 6 】

以上、本発明をインナーロータモータに適用した例で説明してきたが、本発明は、アウターロータモータにおいても同様に適用できる。アウターロータモータにおいても、ひずみセンサ15は、ティースの先端側に取り付けられるのが望ましい。ただし、アウターロータモータでは、ロータがステータの外周側に配置されるので、ティースの先端側は径方向外側となる。ひずみセンサ15がティースの周方向の中央に取り付けられることは、アウターロータモータにおいてもインナーロータモータと同様である。

20

【 0 0 7 7 】

以上で説明した実施形態では、本発明を車両の唯一の駆動源とする電気自動車の駆動システムに適用した場合を例に挙げている。しかし、本発明は、鉄道車両や建設車両などの電動車両、内燃機関であるエンジンと電動機とを車両の駆動源とする電動車両、例えばハイブリッド自動車（乗用車）、ハイブリッドトラックなどの貨物自動車、ハイブリッドバスなどの乗り合い自動車などの制御装置にも適用することができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 8 】

- 1 : バッテリ
- 2 : モータ
- 3 : インバータ電源
- 4 : 減速機
- 5 : 差動機構
- 6 : 駆動輪
- 7 : 制動装置
- 8 : 制御演算部
- 9 : 車速センサ
- 10 : アクセルセンサ
- 11 : ブレーキセンサ
- 12 : 電流センサ
- 13 : 回転角センサ
- 14 : コイル温度センサ
- 15 : ひずみセンサ
- 20 : ロータ
- 21 : 磁石
- 22 : ケース
- 23 : 軸受
- 24 : コイル
- 25 : ステータ
- 26 : ティース
- 30 : トルク要求演算部
- 31 : 制動力要求演算部
- 32 : 磁束演算部
- 33 : トルク推定演算部
- 34 : 残留磁束密度演算部
- 35 : 磁石温度演算部
- 36 : トルク制限演算部
- 37 : トルク目標演算部
- 38 : トルク指令演算部
- 39 : 電流指令演算部
- 40 : P W M 演算部
- 41 : 制動力制限演算部
- 42 : 制動力指令演算部
- 50 : 磁束振幅算出部
- 51 : 電流振幅算出部
- 52 : 位相差算出部
- 53 : 残留磁束密度算出部
- 61 : 第1の制御演算部
- 62 : 第2の制御演算部
- 71 : ティース温度センサ
- 100 : モータ駆動装置
- 200 : 電気自動車

30

40

【図1】

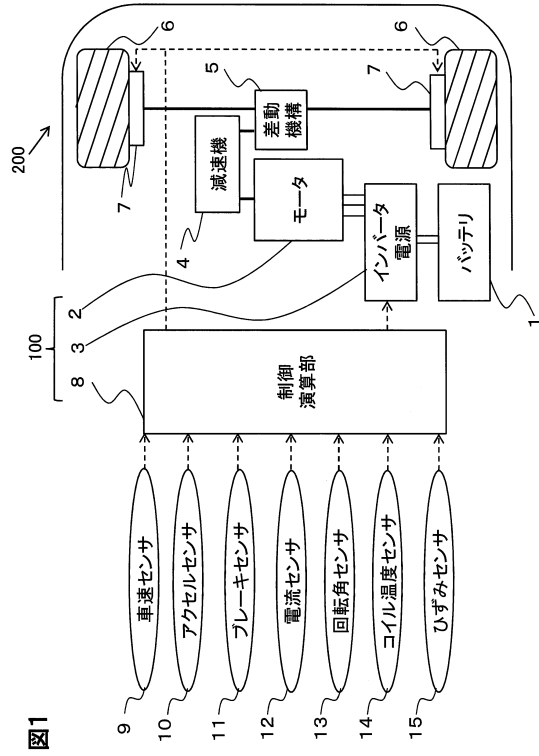


図1

【図2】

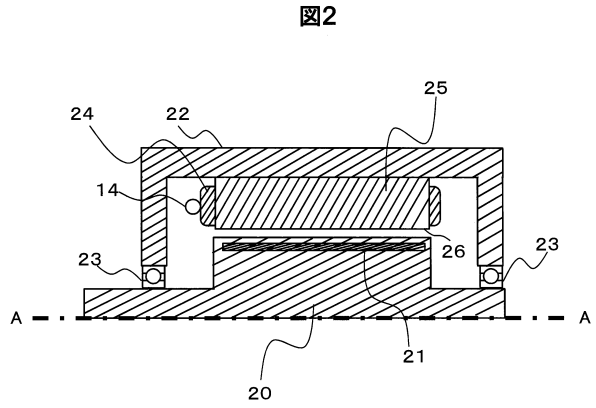


図2

【図3】

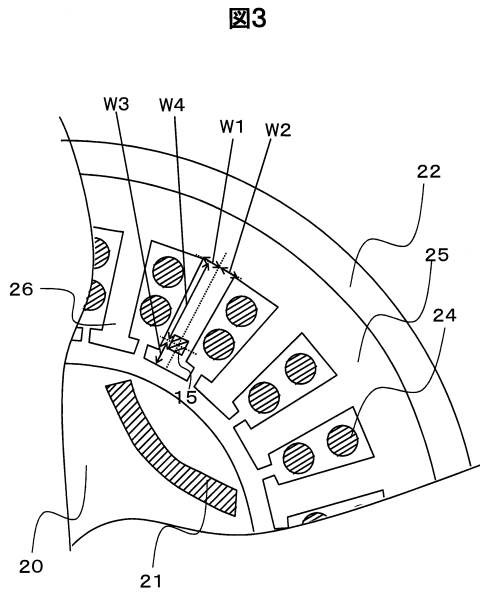


図3

【図4】

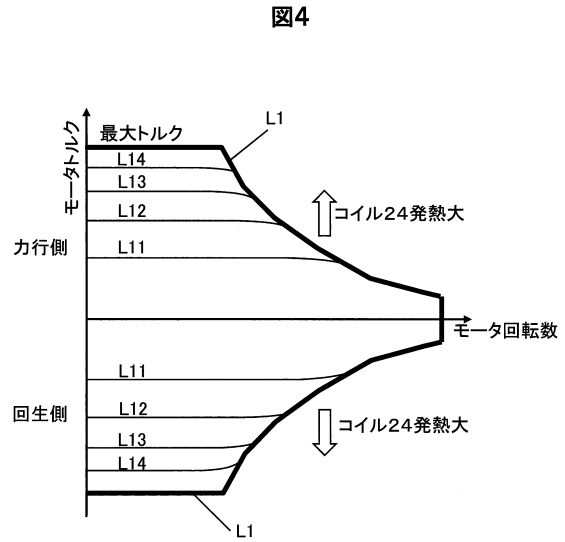
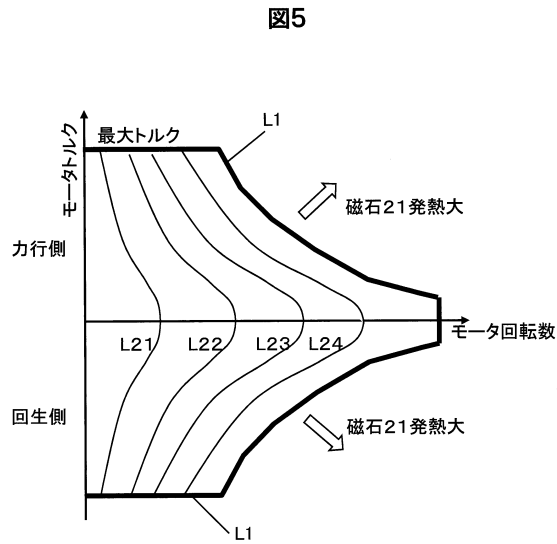
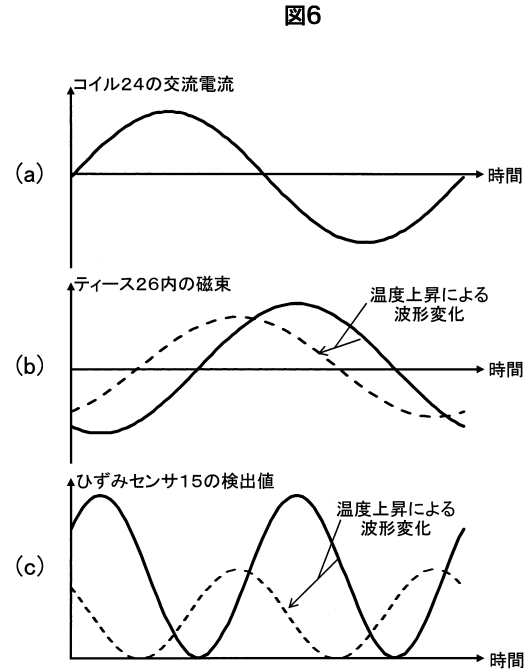


図4

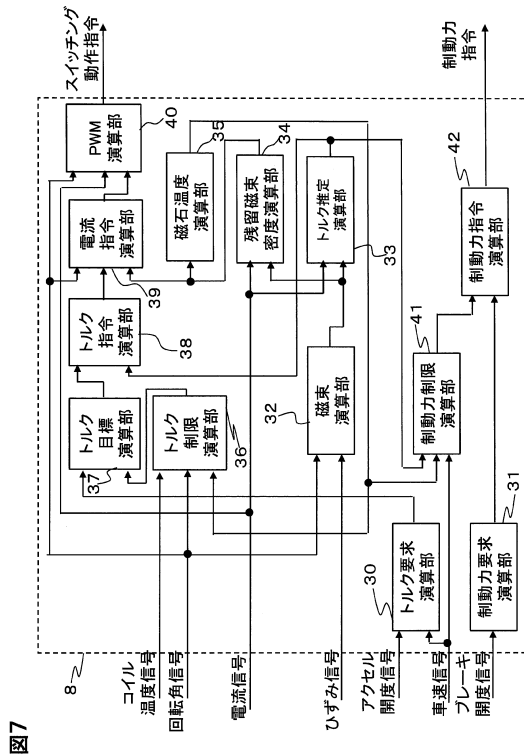
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

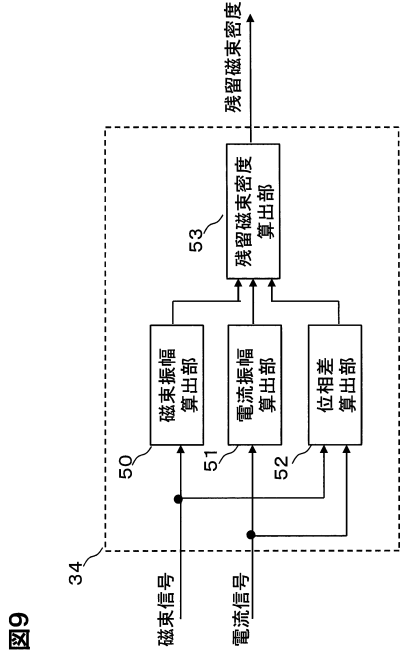


図9

【 図 10 】

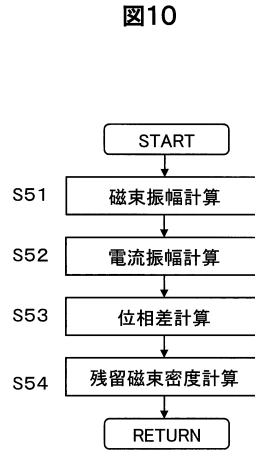


図10

【 図 11 】

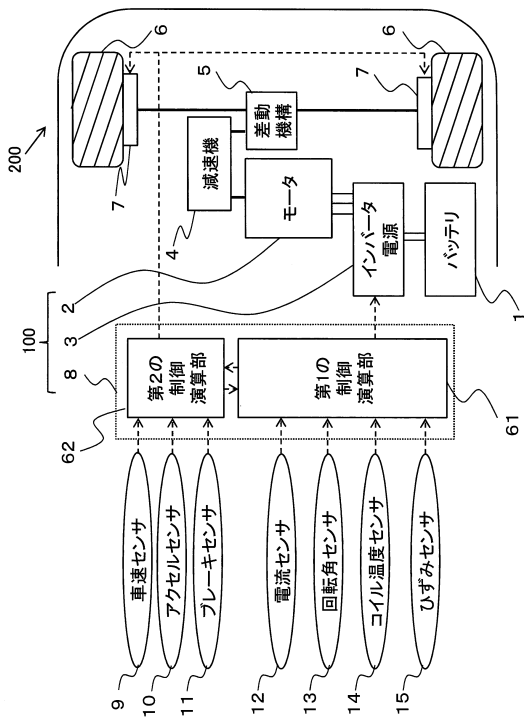


図11

【 図 12 】

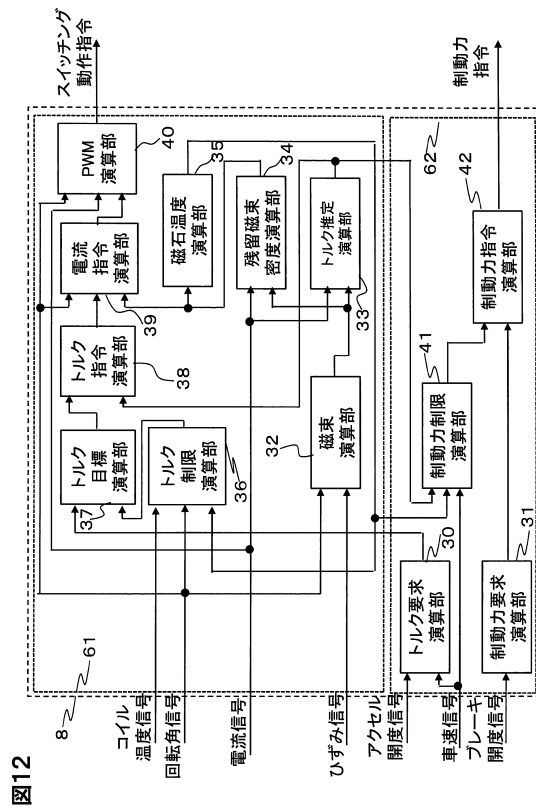


図12

【 図 1 3 】

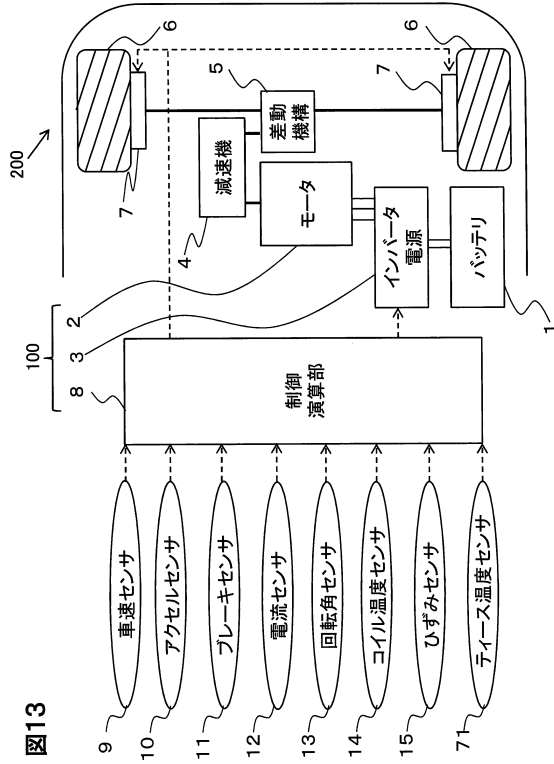


図13

【 図 1 4 】

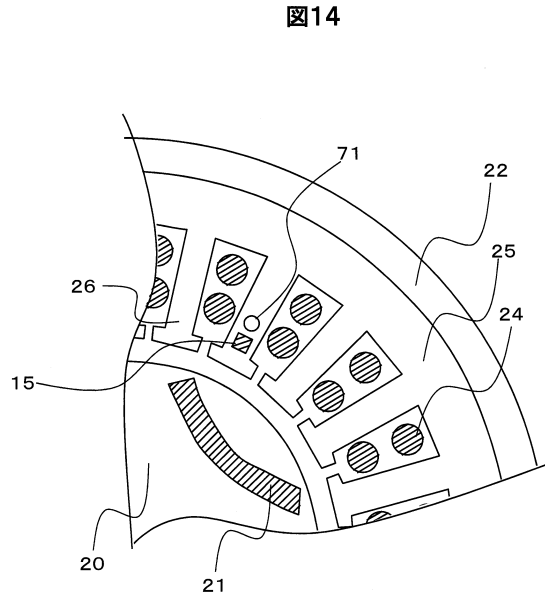


図14

【 図 1 5 】

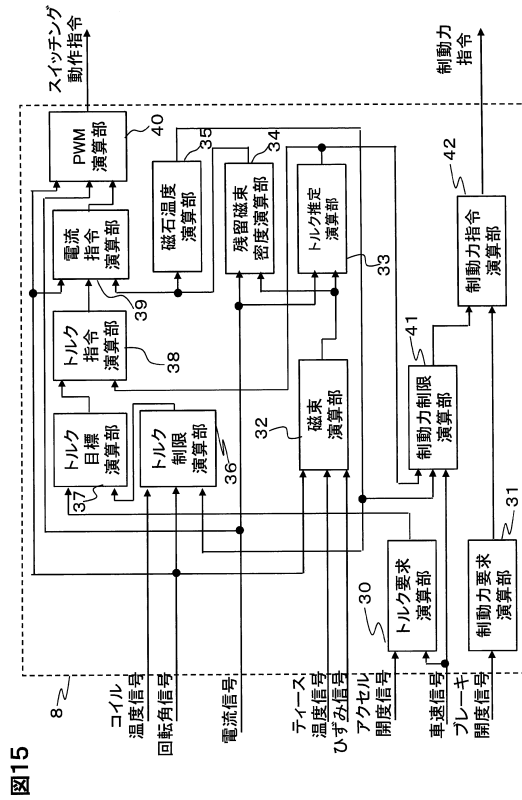


図15

フロントページの続き

- (72)発明者 星野 勝洋
茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内
- (72)発明者 鈴木 康介
茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内
- (72)発明者 安部 元幸
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

審査官 尾家 英樹

- (56)参考文献 特開2004-222387(JP,A)
特開平10-052087(JP,A)
特開2011-114909(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 21/00 - 31/00