

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6428519号
(P6428519)

(45) 発行日 平成30年11月28日 (2018.11.28)

(24) 登録日 平成30年11月9日 (2018.11.9)

(51) Int.Cl.		F I	
H O 2 P	29/66	(2016.01)	H O 2 P 29/66
H O 2 K	11/25	(2016.01)	H O 2 K 11/25
G O 1 K	13/08	(2006.01)	G O 1 K 13/08 A

請求項の数 11 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2015-143341 (P2015-143341)	(73) 特許権者	000003997
(22) 出願日	平成27年7月17日 (2015.7.17)		日産自動車株式会社
(65) 公開番号	特開2017-28803 (P2017-28803A)		神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(43) 公開日	平成29年2月2日 (2017.2.2)	(74) 代理人	110002468
審査請求日	平成29年12月19日 (2017.12.19)		特許業務法人後藤特許事務所
		(74) 代理人	100075513
			弁理士 後藤 政喜
		(74) 代理人	100120260
			弁理士 飯田 雅昭
		(74) 代理人	100148231
			弁理士 村瀬 謙治
		(74) 代理人	100185878
			弁理士 植田 晋一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁石温度推定システム、モータ、及び、磁石温度推定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

固定子コイルを備える固定子と、永久磁石を備える回転子とからなるモータ、及び、前記永久磁石の温度を推定する磁石温度推定装置を有する、磁石温度推定システムであって、

前記回転子は、

前記永久磁石の磁束の少なくとも一部と鎖交する磁石コイルと、

前記磁石コイルと接続されるとともに、前記永久磁石と接触するように設けられるサーミスタと、を有し、

前記磁石温度推定装置は、

前記回転子を回転駆動させる駆動周波数の交流電力を前記固定子コイルに印加する電力供給部と、

前記駆動周波数とは周波数が異なる測定周波数の交流電力を前記駆動周波数の交流電力に重畳させる重畳部と、

前記測定周波数の電力に基づいてインピーダンスを測定し、前記測定したインピーダンスに応じて前記永久磁石の温度を推定する温度推定部と、を有する、

ことを特徴とする磁石温度推定システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の磁石温度推定システムであって、

前記サーミスタは、所定の温度領域において抵抗値が急激に変化する、

10

20

ことを特徴とする磁石温度推定システム。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の磁石温度推定システムであって、

前記サーミスタは、キュリー温度を上回ると抵抗値が急激に増加する PTC サーミスタである、

ことを特徴とする磁石温度推定システム。

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 に記載の磁石温度推定システムであって、

前記サーミスタは、キュリー温度を上回ると抵抗値が急激に減少する CTR サーミスタである、

ことを特徴とする磁石温度推定システム。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の磁石温度推定システムであって、

前記サーミスタは、キュリー温度が前記永久磁石の不可逆消磁温度よりも低く、

前記磁石温度推定装置は、前記温度推定部により推定される前記永久磁石の温度に応じて、前記電力供給部により前記固定子コイルに印加される交流電力を制限する磁石保護部を、さらに有する、

ことを特徴とする磁石温度推定システム。

【請求項 6】

請求項 1 又は 2 に記載の磁石温度推定システムであって、

前記サーミスタは、PTC サーミスタ、及び、CTR サーミスタを互いに並列に接続することにより構成され、

前記 PTC サーミスタは、キュリー温度が CTR サーミスタのキュリー温度よりも低く、

前記 CTR サーミスタは、キュリー温度が前記永久磁石の不可逆消磁温度よりも低く、
前記磁石温度推定装置は、前記温度推定部により測定されるインピーダンスの上昇を検知すると、前記固定子コイルへの電力の供給を制限し、前記インピーダンスの下降を検知すると、前記固定子コイルへの電力の供給を停止する磁石保護部を、さらに有する、

ことを特徴とする磁石温度推定システム。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の磁石温度推定システムであって、

前記サーミスタと前記永久磁石とは、熱伝導部材により接合される、

ことを特徴とする磁石温度推定システム。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の磁石温度推定システムであって、

前記固定子には、前記永久磁石を配置するための空隙が形成され、

前記永久磁石は、前記空隙において熱伝導樹脂によりモールドされる、

ことを特徴とする磁石温度推定システム。

【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の磁石温度推定システムであって、

前記サーミスタは、前記永久磁石の表面のうち前記モータの回転時に温度が最も高くなる場所に設けられる、

ことを特徴とする磁石温度推定システム。

【請求項 10】

固定子コイルを備える固定子と、永久磁石を備える回転子とを有し、磁石温度推定装置によって、前記回転子を回転駆動させる駆動周波数とは周波数が異なる測定周波数の交流電力が重畳された前記駆動周波数の交流電力が印加され、前記測定周波数の交流電力に基づいて測定されるインピーダンスに応じて前記永久磁石の温度が推定されるモータであって、

前記回転子は、

10

20

30

40

50

前記永久磁石の磁束の少なくとも一部と鎖交する磁石コイルと、
前記磁石コイルと接続されるとともに、前記永久磁石と接触するように設けられるサーミスタと、を有する、
ことを特徴とするモータ。

【請求項 11】

固定子コイルを備える固定子と、永久磁石を備える回転子とにより構成され、前記回転子は、前記永久磁石の磁束の少なくとも一部と鎖交する磁石コイルと、前記磁石コイルと接続されるとともに、前記永久磁石と接触するように設けられるサーミスタと、を有するモータにおいて、前記永久磁石の温度を推定する磁石温度推定方法であって、

前記回転子を回転駆動させる駆動周波数の交流電力を前記固定子コイルに印加する電力供給ステップと、

前記駆動周波数とは周波数が異なる測定周波数の交流電力を前記駆動周波数の交流電力に重畳させる重畳ステップと、

前記測定周波数の電力に基づいてインピーダンスを測定し、前記測定したインピーダンスに応じて前記永久磁石の温度を推定する温度推定ステップと、を有する、

ことを特徴とする磁石温度推定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁石温度推定システム、モータ、及び、磁石温度推定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

同期電動機の一つとして、回転子に永久磁石を備える永久磁石型のモータが知られている。このような永久磁石型のモータにおいては、固定子に設けられた固定子コイルは電力が印加されると回転磁界が発生し、回転磁界が永久磁石に作用することにより、回転子が固定子内にて回転する。

【0003】

一般に、モータの回転速度が速くなるほど、回転子に設けられた永久磁石の温度が上昇する。また、永久磁石は、ある上限温度を超えると不可逆に消磁してしまい磁力を失ってしまうことが知られている。そのため、永久磁石の温度を測定し、永久磁石が上限温度に達しないようにモータの回転速度を制限する必要がある。

【0004】

しかしながら、永久磁石の温度を測定するために温度センサを用いると、温度センサを回転子に組み込む必要があるため、モータの小型化が困難になる。そこで、温度センサを用いずに永久磁石の温度を推定する方法が検討されている。例えば、特許文献1には、モータに印加される電流と、固定子にて発生する誘起電圧とを用いて、永久磁石の温度を推定する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2007-6613号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1に開示された方法では、モータの回転速度が遅い場合には、誘起電圧が小さくなるため、永久磁石の温度の推定精度が悪くなるという課題がある。

【0007】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、モータの回転子が備える永久磁石の温度の推定精度を向上させることができる、磁石温度推定システム、モータ、及び、磁石温度推定方法を提供することである。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の磁石温度推定システムは、固定子コイルを備える固定子と、永久磁石を備える回転子とからなるモータ、及び、永久磁石の温度を推定する磁石温度推定装置を有する。回転子は、永久磁石の磁束の少なくとも一部と鎖交する磁石コイルと、磁石コイルと接続されるとともに、永久磁石と接触するように設けられるサーミスタと、を有する。磁石温度推定装置は、回転子を回転駆動させる駆動周波数の交流電力を固定子コイルに印加する電力供給部と、駆動周波数とは周波数が異なる測定周波数の交流電力を駆動周波数の交流電力に重畳させる重畳部と、測定周波数の電力に基づいてインピーダンスを測定し、測定したインピーダンスに応じて永久磁石の温度を推定する温度推定部と、を有する。

10

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、磁石温度推定装置により測定される測定周波数でのインピーダンスは、永久磁石の温度と相関関係があることが知られている。そのため、測定周波数でのインピーダンスを測定することにより、永久磁石の温度を推定することができる。

【0010】

また、モータの回転時には、磁石コイルと鎖交する回転磁界の磁束量の変化に起因して誘起電力が発生し、サーミスタに電流が流れる。ここで、サーミスタは、ある温度範囲を上回ると抵抗値が大きく変わるような温度特性を有している。また、サーミスタは永久磁石と隣接するように設けられているため、サーミスタと永久磁石とは温度が同じであるとみなすことができる。したがって、測定周波数でのインピーダンスと永久磁石の温度との相関関係にサーミスタの温度特性が影響を及ぼすことになる。そのため、測定周波数でのインピーダンスの単位温度あたりの変化量が大きくなり、測定周波数でのインピーダンスと永久磁石の温度との相関関係が顕著になる。したがって、磁石温度推定装置が、永久磁石の温度がサーミスタの抵抗値の変化量が大きく変わる温度範囲に達したか否かの判定を確実に行うことができるようになるため、永久磁石の温度の推定精度を向上させることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、第1実施形態による磁石温度推定システムの概略構成図である。

30

【図2】図2は、モータの断面図である。

【図3】図3は、磁石部の概略構成図である。

【図4】図4は、PTCサーミスタの温度特性を示す図である。

【図5】図5は、磁石温度推定装置のシステム構成図である。

【図6】図6は、一般的なモータをモデル化した等価回路を示す図である。

【図7】図7は、高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係を示すグラフである。

【図8】図8は、本実施形態のモータをモデル化した等価回路を示す図である。

【図9】図9は、高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係を示すグラフである。

40

【図10】図10は、第2実施形態にて用いられるCTRサーミスタの温度特性を示す図である。

【図11】図11は、高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係を示すグラフである。

【図12】図12は、第3実施形態にて用いられる並列サーミスタの温度特性を示す図である。

【図13】図13は、高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係を示すグラフである。

【図14A】図14Aは、第4実施形態のモータの断面図である。

【図14B】図14Bは、図14Aに示した磁石部の概略構成図である。

50

【図 1 5 A】図 1 5 A は、第 5 実施形態のモータの断面図である。

【図 1 5 B】図 1 5 B は、図 1 5 A に示した磁石部の概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。

【0013】

(第 1 実施形態)

本発明の第 1 実施形態による磁石温度推定システムについて説明する。

【0014】

図 1 は、第 1 実施形態による磁石温度推定システムの概略構成図である。

10

【0015】

磁石温度推定システム 100 は、モータ 1 と、磁石温度推定装置 2 とにより構成される。

【0016】

モータ 1 は、3 相で動作する永久磁石型の回転同期機 (PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor) である。モータ 1 は、中空円柱状の固定子 11 と、固定子 11 の中空部に回転可能に設けられた回転子 12 とにより構成されている。

【0017】

固定子 11 は、固定子コイルを備えており、所定の駆動周波数の交流電力が固定子コイルに供給されると所定のタイミングで回転磁界を発生する。

20

【0018】

回転子 12 は、永久磁石を備えている。固定子 11 の固定子コイルにより発生する回転磁界が永久磁石に作用することにより、固定子コイルと永久磁石とが誘引または反発することで回転駆動力が発生して、回転子 12 が固定子 11 内で回転する。

【0019】

磁石温度推定装置 2 は、モータ 1 に駆動周波数の交流電力を供給するとともに、モータ 1 の回転子 12 が備える永久磁石の温度を推定する。

【0020】

次に、図 2 を参照して、モータ 1 の詳細な構成について説明する。

30

【0021】

図 2 は、モータ 1 の断面図である。

【0022】

モータ 1 の固定子 11 には、固定子 11 の軸方向に貫通するスロット 21 が、固定子 11 の周方向に等間隔に複数形成されている。このように固定子 11 にスロット 21 を複数形成することにより、隣接するスロット 21 の間にティース 22 が構成される。そして、ティース 22 を巻回するように、固定子コイル 23 が設けられている。

【0023】

回転子 12 においては、軸方向に延在する空隙 24 が形成されており、空隙 24 に磁石部 25 が挿入されている。磁石部 25 は、略対向するように対をなしており、対をなした磁石部 25 が、周方向に等間隔に設けられる。略対向する磁石部 25 は、対向面が同じ極性となるように配置される。また、略対向する磁石部 25 と、その隣にて略対向する磁石部 25 とは、互いの対向面の極性が異なるように配置される。具体的には、図 2 に示すように、略対向する磁石部 25 A と磁石部 25 B の隣に略対向する磁石部 25 C 及び磁石部 25 D が設けられている場合には、磁石部 25 A と磁石部 25 B の対向面が N 極であれば、磁石部 25 C と 25 D の対向面が S 極となる。

40

【0024】

固定子コイル 23 は、磁石温度推定装置 2 から交流電力が印加されると回転磁界を発生させる。固定子コイル 23 による回転磁界の方向は印加される交流電力の位相に応じて変化するため、固定子コイル 23 と回転子 12 の磁石部 25 とが誘引と反発とを交互に繰り返す。

50

返すことで回転駆動力が発生し、固定子 1 1 内で回転子 1 2 が回転する。

【 0 0 2 5 】

次に、図 3 を参照して、磁石部 2 5 の詳細な構成について説明する。

【 0 0 2 6 】

図 3 は、磁石部 2 5 の概略構成図である。図 3 における上下方向は、回転子 1 2 の軸方向、すなわち、図 2 における紙面に向かう方向を示している。

【 0 0 2 7 】

磁石部 2 5 は、回転子 1 2 の軸方向に積層された複数の永久磁石 3 1 により構成されている。例えば、モータ 1 が高効率の運転が求められる電動自動車などに用いられる場合には、磁石部 2 5 は、複数の永久磁石 3 1 により構成されることが多い。固定子コイル 2 3 が印加される交流電流に応じた回転磁界を発生させると、回転子 1 2 の磁石部 2 5 の表面において渦電流が発生して損失が発生してしまう。そこで、磁石部 2 5 を複数の永久磁石 3 1 により構成することにより、磁石部 2 5 を 1 つの永久磁石により構成する場合と比較すると、表面積を小さくすることができる。このようにすることで、渦電流の経路が短くなり、渦電流による損失を低減することができる。

【 0 0 2 8 】

また、磁石部 2 5 においては、永久磁石 3 1 の磁束の少なくとも一部と鎖交するように磁石コイル 3 2 が巻回されている。また、永久磁石 3 1 と隣接するようにサーミスタ 3 3 が設けられており、サーミスタ 3 3 と磁石コイル 3 2 とは接続されている。なお、永久磁石 3 1 とサーミスタ 3 3 とは熱伝導性が高い接着部材 3 4 により接合されている。なお、接着部材 3 4 は、例えば、アルミナや、窒化アルミニウム、窒化ホウ素などの熱伝導性に優れた材料がフィラーとして含有された接着剤である。

【 0 0 2 9 】

サーミスタ 3 3 は、所定の温度領域を上回ると抵抗値が急激に変化する性質を有する電子部材である。本実施形態においては、サーミスタ 3 3 は、PTC (Positive Temperature Coefficient) サーミスタであり、ある温度範囲を超えると抵抗値が急激に大きくなる温度特性を有する。PTC サーミスタの詳細な温度特性について、図 4 を用いて説明する。

【 0 0 3 0 】

図 4 は、PTC サーミスタの温度特性を示す図である。横軸に温度が示されており、縦軸に抵抗値が常用対数で示されている。図 4 を参照すると、PTC サーミスタの抵抗は、キュリー温度 T_c を超えると急激に大きくなる。また、一般に、永久磁石は、ある温度を上回ると消磁してしまい常温に戻っても着磁しないという不可逆消磁の性質がある。なお、サーミスタの抵抗値の変化量が急激に変わる温度は、一般に、キュリー温度と称される。本実施形態においては、キュリー温度 T_c が永久磁石 3 1 の不可逆消磁温度 T_e よりも低い PTC サーミスタが、サーミスタ 3 3 として用いられるものとする。

【 0 0 3 1 】

次に、図 5 を用いて、磁石温度推定装置 2 について説明する。

【 0 0 3 2 】

図 5 は、磁石温度推定装置 2 のシステム構成図である。なお、各構成の入出力の線に付された 2 本斜線および 3 本斜線は、それぞれ、各構成にて入出力される値が 2 次元、3 次元のベクトルであることを示している。

【 0 0 3 3 】

図 5 に示すように、磁石温度推定装置 2 は、電力供給部 5 1 と、重畳部 5 2 と、磁石温度推定部 5 3 とを有する。

【 0 0 3 4 】

電力供給部 5 1 は、不図示のモータコントローラなどからリミッタ 5 3 3 を経て入力される基本波電流指令値 i_{dsf}^{**} 、 i_{qsf}^{**} に応じて、駆動周波数 (基本波) の交流電力である 3 相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w をモータ 1 に出力することにより、モータ 1 を回転駆動させる。

10

20

30

40

50

【0035】

重畳部52には、磁石部25の温度を推定するために、基本波の駆動周波数よりも周波数が高い高調波である測定周波数の高調波電流指令値 i_{ds}^* 、 i_{qs}^* が入力される。そして、重畳部52は、入力に応じた高調波電圧指令値 v_{ds}^* 、 v_{qs}^* を電力供給部51に出力することで、電力供給部51がモータ1に供給する交流電力に高調波成分の電力を重ねる。

【0036】

磁石温度推定部53は、入力される高調波電流指令値 i_{ds}^* 、 i_{qs}^* 、及び、高調波電圧指令値 v_{ds}^* 、 v_{qs}^* を用いて、測定周波数でのインピーダンスを求め、求めたインピーダンスを用いて磁石部25の磁石温度 T_m を推定する。そして、磁石温度推定部53は、推定した磁石温度 T_m に応じて、リミッタ533を用いて電力供給部51に入力される基本波電流指令値 i_{ds}^{**} 、 i_{qs}^{**} を制限し、モータ1の回転速度を制限する。

10

【0037】

なお、基本波電流指令値 i_{ds}^* 、 i_{qs}^* の周波数は、モータ1を回転させる回転速度に応じて変化する。また、基本波電流指令値 i_{ds}^* 、 i_{qs}^* は、回転座標軸(dq軸)を用いて表されている。

【0038】

高調波電流指令値 i_{ds}^* 、 i_{qs}^* は、上述のように、磁石部25の温度の推定に用いる高調波の電力をモータ1に供給するための指令値である。高調波電流指令値 i_{ds}^* 、 i_{qs}^* の周波数は、モータ1の回転中には変更されず一定であるものとする。また、本実施形態では、高調波成分の指令値によってモータ1に回転トルクを発生させないように、q軸成分の高調波電流指令値 i_{qs}^* をゼロとし、d軸成分の高調波電流指令値 i_{ds}^* だけが変更されて磁石温度推定装置2に入力されるものとする。また、高調波電流指令値の振幅は、モータ1への影響を小さくするために、基本波電流指令値の振幅よりも小さいものとする。

20

【0039】

以下では、電力供給部51、重畳部52、及び、磁石温度推定部53の詳細な構成について説明する。

【0040】

30

電力供給部51は、減算器511、電流制御部512、加算器513、座標変換部514、電力変換部515、電流検出部516、座標変換部517、及び、バンドストップフィルター518を備える。

【0041】

また、電力供給部51においては、磁石温度推定部53のリミッタ533を経た基本波電流指令値 i_{ds}^{**} 、 i_{qs}^{**} が、減算器511に入力されるとともに、重畳部52の共振制御部522から高調波電圧指令値 v_{ds}^* 、 v_{qs}^* が、加算器513に入力される。そして、電力供給部51は、これらの入力に応じて、3相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w をモータ1に出力する。

【0042】

40

減算器511は、基本波電流指令値 i_{ds}^{**} 、 i_{qs}^{**} から、それぞれ基本波検出電流値 i_{ds} 、 i_{qs} を減算し、これらの減算結果を電流制御部512に出力する。なお、基本波検出電流値 i_{ds} 、 i_{qs} は、モータ1に印加され電流の検出値の基本波成分である。

【0043】

電流制御部512は、減算器511の減算結果がそれぞれゼロに近づくように、すなわち、基本波電流指令値 i_{ds}^{**} 、 i_{qs}^{**} と、基本波電流検出値 i_{ds} 、 i_{qs} との偏差がなくなるように比例積分制御を行い、第1電圧指令値 v_{d0}^* 、 v_{q0}^* を加算器513に出力する。

【0044】

50

加算器 5 1 3 は、電流制御部 5 1 2 から出力された第 1 電圧指令値 v_{d0}^* 、 v_{q0}^* に、重畳部 5 2 の共振制御部 5 2 2 から出力された高調波電圧指令値 v_{dsc}^* 、 v_{qsc}^* を加算する。そして、加算器 5 1 3 は、高調波成分が重畳された第 2 電圧指令値 v_{ds}^* 、 v_{qs}^* を座標変換部 5 1 4 へ出力する。

【0045】

座標変換部 5 1 4 は、加算器 5 1 3 から出力された第 2 電圧指令値 v_{ds}^* 、 v_{qs}^* に対して、回転座標 (dq 軸) から 3 相座標 (uvw 相) への変換を行い、3 相電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* を算出する。そして、座標変換部 5 1 4 は、算出した 3 相電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* を、電力変換部 5 1 5 に出力する。

【0046】

電力変換部 5 1 5 は、例えばコンバータとインバータで構成される電力変換回路を備えている。また、電力変換部 5 1 5 には、不図示のバッテリーから直流電力が供給されている。電力変換部 5 1 5 は、3 相電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* によりインバータが制御されることで、バッテリーからの直流電力を交流である 3 相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w に変換して、モータ 1 に出力する。なお、インバータとしては、電圧型インバータまたは電流型インバータを用いることができる。

【0047】

電流検出部 5 1 6 は、例えばホール素子などを用いて構成され、3 相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w がモータ 1 に印加される際に、磁石温度推定装置 2 からモータ 1 へと流れる 3 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w を検出する。電流検出部 5 1 6 は、検出した 3 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w を座標変換部 5 1 7 に出力する。

【0048】

座標変換部 5 1 7 は、電流検出部 5 1 6 により検出された 3 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w に対して、3 相座標から回転座標への座標変換を行い、検出電流 i_{ds} 、 i_{qs} を求める。そして、座標変換部 5 1 7 は、求めた検出電流 i_{ds} 、 i_{qs} を、バンドストップフィルター 5 1 8、および、重畳部 5 2 のバンドパスフィルター 5 2 3 に出力する。

【0049】

バンドストップフィルター 5 1 8 は、重畳された高調波の周波数帯の信号をカットする。これにより、バンドストップフィルター 5 1 8 は、検出電流 i_{ds} 、 i_{qs} の高調波成分をカットして求めた基本波検出電流値 i_{dsf} 、 i_{qsf} を減算器 5 1 1 に出力する。

【0050】

重畳部 5 2 は、減算器 5 2 1 と、共振制御部 5 2 2 と、バンドパスフィルター 5 2 3 とを備える。重畳部 5 2 は、減算器 5 2 1 への高調波電流指令値 i_{dsc}^* 、 i_{qsc}^* の入力に応じて、高調波電圧指令値 v_{dsc}^* 、 v_{qsc}^* を電力供給部 5 1 の加算器 5 1 3 および磁石温度推定部 5 3 の温度推定部 5 3 1 に出力する。

【0051】

バンドパスフィルター 5 2 3 は、高調波の周波数帯の信号のみを通す。これにより、バンドパスフィルター 5 2 3 は、座標変換部 5 1 7 から出力される検出電流 i_{ds} 、 i_{qs} の基本波成分をカットして求めた高調波検出電流値 i_{dsc} 、 i_{qsc} を減算器 5 2 1 に出力する。

【0052】

減算器 5 2 1 には、高調波電流指令値 i_{dsc}^* 、 i_{qsc}^* が入力されるとともに、バンドパスフィルター 5 2 3 からの高調波検出電流値 i_{dsc} 、 i_{qsc} がフィードバック入力される。減算器 5 2 1 は、高調波電流指令値 i_{dsc}^* 、 i_{qsc}^* から高調波検出電流値 i_{dsc} 、 i_{qsc} を減算し、その減算結果を共振制御部 5 2 2 に出力する。

【0053】

共振制御部 5 2 2 は、減算器 5 2 1 からの出力がゼロに近づくように、高調波電圧指令値 v_{dsc}^* 、 v_{qsc}^* を生成する。そして、共振制御部 5 2 2 は、高調波電圧指令値 v_{dsc}^* 、 v_{qsc}^* を、電力供給部 5 1 の加算器 5 1 3、及び、磁石温度推定部 5 3 の温度推定部 5 3 1 に出力する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 4 】

なお、共振制御部 5 2 2 は、高調波電圧指令値の振幅や、高調波電圧指令値の出力間隔を任意に設定することができる。なお、q 軸成分の高調波電圧指令値 v_{qs}^* は、モータ 1 の回転トルクの制御に用いられる。そのため、モータ 1 の回転トルクに影響を与えないように、共振制御部 5 2 2 は、q 軸成分の高調波電圧指令値 v_{qs}^* としてゼロを出力し、d 軸成分の高調波電圧指令値 v_{ds}^* のみを変化させて出力する。

【 0 0 5 5 】

本実施形態では、共振制御部 5 2 2 は、パルスセィティング・ベクトル・インジェクション (Pulsating vector injection) 方式によって高調波電圧指令値 v_{ds}^* を出力するものとする。具体的には、共振制御部 5 2 2 は、高調波電圧指令値 v_{ds}^* に正負の符号を交互に付して出力する。このようにすることにより、モータ 1 への指令値として加算器 5 1 3 から出力される第 2 電圧指令値 v_{ds}^* 、 v_{qs}^* においては、d 軸方向に高調波電圧指令値 v_{ds}^* の進みと遅れとが交互に生じることになる。

【 0 0 5 6 】

磁石温度推定部 5 3 は、温度推定部 5 3 1 と、磁石保護部 5 3 2 と、リミッタ 5 3 3 とを備える。リミッタ 5 3 3 には、基本波電流指令値 i_{dsf}^* 、 i_{qsf}^* が入力される。また、温度推定部 5 3 1 には、高調波電流指令値 i_{dsc}^* 、 i_{qsc}^* が入力されるとともに、重畳部 5 2 の共振制御部 5 2 2 から高調波電圧指令値 v_{ds}^* 、 v_{qs}^* が入力される。なお、上述のように、q 軸成分の高調波電流指令値 i_{qsc}^* 、及び、高調波電圧指令値 v_{qs}^* はゼロである。そして、磁石温度推定部 5 3 は、高調波電圧指令値と高調波電流指令値とを用いて測定したインピーダンスに応じて、磁石部 2 5 の温度を推定する。

【 0 0 5 7 】

温度推定部 5 3 1 は、重畳される高調波の周波数に応じた不図示のバンドパスフィルターを有しており、パルスセィティング・ベクトル・インジェクション方式で印加された高調波電圧指令値 v_{ds}^* の正または負のいずれかの値を抽出する。温度推定部 5 3 1 は、入力された高調波電流指令値 i_{dsc}^* と、バンドパスフィルターを経た高調波電圧指令値 v_{ds}^* とを用いて、高調波成分のインピーダンス Z_h を算出することができる。

【 0 0 5 8 】

ここで、高調波成分のインピーダンス Z_h の実部 R_d は、固定子 1 1 の磁石部 2 5 の温度と相関関係があることが知られている。そのため、温度推定部 5 3 1 は、高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石部 2 5 の温度との相関関係を示すテーブルを予め記憶しておき、算出した高調波インピーダンスの実部 R_d と記憶している相関関係を示すテーブルとを用いて、磁石部 2 5 の温度を推定することができる。

【 0 0 5 9 】

磁石保護部 5 3 2 は、温度推定部 5 3 1 により推定された磁石部 2 5 の磁石温度 T_m に応じて、モータ 1 への供給電力の上限指令値である最大電流指令値 $i_{dsf_max}^*$ 、 $i_{qsf_max}^*$ を出力する。また、磁石保護部 5 3 2 は、サーミスタ 3 3 のキュリー温度 T_c を、モータ 1 の回転を停止する停止温度 T_{stop} として記憶している。

【 0 0 6 0 】

磁石保護部 5 3 2 は、磁石温度 T_m と停止温度 T_{stop} とを比較し、比較結果に応じて最大電流指令値 $i_{dsf_max}^*$ 、 $i_{qsf_max}^*$ を出力する。磁石温度 T_m が停止温度 T_{stop} 以下である場合には ($T_m \leq T_{stop}$)、磁石保護部 5 3 2 は、モータ 1 を停止する必要はないと判断し、設計上の最大の電流指令値を最大電流指令値 $i_{dsf_max}^*$ 、 $i_{qsf_max}^*$ として出力する。一方、磁石温度 T_m が停止温度 T_{stop} より大きい場合には ($T_m > T_{stop}$)、磁石保護部 5 3 2 は、モータ 1 を停止する必要があると判断し、最大電流指令値 $i_{dsf_max}^*$ 、 $i_{qsf_max}^*$ としてゼロを出力する。

【 0 0 6 1 】

リミッタ 533 には、モータコントローラなどからの基本波電流指令値 i_{dsf}^* 、 $i_{qs f}^*$ が入力されるとともに、磁石保護部 532 から最大電流指令値 $i_{ds f_max}^*$ 、 $i_{qs f_max}^*$ が入力される。リミッタ 533 は、基本波電流指令値 $i_{ds f}^*$ 、 $i_{qs f}^*$ と、最大電流指令値 $i_{ds f_max}^*$ 、 $i_{qs f_max}^*$ とのうちの小さい方の指令値を、基本波電流指令値 $i_{ds f}^{**}$ 、 $i_{qs f}^{**}$ として出力する。このようにすることで、例えば、磁石保護部 532 が最大電流指令値としてゼロをリミッタ 533 に出力した場合には、リミッタ 533 から出力される基本波電流指令値がゼロになるため、モータ 1 を停止することができる。

【0062】

ここで、図 6 を用いて、温度推定部 531 により測定される高調波インピーダンスの実部 R_d と、磁石部 25 の温度との相関関係について説明する。

10

【0063】

図 6 は、磁石温度推定装置 2 にて磁石温度が推定される一般的なモータをモデル化した等価回路を示す図である。この図においては、図 6 (6) にモータの構成が示されており、図 6 (6) には図 6 (a) のモータと等価な磁束回路が示されている。この図におけるモータの磁石部 25 は、磁石コイル 32 およびサーミスタ 33 を備えておらず、永久磁石 31 のみで構成されているものとする。

【0064】

なお、この図においては、図 5 に示した電力変換部 515 から出力される 3 相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w の高調波成分が高調波電圧 V_h として固定子コイル 23 に印加される。また、固定子コイル 23 に印加される電流の高調波成分が高調波電流 I_h として示されている。この高調波電流 I_h は、図 5 の電流検出部 516 にて検出される 3 相電流 i_u 、 i_v 、 i_w の高調波成分である。

20

【0065】

図 6 を参照すれば、固定子コイル 23 に磁石温度推定装置 2 (図 6 では不図示) から高調波電圧 V_h が印加されると、固定子コイル 23 と磁石部 25 との間に高調波成分を有する回転磁界が発生する。一方、磁石部 25 の表面においては、固定子コイル 23 により発生する回転磁界の高調波成分に応じて渦電流が発生する。そのため、磁石部 25 は、インダクタンス成分を有することになる。このようにして、モータ 1 が回転しているときには、固定子 11 と回転子 12 とにより磁束回路が構成されることになる。

30

【0066】

ここで、固定子コイル 23 は、抵抗成分が R_c であり、インダクタンス成分が L_c であるものとする。

【0067】

また、磁石部 25 は、抵抗成分が R_m であり、インダクタンス成分が L_m であるものとする。磁石部 25 の抵抗成分 R_m は、複数の永久磁石 31 の抵抗値を合成した値となる。また、磁石部 25 の抵抗成分 R_m は、磁石温度 T_m に応じて変化するため $R_m(T_m)$ と示することができる。磁石部 25 のインダクタンス成分 L_m は、複数の永久磁石 31 のインダクタンス成分を合成した値となる。また、磁石部 25 のインダクタンス成分 L_m は、磁石温度 T_m 、および、高調波電流値 I_h に応じて変化するため、 $L_m(T_m, I_h)$ と示すことができる。

40

【0068】

ここで、高調波電圧 V_h と高調波電流値 I_h とから、 $Z_h = V_h / I_h$ の関係を用いて高調波インピーダンス Z_h を演算する。そのような場合には、高調波インピーダンス Z_h の実部 R_d は、式 (1) で表される。

【0069】

【数 1】

$$R_d = \operatorname{Re}(Z_h) = R_c + \frac{\omega^2 M^2(T_m, I_h) \cdot R_m(T_m)}{R_m^2(T_m) + \omega^2 L_m^2(T_m, I_h)} \quad \cdots (1)$$

【0070】

ただし、 M は相互インダクタンス、 ω は高調波電圧 V_h の角周波数である。なお、相互インダクタンス M は、磁石温度 T_m 、および、高調波電流値 I_h に応じて変化するため、 $M(T_m, I_h)$ と示される。式(1)によれば、高調波インピーダンスの実部 R_d は、
磁石部25の温度である磁石温度 T_m と、図7に示すような相関関係がある。

10

【0071】

図7は、図6に示したような、磁石部25が磁石コイル32およびサーミスタ33を備えていないモータにおける、高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係を示すグラフである。横軸は、磁石温度 T_m を示し、縦軸は、高調波インピーダンスの実部 R_d を示している。図7には、磁石温度 T_m が増加すると高調波インピーダンスの実部 R_d が増加するような相関関係が示されている。そのため、温度推定部531は、求めた高調波インピーダンスの実部 R_d と、図7に示したような相関関係とを用いることにより、磁石温度 T_m を推定することができる。

【0072】

20

次に、本実施形態のように、磁石部25が磁石コイル32およびサーミスタ33を備えているモータについて説明する。このようなモータでは、回転子12が回転する場合には、固定子コイル23による回転磁界が磁石コイル32を交番するため、磁石コイル32において誘起電力が発生し、磁石コイル32およびサーミスタ33に電流が流れる。したがって、モータ1は、図8に示したような等価回路となる。

【0073】

図8は、本実施形態のような、磁石部25が磁石コイル32およびサーミスタ33を備えるモータ1の等価回路を示す図である。図8は、図6に示した一般的なモータの等価回路と比較すると、磁石コイル32およびサーミスタ33に起因する抵抗成分及びインダクタンス成分が追加されている。ここで、この等価回路においては、永久磁石31は、抵抗成分が R_{m1} であり、インダクタンス成分が L_{m1} であるものとする。また、磁石コイル32及びサーミスタ33は、抵抗成分が R_{m2} であり、インダクタンス成分が L_{m2} であるものとする。

30

【0074】

ここで、式(1)における磁石部25の抵抗成分 R_m は、永久磁石31の抵抗成分 R_{m1} と、磁石コイル32及びサーミスタ33の抵抗成分 R_{m2} とを合成することで求められる。また、磁石部25のインダクタンス成分 L_m は、永久磁石31のインダクタンス成分 L_{m1} と、磁石コイル32及びサーミスタ33のインダクタンス成分 L_{m2} とを合成することで求められる。

【0075】

40

図4に示したように、サーミスタ33の抵抗値は、キュリー温度 T_c を上回ると急激に大きくなる温度特性がある。そのため、式(1)における磁石部25の抵抗値 $R_m(T_m)$ の温度特性に、このようなサーミスタ33の温度特性が加味されることになる。したがって、磁石部25の抵抗値 R_m は、サーミスタ33のキュリー温度 T_c を上回ると急激に大きくなる。

【0076】

図9は、磁石部25が磁石コイル32およびサーミスタ33を備えるモータ1における高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係を示す図である。横軸は、磁石温度 T_m を示し、縦軸は、高調波インピーダンスの実部 R_d を示している。

【0077】

50

図 9 に示すように、高調波インピーダンスの実部 R_d は、サーミスタ 33 のキュリー温度 T_c を下回る温度範囲においては、図 7 と同様に磁石温度 T_m の上昇に伴って増加する。そして、高調波インピーダンスの実部 R_d は、サーミスタ 33 のキュリー温度 T_c を上回ると、急激に大きくなる。そのため、単位温度あたりの高調波インピーダンスの実部 R_d の変化量は、キュリー温度 T_c を上回ると急激に大きくなることになる。

【0078】

したがって、図 5 の温度推定部 531 が図 9 の相関関係を用いて磁石部 25 の磁石温度 T_m を推定する際には、高調波インピーダンスの実部 R_d の単位時間あたりの変化量である変化率が急増したか否かを判定することにより、サーミスタ 33 のキュリー温度 T_c に達したか否かを正確に判定することができる。

10

【0079】

なお、本実施形態においては、サーミスタ 33 のキュリー温度 T_c を、磁石保護部 532 によりモータ 1 の回転を停止させる停止温度 T_{stop} としたが、これに限らない。サーミスタ 33 のキュリー温度 T_c よりも高く、かつ、不可逆消磁温度 T_e よりも低い温度を、磁石保護部 532 によりモータ 1 の回転を停止させる停止温度 T_{stop} としても、永久磁石 31 の不可逆消磁を防ぐことができる。

【0080】

第 1 実施形態の磁石温度推定システムによって、以下の効果を得ることができる。

【0081】

第 1 実施形態の磁石温度推定システム 100 によれば、磁石温度推定装置 2 において、重畳部 52 は、電力供給部 51 から出力されてモータ 1 へ供給される基本波の電力に、高調波の電力を重畳させる。そして、温度推定部 531 は、高調波電圧 V_h を高調波電流 I_h にて除することにより、高調波成分のインピーダンスを求める。

20

【0082】

モータ 1 の回転子 12 においては、モータ 1 の回転時には、固定子コイル 23 により発生する回転磁界が磁石コイル 32 を交番することにより、磁石コイル 32 にて誘起電力が発生する。そのため、磁石コイル 32 と接続されたサーミスタ 33 には、発生した誘起電力に応じた電流が流れることになる。

【0083】

このようにサーミスタ 33 に電流が流れることで、図 9 に示したように、温度推定部 531 により測定される高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係において、サーミスタ 33 の温度特性が加味される。すなわち、図 7 に示した一般的なモータの相関関係と比較すると、サーミスタ 33 のキュリー温度 T_c の近傍にて高調波インピーダンスの実部 R_d の単位温度あたりの変化量である変化率が急激に大きくなる。したがって、磁石部 25 がキュリー温度 T_c に達したか否かを正確に判定することができるため、温度推定部 531 による磁石部 25 の温度の推定精度を向上させることができる。

30

【0084】

また、第 1 実施形態の磁石温度推定システム 100 によれば、サーミスタ 33 は PTC サーミスタである。PTC サーミスタは、キュリー温度 T_c を上回ると抵抗値が急激に大きくなる。したがって、図 9 に示すように、キュリー温度 T_c よりも低い温度においては、磁石コイル 32 及びサーミスタ 33 を備えていないモータと同様に磁石部 25 の磁石温度 T_m を推定することができる。さらに、サーミスタ 33 が設けられていることにより、磁石部 25 がサーミスタ 33 のキュリー温度 T_c に達したか否かを正確に判定することができるため、温度推定部 531 による磁石部 25 の温度の推定精度を向上させることができる。

40

【0085】

また、第 1 実施形態の磁石温度推定システム 100 によれば、サーミスタ 33 として、キュリー温度 T_c が永久磁石 31 の不可逆消磁が起こってしまう不可逆消磁温度 T_e よりも低い PTC サーミスタが用いられている。そして、磁石保護部 532 は、サーミスタ 33 のキュリー温度 T_c を、モータ 1 の回転を停止させるか否かの判定に用いる停止温度 T

50

stopとして記憶しておく。

【0086】

本実施形態では、温度推定部531は、磁石部25がサーミスタ33のキュリー温度 T_c 、すなわち、停止温度 T_{stop} に達したことを正確に検出できる。そのため、磁石部25が不可逆消磁温度 T_e を上回る前に、磁石保護部532はリミッタ533を用いてモータ1を確実に停止させることができる。このようにして、永久磁石31が不可逆消磁してしまうおそれを低減することにより、永久磁石31を確実に保護することができる。

【0087】

また、第1実施形態の磁石温度推定システム100によれば、良好な熱伝導性を有する接着部材34によって、永久磁石31とサーミスタ33とは接合されているため、永久磁石31とサーミスタ33との間の温度差を小さくすることができる。したがって、温度推定部531は永久磁石31がサーミスタ33のキュリー温度に達したか否かの判定をより正確に行うことができるため、温度推定部531による磁石部25の温度の推定精度を向上させることができる。

【0088】

(第2実施形態)

第1実施形態においては、サーミスタ33がPTCサーミスタである例について説明したが、サーミスタ33として他のサーミスタが用いられてもよい。第2実施形態においては、サーミスタ33がCTRサーミスタである例について説明する。

【0089】

本実施形態においては、図3のサーミスタ33は、CTR(Critical Temperature Resistor)サーミスタである。CTRサーミスタの温度特性について、図10を用いて説明する。

【0090】

図10は、CTRサーミスタの温度特性を示す図である。横軸に温度が示されており、縦軸に抵抗値が示されている。また、図10を参照すると、CTRサーミスタの抵抗は、キュリー温度 T_c を上回ると急激に小さくなる。なお、第1実施形態と同様に、サーミスタ33のキュリー温度 T_c は、永久磁石31の不可逆消磁温度 T_e よりも低いものとする。

【0091】

このように、サーミスタ33がCTRサーミスタである場合には、式(1)にて求められる高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石部25の磁石温度 T_m との相関関係は、図11のようになる。

【0092】

図11は、本実施形態における磁石部25の磁石温度 T_m と高調波インピーダンス Z_h の実部 R_d との相関関係を示す図である。横軸は、磁石温度 T_m を示し、縦軸は、高調波インピーダンスの実部 R_d を示している。

【0093】

図11に示すように、本実施形態においては、図7に示した相関関係と比較すると、磁石温度 T_m がサーミスタ33のキュリー温度 T_c を下回る温度範囲においては、サーミスタ33の温度特性が加味されるので、高調波インピーダンスの実部 R_d は大きくなる。そして、磁石温度 T_m がサーミスタ33のキュリー温度 T_c を上回ると、高調波インピーダンスの実部 R_d は、急激に小さくなる。

【0094】

第2実施形態の磁石温度推定システムによって、以下の効果を得ることができる。

【0095】

第2実施形態の磁石温度推定システム100によれば、サーミスタ33を構成するCTRサーミスタは、PTCサーミスタと比較すると、キュリー温度 T_c よりも低い温度範囲において、抵抗値が大きい。

【0096】

ここで、モータ1が通常で速度で回転している場合には、磁石温度 T_m は比較的高くな

10

20

30

40

50

らず、CTRサーミスタのキュリー温度 T_c より低い。また、CTRサーミスタは、キュリー温度 T_c よりも低い温度においては、抵抗値が大きいため、磁石コイル32及びサーミスタ33に流れる電流が小さい。したがって、磁石コイル32及びサーミスタ33における発熱が抑制されることにより、モータ1の発熱に起因して磁石部25の温度が高くなり不可逆消磁してしまうおそれを低減することができる。

【0097】

また、サーミスタ33は、キュリー温度 T_c を上回ると抵抗の値が急激に小さくなるCTRサーミスタである。このようなサーミスタ33を備えることにより、図11に示したように、モータ1が回転速度を速めており磁石温度 T_m が高くなっている場合には、磁石温度 T_m がキュリー温度 T_c を上回ると、高調波インピーダンスの実部 R_d が急減する。したがって、磁石部25がキュリー温度 T_c に達したことを正確に判定することができるため、磁石温度 T_m の推定精度を向上させることができる。

10

【0098】

(第3実施形態)

第1及び第2実施形態においては、サーミスタ33がPTCサーミスタまたはCTRサーミスタのいずれかである例について説明した。第3実施形態では、サーミスタ33がPTCサーミスタとCTRサーミスタとが並列に接続されて構成される例について説明する。なお、このような、PTCサーミスタとCTRサーミスタとが並列に接続されて構成されるサーミスタを、以下では、並列サーミスタと称する。

【0099】

20

図12は、サーミスタ33に用いられる並列サーミスタの温度特性の一例を示す図である。この図においては、並列サーミスタの温度特性が実線で示されている。また、比較のために、並列サーミスタを構成するPTCサーミスタのみの温度特性が一点破線で、CTRサーミスタのみの温度特性が二点破線で示されている。

【0100】

図12に示すように、PTCサーミスタのキュリー温度 T_{c_p} は、CTRサーミスタのキュリー温度 T_{c_c} よりも低いものとする。また、CTRサーミスタのキュリー温度 T_{c_c} は、不可逆消磁温度 T_e よりも低いものとする。

【0101】

この図によれば、並列サーミスタの抵抗値は、温度が上昇すると、温度 T_{c_p} において大きくなり始め、温度 T_1 において増加しなくなり略一定の値となる。そして、CTRサーミスタの抵抗が減少を開始するキュリー温度である T_{c_c} よりも大きな温度 T_2 を超えると減少し始める。なお、並列サーミスタの抵抗の値が減少し始める温度 T_2 は、磁石部25の不可逆消磁温度 T_e よりも低いものとする。

30

【0102】

図13は、並列サーミスタをサーミスタ33に用いた場合における、高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係を示すグラフである。横軸は、磁石温度 T_m を示し、縦軸は、高調波インピーダンスの実部 R_d を示している。なお、この図における、温度 T_{c_p} 、 T_1 、 T_{c_c} 、 T_2 、 T_e は、図12におけるそれぞれの温度が示されている。

40

【0103】

図13に示す相関関係は、磁石温度 T_m が T_{c_p} よりも低い温度においては、図7に示した相関関係と同様である。高調波インピーダンスの実部 R_d は、磁石温度 T_m が T_{c_p} を上回ると急激に大きくなり始める。また、磁石温度 T_m が T_2 を上回ると急激に小さくなる。なお、温度 $T_1 \sim T_2$ の間においては、磁石温度 T_m が変化しても、高調波インピーダンスの実部 R_d は、大きく変化しない。

【0104】

ここで、磁石保護部532は、PTCサーミスタのキュリー温度 T_{c_p} を制限温度 T_{lim} として記憶している。制限温度 T_{lim} とは、モータ1の回転に伴って磁石温度 T_m が上昇する場合に、モータ1を停止させる前にモータ1の回転の制限を開始する温度で

50

ある。さらに、磁石保護部 532 は、高調波インピーダンスの実部 R_d が低下し始める温度 T_2 を、停止温度 T_{stop} として記憶している

【0105】

モータ 1 の回転速度の増加に伴って磁石温度 T_m が上昇している場合には、制限温度 T_{lim} 以下である温度範囲 ($T_m < T_{lim}$) では、磁石保護部 532 は、設計上の最大電流指令値を、最大電流指令値 $i_{dsf_max}^*$ 、 $i_{qs_f_max}^*$ として出力する。磁石温度 T_m が制限温度 T_{lim} より大きく、かつ、停止温度 T_{stop} 以下である温度範囲 ($T_{lim} < T_m < T_{stop}$) では、磁石保護部 532 は、磁石温度 T_m が高くなるほど最大電流指令値 $i_{dsf_max}^*$ 、 $i_{qs_f_max}^*$ が小さくなるように制御する。磁石温度 T_m が停止温度 T_{stop} よりも大きい温度範囲 ($T_{stop} < T_m$) では、磁石保護部 532 は、最大電流指令値 $i_{dsf_max}^*$ 、 $i_{qs_f_max}^*$ としてゼロを出力する。

10

【0106】

このような構成とすることにより、第 1 実施形態と同様に停止温度 T_{stop} にてモータ 1 の回転を停止させることができることに加えて、モータ 1 の回転の制限を開始する制限温度 T_{lim} を設けることにより、2 段階でモータ 1 を保護することができる。そのため、停止温度 T_{stop} においてモータ 1 が突然停止されることがなくなるため、動作範囲を広げることができる。

【0107】

なお、本実施形態においては、サーミスタ 33 のキュリー温度 T_c を制御温度 T_{lim} とし、温度 T_2 を停止温度 T_{stop} としたが、これに限らない。サーミスタ 33 のキュリー温度 T_c の近傍の温度を制御温度 T_{lim} とし、温度 T_2 の近傍の温度を停止温度 T_{stop} としても、磁石保護部 532 によって永久磁石 31 の不可逆消磁力を防ぐことができる。

20

【0108】

第 3 実施形態の磁石温度推定システムによって、以下の効果を得ることができる。

【0109】

第 3 実施形態の磁石温度推定システムによれば、永久磁石 31 に設けられるサーミスタ 33 は、CTR サーミスタと PTC サーミスタとを並列に接続したものである。なお、PTC サーミスタのキュリー温度 T_{c_p} は、CTR サーミスタのキュリー温度 T_{c_c} よりも低く、また、CTR サーミスタのキュリー温度 T_{c_c} は、永久磁石 31 の不可逆消磁温度 T_e よりも低いものとする。

30

【0110】

このような 2 種類の異なる温度特性のサーミスタを並列に設けることにより、図 13 に示したように、高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係において、高調波インピーダンスの実部 R_d の変化率が大きく変化する温度領域が複数設けられることになる。そのため、磁石部 25 の磁石温度 T_m が達したか否かを判定できる温度が複数設けられることになる。

【0111】

そこで、磁石保護部 532 は、モータ 1 の回転速度が増加している場合には、高調波インピーダンスの実部 R_d の増加を検出すると、磁石部 25 が PTC サーミスタのキュリー温度 T_{c_p} に達したと判断し、モータ 1 の回転の制限を開始する。そして、磁石保護部 532 は、高調波インピーダンスの実部 R_d の減少を検出すると、磁石部 25 が温度 T_2 に達したと判定して、モータ 1 の回転を停止させる。

40

【0112】

このように、本実施形態においては第 1 実施形態と比較すると、高調波インピーダンスの実部 R_d と磁石温度 T_m との相関関係において変化率が変わる温度が複数設けられることにより、モータ 1 の回転の停止だけでなく、モータ 1 の回転の制限を行うことができる。このように 2 段階でモータ 1 の回転を制限することにより、モータ 1 が突然停止することがなくなるため、モータ 1 の動作範囲を大きくすることができる。

50

【 0 1 1 3 】

(第 4 実施形態)

第 4 実施形態においては、磁石部 2 5 の構成の他の例について説明する。

【 0 1 1 4 】

図 1 4 A は、本実施形態のモータ 1 の断面図の一部である。図 1 4 A は、図 2 に示した第 1 実子形態のモータ 1 の断面図と比較すると、空隙 2 4 に設けられた磁石部 2 5 が熱伝導性の高い樹脂 1 4 0 1 にて封入されている点が異なる。樹脂 1 4 0 1 は、例えば、シリコン系の樹脂や、マイクロ銀ペーストなどがある。また、樹脂 1 4 0 1 は、例えば、アルミナや、窒化アルミニウム、窒化ホウ素などの熱伝導性に優れた材料がフィラーとして含有されたエポキシ樹脂などであってもよい。なお、永久磁石 3 1 とサーミスタ 3 3 とを熱伝導性が高い接着部材 3 4 により接合した後に、樹脂 1 4 0 1 にて封入されているものとする。なお、接着部材 3 4 を用いずに樹脂 1 4 0 1 のみで永久磁石 3 1 とサーミスタ 3 3 とを固定してもよい。

10

【 0 1 1 5 】

図 1 4 B は、図 1 4 A の磁石部 2 5 の構成の斜視図である。なお、樹脂 1 4 0 1 の内部の構成が、点線にて示されている。図 1 4 B によれば、磁石部 2 5 の全体が樹脂 1 4 0 1 によりモールドされている。このようにすることにより、永久磁石 3 1 とサーミスタ 3 3 との温度差を低減することができる。

【 0 1 1 6 】

第 4 実施形態の磁石温度推定システムによって、以下の効果を得ることができる。

20

【 0 1 1 7 】

第 4 実施形態の磁石温度推定システム 1 0 0 によれば、磁石部 2 5 が、熱伝導性が高い樹脂 1 4 0 1 によりモールドされている。そのため、磁石部 2 5 において、永久磁石 3 1 とサーミスタ 3 3 との温度差をさらに低減することができる。したがって、温度推定部 5 3 1 により検出されるサーミスタ 3 3 のキュリー温度 T_c は、永久磁石 3 1 の磁石温度 T_m とより一致することになるため、磁石温度 T_m の推定精度を向上させることができる。

【 0 1 1 8 】

(第 5 実施形態)

第 5 実施形態においては、サーミスタ 3 3 の構成の他の一例について説明する。

【 0 1 1 9 】

図 1 5 A は、本実施形態のモータ 1 の断面図の一部である。モータ 1 の回転時には、磁石部 2 5 の表面のうちの固定子 1 1 に最も近い径方向端面が、最も温度が高くなる面であるものとする。本実施形態では、この磁石部 2 5 の径方向端面に、サーミスタ 3 3 が設けられている。なお、このような磁石部 2 5 の表面のうちの最も温度が高くなる場所は、設計において求めることができる。

30

【 0 1 2 0 】

図 1 5 B は、磁石部 2 5 の斜視図である。図 1 5 B によれば、サーミスタ 3 3 は、磁石部 2 5 の表面のうちの最も温度が高い面である回転子 1 2 の軸方向に沿った面において磁石コイル 3 2 と接続されている。このようにすることにより、永久磁石 3 1 の表面に温度の偏りがある場合でも、最も温度が高い場所の温度に応じてサーミスタ 3 3 の抵抗値が変化することになる。

40

【 0 1 2 1 】

第 5 実施形態の磁石温度推定システムによって、以下の効果を得ることができる。

【 0 1 2 2 】

第 5 実施形態の磁石温度推定システム 1 0 0 によれば、磁石部 2 5 の表面のうちの最も高温になる場所にサーミスタが設けられている。そのため、磁石部 2 5 の表面において温度が均一でなく偏りがある場合であっても、磁石部 2 5 の表面において、サーミスタ 3 3 の温度を上回る箇所はないことになる。そのため、温度推定部 5 3 1 が検出したキュリー温度 T_c に応じて磁石保護部 5 3 2 がモータ 1 の回転を制限することによって、永久磁石 3 1 の一部が不可逆消磁温度 T_e に達してしまうことが回避され、永久磁石 3 1 を確実に

50

保護することができる。

【 0 1 2 3 】

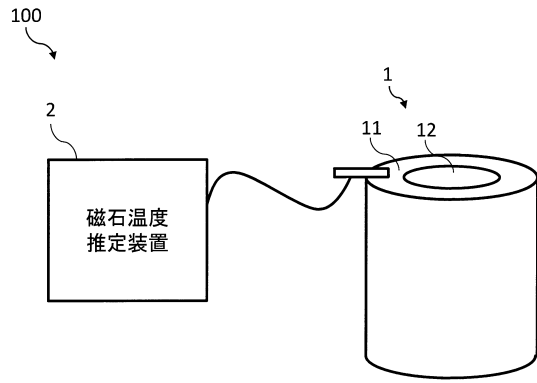
以上、本発明の実施形態について説明したが、上記実施形態は本発明の適用例の一部を示したに過ぎず、本発明の技術的範囲を上記実施形態の具体的構成に限定する趣旨ではない。また、上記実施形態は、適宜組み合わせ可能である。

【 符号の説明 】

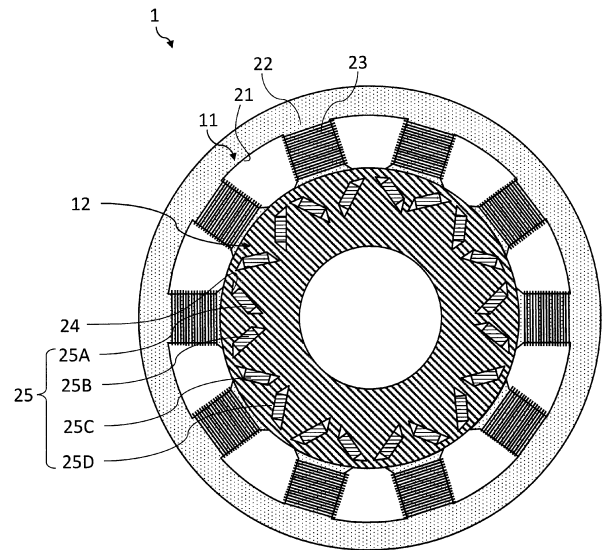
【 0 1 2 4 】

1 0 0	磁石温度推定システム	
1	モータ	
1 1	固定子	10
1 2	回転子	
2	磁石温度推定装置	
2 1	スロット	
2 2	ティース	
2 3	固定子コイル	
2 4	空隙	
2 5、2 5 A、2 5 B、2 5 C、2 5 D	磁石部	
3 1	永久磁石	
3 2	コイル	
3 3	サーミスタ	20
3 4	接着部材	
5 1	電力供給部	
5 1 1	減算器	
5 1 2	電流制御部	
5 1 3	加算器	
5 1 4	座標変換部	
5 1 5	電力変換部	
5 1 6	電流検出部	
5 1 7	座標変換部	
5 1 8	バンドストップフィルター	30
5 2	重畳部	
5 2 1	減算器	
5 2 2	共振制御部	
5 2 3	バンドパスフィルター	
5 3	磁石温度推定部	
5 3 1	温度推定部	
5 3 2	磁石保護部	
5 3 3	リミッタ	
1 4 0 1	樹脂	

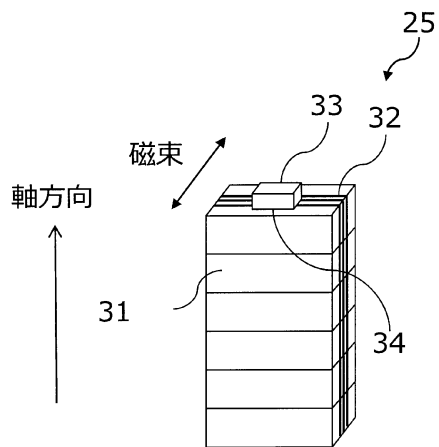
【図 1】



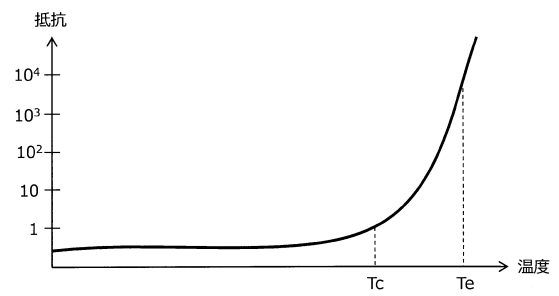
【図 2】



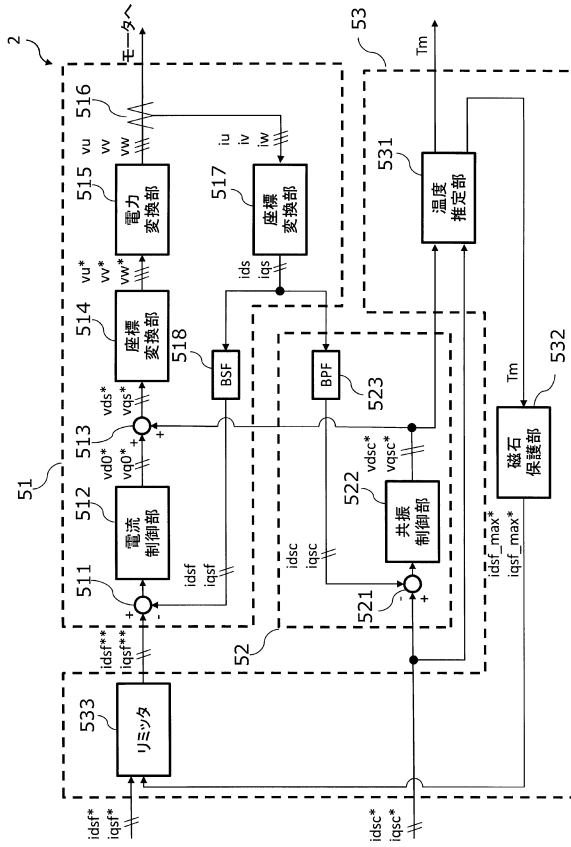
【図 3】



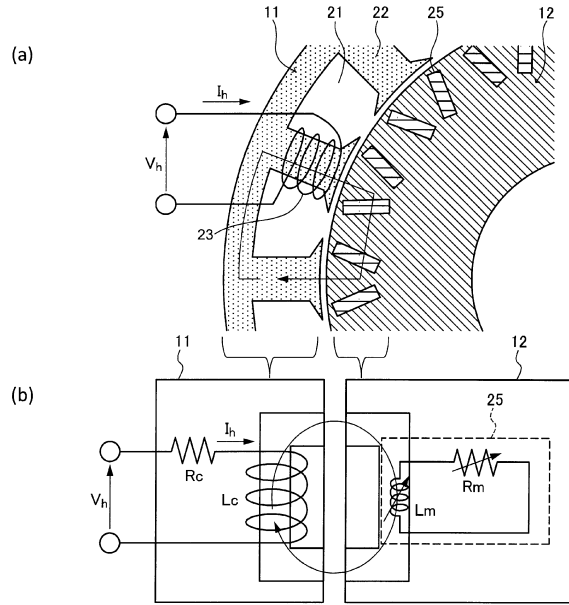
【図 4】



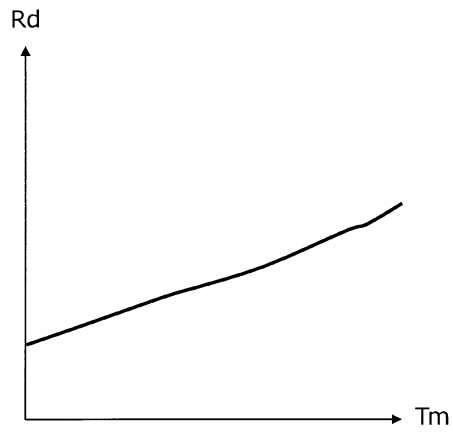
【 図 5 】



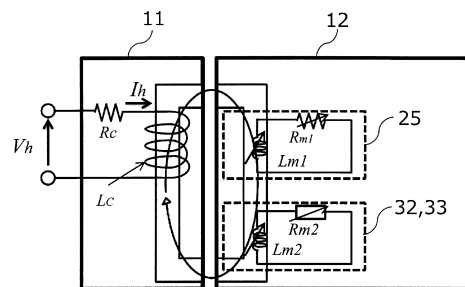
【 図 6 】



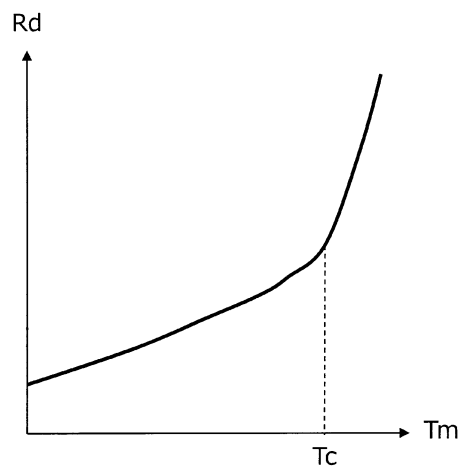
【圖 7】



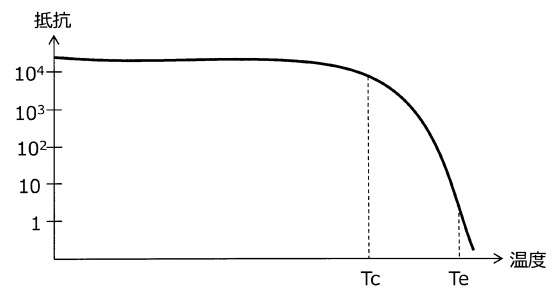
【 图 8 】



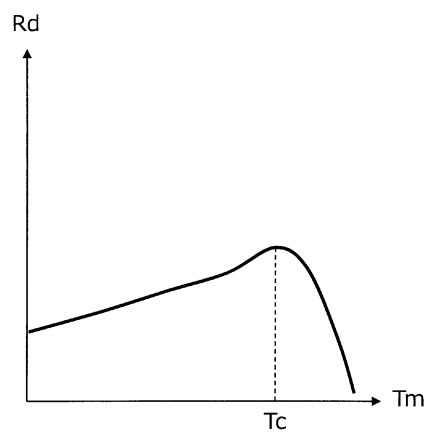
【図 9】



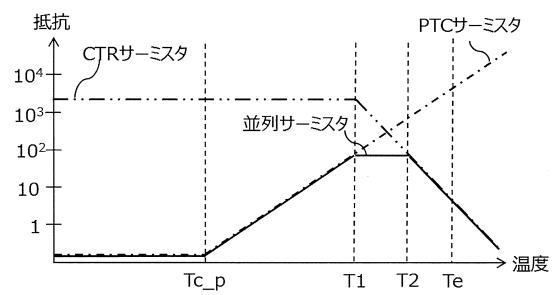
【図 10】



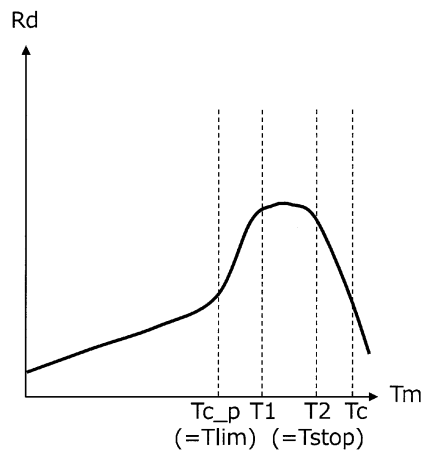
【図 11】



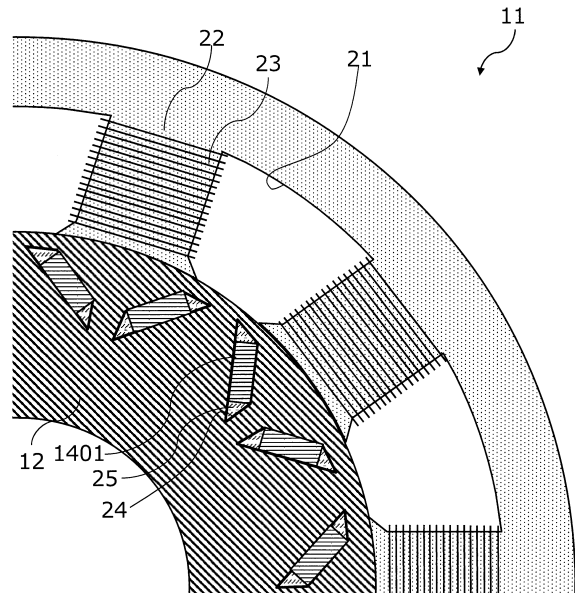
【図 12】



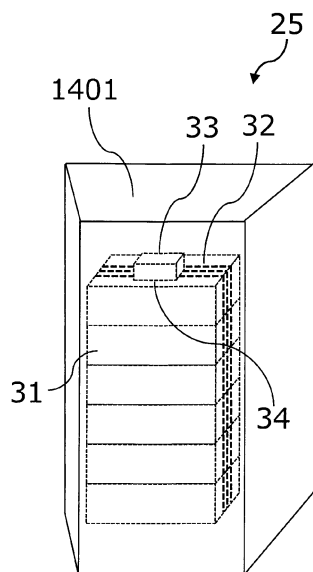
【図 13】



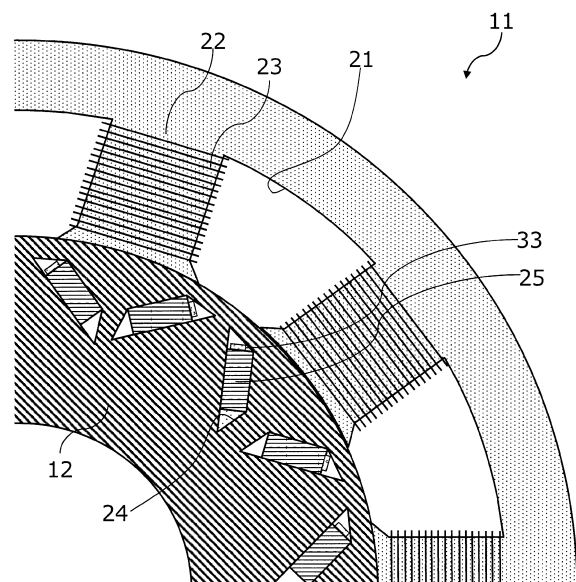
【図 14 A】



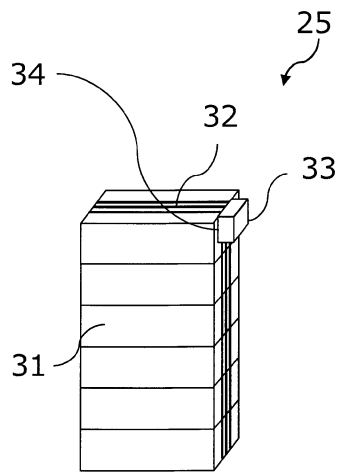
【図 14 B】



【図 15 A】



【図 15 B】



フロントページの続き

- (72)発明者 谷本 勉
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- (72)発明者 加藤 崇
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- (72)発明者 福重 孝志
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- (72)発明者 佐竹 正光
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内

審査官 マキロイ 寛済

- (56)参考文献 特開2015-122857(JP,A)
特開2013-179726(JP,A)
特開2008-301551(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| H02P | 29/66 |
| G01K | 13/08 |
| H02K | 11/25 |