

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6673494号
(P6673494)

(45) 発行日 令和2年3月25日 (2020.3.25)

(24) 登録日 令和2年3月9日 (2020.3.9)

(51) Int.Cl.

H02P 29/64 (2016.01)

F I

H02P 29/64

請求項の数 15 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2018-548491 (P2018-548491)	(73) 特許権者	000003997
(86) (22) 出願日	平成28年11月1日 (2016.11.1)		日産自動車株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/082495		神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(87) 国際公開番号	W02018/083744	(74) 代理人	110002468
(87) 国際公開日	平成30年5月11日 (2018.5.11)		特許業務法人後藤特許事務所
審査請求日	平成31年4月22日 (2019.4.22)	(72) 発明者	伊藤 健
			神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自
			動車株式会社 知的財産部内
		(72) 発明者	室田 浩平
			神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自
			動車株式会社 知的財産部内
		(72) 発明者	森 智章
			神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自
			動車株式会社 知的財産部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータの制御方法、及び、モータの制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の相の巻線を備えるモータの制御方法において、

前記モータが低回転の状態である場合に、前記モータに流れるd軸電流とq軸電流から電流ベクトルノルムを算出し、前記電流ベクトルノルムと前記モータの全体の熱抵抗とから電力損失を算出し、前記電力損失と次数が1次以上の伝達特性を持つ伝達関数とに基づき前記複数の相の巻線における最高温度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る前記最高温度に基づいて、入力電力を制限する制限ステップと、を備える、モータの制御方法。

【請求項2】

請求項1に記載のモータの制御方法であって、

前記低回転の状態は、前記モータがロックされる状態を含む、モータの制御方法。

【請求項3】

請求項1又は2に記載のモータの制御方法であって、

前記複数の相の巻線のうちの一部の温度を測定する測定ステップを、さらに備え、

前記推定ステップにおいて、前記モータが前記低回転の状態に遷移した時に、前記測定ステップで測定される温度を初期値として、前記最高温度の推定が開始される、モータの制御方法。

【請求項4】

請求項3に記載のモータの制御方法であって、

10

20

前記モータが前記低回転でない状態に遷移する時から、前記推定ステップで推定される前記最高温度から始まり経時的に前記測定ステップで測定される温度に収束する補正値を定め、前記推定ステップの開始時における該補正値を用いて、前記初期値を補正する補正ステップを、さらに備える、モータの制御方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のモータの制御方法であって、

前記補正ステップにおいて、前記補正値は、前記モータの放熱特性に従って収束する、モータの制御方法。

【請求項 6】

請求項 3 から 5 のいずれか 1 項に記載のモータの制御方法であって、

前記制限ステップにおいて、

前記モータが前記低回転の状態である場合には、前記推定ステップで推定される前記最高温度に基づいて、前記モータへの印加電力を制限し、

前記モータが前記低回転の状態でない場合には、前記測定ステップで測定される温度に基づいて、前記モータへの印加電力を制限する、モータの制御方法。

【請求項 7】

請求項 1 又は 2 に記載のモータの制御方法であって、

前記推定ステップは、

前記入力電力に応じて、前記モータの回転の状態によらない第 1 推定温度を推定する第 1 推定ステップと、

前記第 1 推定温度に対する、前記モータの前記低回転の状態であることに起因する増加温度を推定する第 2 推定ステップと、

前記第 1 推定温度と前記増加温度とを加算し、加算結果を前記最高温度とする加算ステップと、を備える、モータの制御方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載のモータの制御方法であって、

前記第 2 推定ステップにおいて、

前記モータが前記低回転の状態に遷移する時に、前記増加温度は、前記入力電力に応じた推定を開始し、

前記モータが前記低回転でない状態に遷移する時に、前記増加温度は、ゼロの入力に応じた推定を開始する、モータの制御方法。

【請求項 9】

複数の相の巻線を備えるモータの制御方法において、

前記モータが低回転の状態である場合に、前記モータへ入力される入力電力の大きさに応じて、前記複数の相の巻線における最高温度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る前記最高温度に基づいて、前記入力電力を制限する制限ステップと、

前記複数の相の巻線のうちの一部の温度を測定する測定ステップとを備え、

前記推定ステップにおいて、前記モータが前記低回転の状態に遷移した時に、前記測定ステップで測定される温度を初期値として、前記最高温度の推定が開始される、モータの制御方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載のモータの制御方法であって、

前記モータが前記低回転でない状態に遷移する時から、前記推定ステップで推定される前記最高温度から始まり経時的に前記測定ステップで測定される温度に収束する補正値を定め、前記推定ステップの開始時における該補正値を用いて、前記初期値を補正する補正ステップを、さらに備える、モータの制御方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載のモータの制御方法であって、

前記補正ステップにおいて、前記補正値は、前記モータの放熱特性に従って収束する、

10

20

30

40

50

モータの制御方法。

【請求項 1 2】

請求項 9 から 1 1 のいずれか 1 項に記載のモータの制御方法であって、
前記制限ステップにおいて、
前記モータが前記低回転の状態である場合には、前記推定ステップで推定される前記最高温度に基づいて、前記モータへの印加電力を制限し、
前記モータが前記低回転の状態でない場合には、前記測定ステップで測定される温度に基づいて、前記モータへの印加電力を制限する、モータの制御方法。

【請求項 1 3】

複数の相の巻線を備えるモータの制御方法において、
前記モータが低回転の状態である場合に、前記モータへ入力される入力電力の大きさに応じて、前記複数の相の巻線における最高温度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る前記最高温度に基づいて、前記入力電力を制限する制限ステップと、を備える、モータの制御方法であって、
前記推定ステップは、
前記入力電力に応じて、前記モータの回転の状態によらない第 1 推定温度を推定する第 1 推定ステップと、
前記第 1 推定温度に対する、前記モータの前記低回転の状態であることに起因する増加温度を推定する第 2 推定ステップと、
前記第 1 推定温度と前記増加温度とを加算し、加算結果を前記最高温度とする加算ステップと、を備える、モータの制御方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載のモータの制御方法であって、
前記第 2 推定ステップにおいて、
前記モータが前記低回転の状態に遷移する時に、前記増加温度は、前記入力電力に応じた推定を開始し、
前記モータが前記低回転でない状態に遷移する時に、前記増加温度は、ゼロの入力に応じた推定を開始する、モータの制御方法。

【請求項 1 5】

複数の相の巻線を備えるモータの制御装置において、
前記モータが低回転の状態である場合に、前記モータに流れる d 軸電流と q 軸電流から電流ベクトルノルムを算出し、前記電流ベクトルノルムと前記モータの全体の熱抵抗とから電力損失を算出し、前記電力損失と次数が 1 次以上の伝達特性を持つ伝達関数とに基づき前記複数の相の巻線における最高温度を推定する推定部と、
前記推定部で推定される前記最高温度に基づいて、前記モータへの入力電力を制限する制限部と、を備える、モータの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、モータの制御方法、及び、モータの制御装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

同期電動機は、一般に、U V W 相のような複数の相で駆動するように構成されている。このような永久磁石型のモータにおいては、各相と対応して設けられる巻線（コイル）に電流が流されることにより、モータが回転駆動する。

【0 0 0 3】

各相の巻線は電流が流れると発熱するが、発熱量が多い場合には、巻線の絶縁部材が劣化するおそれがある。そのため、巻線の温度が極めて高くなる場合には、巻線に流す電流を制限することにより、発熱を抑制する必要がある。そこで、モータ内の巻線温度を推定するために、様々な技術が検討されている。（例えば、J P 2 0 1 3 - 0 7 0 4 8 5 A）

【発明の概要】

【0004】

ここで、モータが回転せずにトルクを発生させるようなロックされた低回転状態である場合には、特定の相（例えばU相）にだけ電流が流れることになるので、モータの一部だけが高温になることがある。そのため、モータ内に温度センサが設けられるような技術を用いても、モータ内の一部において推定温度を上回ってしまと、適切に温度を推定できず、巻線の絶縁部が劣化するおそれがあるという課題がある。

【0005】

本発明の目的は、モータにおける最高温度を推定することにより、低回転領域にあるモータを保護することができる、モータの制御方法、及び、モータの制御装置を提供することである。

10

【0006】

本発明のある態様によれば、複数の相の巻線を備えるモータの制御方法において、モータが低回転の状態である場合に、モータへ入力される入力電力の大きさに応じて、複数の相の巻線のうち、最も温度が高くなる相の巻線の最高温度を推定する推定ステップと、推定ステップで推定される最高温度に基づいて、入力電力を制限する制限ステップと、を備える。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】図1は、第1実施形態のモータ制御装置の概略構成図である。

20

【図2】図2は、低回転領域判定部の詳細構成図である。

【図3】図3は、巻線温度推定部の詳細構成図である。

【図4】図4は、制限率演算部の処理に用いるグラフである。

【図5】図5は、トルク指令値演算部の詳細構成図である。

【図6】図6は、トルク制御部の詳細構成図である。

【図7】図7は、電流ベクトル制御部の詳細構成図である。

【図8】図8は、電圧位相制御部の詳細構成図である。

【図9】図9は、モータにおける温度変化を示す図である。

【図10】図10は、第2実施形態のモータ制御装置の概略構成図である。

【図11】図11は、巻線温度推定部の詳細構成図である。

30

【図12】図12は、モータにおける温度変化を示す図である。

【図13】図13は、第3実施形態の巻線温度推定部の概略構成図である。

【図14】図14は、初期化温度演算部の概略構成図である。

【図15】図15は、モータにおける温度変化を示す図である。

【図16】図16は、第4実施形態の巻線温度推定部の概略構成図である。

【図17】図17は、モータにおける温度変化を示す図である。

【図18】図18は、第5実施形態の温度演算部の概略構成図である。

【図19】図19は、モータにおける発熱量をモデル化した図である。

【図20】図20は、モータにおける温度変化を示す図である。

【図21】図21は、初期化温度演算部の変形例の詳細構成図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。

【0009】

（第1実施形態）

本発明の第1実施形態によるモータ制御装置について説明する。

【0010】

図1は、第1実施形態によるモータ制御装置の概略構成図である。この図によれば、モータ制御装置1によって、モータ2が制御される。なお、このモータ2は、複数の相の巻線を備えており、電動車両などの駆動源として用いることができる。

50

【0011】

以下では、モータ制御装置1の詳細な構成について説明する。モータ制御装置1は、不図示のコントローラを備えており、プログラムされた処理を実行する。以下に示すような、各ブロックにおける処理についても、コントローラにプログラムとして記憶されており、プログラムが実行されることによって各ブロックの処理が実行される。

【0012】

低回転領域判定部3においては、回転数演算器15からモータ2の回転数を示す回転数検出値Nが入力される。低回転領域判定部3は、入力値に基づいて、モータ2が低回転状態であるか高回転状態であるかを判定し、判定結果を示す回転域判定結果をトルク指令値演算部6に出力する。低回転領域判定部3の詳細については、後に、図2を用いて説明する。なお、トルク指令値演算部6は、制限ステップを実行する制限部の一例である。

10

【0013】

巻線温度推定部4には、トルク制御部7からd軸電流推定値 i_{d_est} 、及び、q軸電流推定値 i_{q_est} が入力されるとともに、不図示の上位システムから基準温度 T_{base} が入力される。巻線温度推定部4は、これらの入力値に基づいて、推定最高温度 T_{est} を演算する。なお、d軸電流推定値 i_{d_est} 、及び、q軸電流推定値 i_{q_est} に替えて、UVW相→dq軸変換器13から出力されるd軸電流値 i_d 、及び、q軸電流値 i_q を用いてもよい。巻線温度推定部4の詳細については、後に、図3を用いて説明する。巻線温度推定部4は、推定ステップを実行する推定部の一例である。なお、基準温度 T_{base} は、モータ2の外部に設けられているセンサにより測定される温度であり、例えば、モータ2が電動車両に設けられている場合には、外気温センサ検出値や冷却系の温度センサ検出値などである。

20

【0014】

制限率演算部5は、推定最高温度 T_{est} に応じてモータ2への駆動トルクの制限に用いるトルク制限率 R_{lim} を算出する。制限率演算部5の処理の詳細については、後に、図4を用いて説明する。

【0015】

トルク指令値演算部6には、回転域判定結果、不図示の上位システムからトルク指令値 T^* 、及び、トルク制限率 R_{lim} が入力される。なお、トルク指令値 T^* は、車両のアクセルペダルの開度などに応じて定められる。また、トルク指令値演算部6は、予め、トルクの設定可能範囲を定めるトルク上限値 $T_{rq_lim_upper}$ 、及び、トルク下限値 $T_{rq_lim_lower}$ を記憶している。トルク指令値演算部6は、これらの入力値及び記憶値に基づいて、最終トルク指令値 T^*_{fin} を演算する。トルク指令値演算部6の処理の詳細については、後に、図5を用いて説明する。

30

【0016】

トルク制御部7は、電流ベクトル制御を行う電流ベクトル制御部と、電圧位相制御を行う電圧位相制御部とを備える。トルク制御部7は、入力される最終トルク指令値 T^*_{fin} と、バッテリー電圧検出値 V_{dc} と、回転数検出値Nと、UVW相→dq軸変換器13から出力されるd軸電流値 i_d 及びq軸電流値 i_q とに応じて、電流ベクトル制御または電圧位相制御の選択を行う。これとともに、トルク制御部7は、選択された制御方法によってd軸電圧指令値 v^*_d 、及び、q軸電圧指令値 v^*_q を演算し、これらの電圧指令値をdq軸→UVW相変換器8に出力する。トルク制御部7の処理の詳細については、後に、図6を用いて説明する。

40

【0017】

dq軸→UVW相変換器8は、次の式に基づいて、d軸電圧指令値 v^*_d 、及び、q軸電圧指令値 v^*_q を、モータ2の電気角検出値 θ に基づいて、三相電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* に変換して、変換後の電圧指令値をPWM変換器9に出力する。

【0018】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} v_u^* \\ v_v^* \\ v_w^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d^* \\ v_q^* \end{bmatrix} \cdots (1)$$

【0019】

10

PMW変換器9は、三相電圧指令値 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* と、バッテリー10に併設する電圧センサ10Aから出力されるバッテリー電圧検出値 V_{dc} とに基づき、インバータ11のパワー素子駆動信号 D_{uu}^* 、 D_{ul}^* 、 D_{vu}^* 、 D_{vl}^* 、 D_{wu}^* 、 D_{wl}^* を出力する。

【0020】

インバータ11は、PMW変換器9にて生成されるパワー素子駆動信号に基づいた動作をすることにより、三相電圧 v_u 、 v_v 、 v_w をモータ2に印加する。

【0021】

電流検出器12は、モータ制御装置1とモータ2との間の三相配線のうち、少なくとも二相の配線に設けられている。例えば、電流検出器12は、U相電流値 i_u 、及び、V相電流値 i_v を検出する。

20

【0022】

UVW相→dq軸変換器13は、次の式に基づいて、U相電流値 i_u 、及び、V相電流値 i_v に対して電気角検出値 θ に基づく変換を行うことで、d軸電流値 i_d 、及び、q軸電流値 i_q を算出し、これらの電流値をトルク制御部7に出力する。

【0023】

【数 2】

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ -i_u - i_v \end{bmatrix} \cdots (2)$$

30

【0024】

回転子位置センサ14は、モータ2に併設されており、モータ2の電気角検出値 θ を検出すると、検出値を回転数演算器15に出力する。なお、回転子位置センサ14は、測定ステップを実行する構成の一例である。

【0025】

回転数演算器15は、電気角検出値 θ についての所定間隔での変化量を求めることにより、回転数検出値 N を演算する。回転数演算器15は、回転数検出値 N を低回転領域判定部3、巻線温度推定部4、及び、トルク制御部7に出力する。

【0026】

40

以下では、図1にて説明した構成の一部について詳細に説明する。

【0027】

図2には、低回転領域判定部3の詳細な構成が示されている。

【0028】

低回転領域判定部3は、絶対値演算部31と回転領域判定部32とを備える。

【0029】

絶対値演算部31は、入力される回転数検出値 N の絶対値である回転数絶対値 N_{abs} を求めると、回転数絶対値 N_{abs} を回転領域判定部32に出力する。

【0030】

回転領域判定部32は、回転数絶対値 N_{abs} について次の式に基づく判定を行い、モー

50

タ 2 が低回転状態であるか否かを判定する。

【0031】

【数 3】

$$\begin{aligned} N_{abs} < N_{th_low} & : Lo(\text{低回転領域}) \\ N_{abs} \geq N_{th_low} & : Hi(\text{高回転領域}) \end{aligned} \quad \cdots (3)$$

【0032】

すなわち、回転領域判定部 3 2 は、回転数絶対値 N_{abs} が低回転閾値 N_{th_low} よりも低い場合には、回転域判定結果として低回転領域を示す「Lo」を出力する。一方、回転数絶対値 N_{abs} が低回転閾値 N_{th_low} 以上である場合には、高回転領域を示す「Hi」を出力する。なお、低回転閾値 N_{th_low} は、モータ 2 の回転数が低く、一部の相の巻線への通電量が多くなる回転数である。なお、低回転領域は、モータ 2 がロックされている状態を含む。

10

【0033】

図 3 は、巻線温度推定部 4 の詳細について示す図である。

【0034】

電流ベクトルノルム演算部 4 1 は、d 軸電流推定値 i_{d_est} 、及び、q 軸電流推定値 i_{q_est} の入力に基づいて、次の式より、電流ベクトルノルム値 I_a^2 を算出する。そして、電流ベクトルノルム演算部 4 1 は、電流ベクトルノルム値 I_a^2 を損失演算部 4 2 に出力する。

20

【0035】

【数 4】

$$I_a^2 = I_{d_est}^2 + I_{q_est}^2 \quad \cdots (4)$$

【0036】

損失演算部 4 2 は、電流ベクトルノルム値 I_a^2 に対してモータ 2 全体の熱抵抗 R_{loss} を乗ずることにより電力損失 P_{loss} を算出し、算出した電力損失 P_{loss} を温度演算部 4 3 に出力する。なお、電力損失 P_{loss} は、モータ 2 へ入力される入力電力を示しており、モータ 2 の回転駆動に用いられるエネルギーだけでなく、熱損失のエネルギーを含む。

30

【0037】

温度演算部 4 3 は、熱回路モデルである。この熱回路モデルは、モータ 2 が低回転領域である場合のモデルであって、電力損失 P_{loss} の入力に対してモータ 2 の 3 相の巻線における最大上昇温度である推定変化温度 ΔT_{est} を出力とする伝達関数 $G(s)$ により示される。温度演算部 4 3 は、電力損失 P_{loss} に対して伝達関数 $G(s)$ に基づく演算をすることにより、推定変化温度 ΔT_{est} を算出する。なお、この伝達関数 $G(s)$ は、次数が少なくとも 1 次以上の動特性を持つ伝達関数である。

【0038】

加算器 4 4 は、基準温度 T_{base} と推定変化温度 ΔT_{est} とを加算することにより、モータ 2 における複数の相の巻線のうち、最も温度が高くなる相の巻線の推定最高温度 T_{est} を算出する。

40

【0039】

図 4 は、制限率演算部 5 における処理に用いられる、推定最高温度 T_{est} とトルク制限率 R_{lim} との関係を示すグラフである。このグラフによれば、推定最高温度 T_{est} が、トルク制限を行わない上限温度である温度閾値 T_{100} を下回る場合には、トルク制限率 R_{lim} は R_{100} (100%) となる。

【0040】

ここで、トルク制限率 R_{lim} には、巻線が高温になることに起因する絶縁劣化を抑制できるトルク制限下限値 R_{min} が存在する。また、モータ 2 には、推定最高温度 T_{est} が大き

50

くなくても、トルク制限下限値 $R_{\min}$ を用いて制限することにより、絶縁劣化を抑制できる温度があり、その温度の下限が温度閾値 $T_{\min}$ として定められる。

【0041】

そのため、推定最高温度 T_{est} が温度閾値 $T_{\min}$ を上回る場合には、トルク制限下限値 $R_{\min}$ を用いて電流を制限する。そして、推定最高温度 T_{est} が温度閾値 T_{100} と温度閾値 $T_{\min}$ との間にある場合には、温度が大きくなるほどトルク制限率 $R_{\lim}$ は小さくなるように設定される。

【0042】

図5は、トルク指令値演算部6の動作の詳細を示す図である。

【0043】

乗算器61においては、トルク上限値 $T_{rq_lim_upper}$ に対してトルク制限率 $R_{\lim}$ が乗じられて、制限後トルク上限値 T_{rq_upper} が算出される。また、乗算器62においては、トルク下限値 $T_{rq_lim_lower}$ に対してトルク制限率 $R_{\lim}$ が乗じられて、制限後トルク下限値 T_{rq_lower} が算出される。比較器63においては、制限後トルク下限値 T_{rq_lower} と、トルク指令値 T^* とが比較され、それらのうちの大きい値が比較器64に出力される。比較器64は、比較器63からの出力値と、制限後トルク上限値 T_{rq_upper} とを比較して、それらのうちの小さい値をスイッチ65に出力する。

【0044】

同時に、比較器66においては、トルク指令値 T^* とトルク下限値 $T_{rq_lim_lower}$ とが比較され、大きい方を比較器67に出力する。比較器67は、比較器66からの出力値と、トルク上限値 $T_{rq_lim_upper}$ とを比較して、それらのうちの小さい値をスイッチ65に出力する。

【0045】

スイッチ65においては、低回転領域判定部3から出力される回転域判定結果に基づいて、比較器64または比較器67からの出力のうちのいずれかを、最終トルク指令値 T^*_{fin} として出力する。

【0046】

具体的には、回転域判定結果が Lo (低回転領域) である場合には、スイッチ65は、比較器64からの出力を、最終トルク指令値 T^*_{fin} として出力する。このようにすることで、トルク指令値 T^* は、トルク制限率 $R_{\lim}$ が考慮された制限後トルク上限値 T_{rq_upper} 及びトルク制限後下限値 T_{rq_lower} により制限される。そのため、モータ2における発熱量が抑制され、巻線の絶縁劣化が防止される。

【0047】

一方、回転域判定結果が Hi (高回転領域) である場合には、スイッチ65は、比較器67からの出力を、最終トルク指令値 T^*_{fin} として出力する。したがって、トルク指令値 T^* は、トルク制限率 $R_{\lim}$ が考慮されていないトルク上限値 $T_{rq_lim_upper}$ 及びトルク下限値 $T_{rq_lim_lower}$ により制限される。

【0048】

図6は、トルク制御部7の詳細構成図である。

【0049】

トルク制御部7は、電流ベクトル制御部71、電圧位相制御部72、制御切替判定部73、及び、制御モード切替部74を備える。制御切替判定部73による判定結果に応じて、制御モード切替部74は、電流ベクトル制御部71、または、電圧位相制御部72のいずれかからの出力を用いて、モータ2を制御する。

【0050】

電流ベクトル制御部71には、最終トルク指令値 T^*_{fin} 、回転数検出値 N 、バッテリー電圧検出値 V_{dc} 、d軸電流推定値 i_{d_est} 、及び、q軸電流推定値 i_{q_est} が入力される。電流ベクトル制御部71は、これらの入力値に基づいて電流ベクトル制御に用いる電流ベクトル制御用電圧指令値 v^*_{di} 、 v^*_{qi} を算出し、これらの指令値を制御モード切替部74に出力する。

【0051】

電圧位相制御部 72 には、最終トルク指令値 T_{fin}^* 、回転数検出値 N 、バッテリー電圧検出値 V_{dc} 、d 軸電流推定値 i_{d_est} 、及び、q 軸電流推定値 i_{q_est} が入力される。電圧位相制御部 72 は、これらの入力値に基づいて電圧位相制御に用いる電圧位相制御用電圧指令値 v_{dv}^* 、 v_{qv}^* を算出し、これらの指令値を制御モード切替部 74 に出力する。

【0052】

制御切替判定部 73 は、モータ 2 の制御に電流ベクトル制御または電圧位相制御のいずれを用いるか判定する。モータ 2 が低速回転または通常速度範囲で回転している場合には電流ベクトル制御が選択される。一方、モータ 2 が高速回転しており弱め界磁制御が行われる場合などには、電圧位相制御が選択される。制御切替判定部 73 は、選択した結果を示す切替判定フラグを、制御モード切替部 74 に出力する。

10

【0053】

制御モード切替部 74 は、切替判定フラグが電流ベクトル制御を示す場合には、電流ベクトル制御部 71 から出力される電流ベクトル制御用電圧指令値 v_{di}^* 、 v_{qi}^* を、電圧指令値 v_d^* 、 v_q^* として出力する。

【0054】

一方、制御モード切替部 74 は、切替判定フラグが電圧位相制御を示す場合には、電圧位相制御部 72 から出力される電圧位相制御用電圧指令値 v_{dv}^* 、 v_{qv}^* を、電圧指令値 v_d^* 、 v_q^* として出力する。

20

【0055】

以下では、電流ベクトル制御部 71、及び、電圧位相制御部 72 の構成の詳細について説明する。

【0056】

図 7 は、電流ベクトル制御部 71 の d 軸に関する制御の詳細を示すブロック図である。q 軸に関する制御に関する構成は、d 軸と同様の構成によって行われるため、説明を省略する。

【0057】

電流ベクトル制御部 71 においては、最終トルク指令値 T_{fin}^* に応じた回転トルクを発生させるための指令値を算出する電流指令値演算部 711 と、電流の磁束への干渉を抑制するための指令値を算出する非干渉電圧演算部 712 とを備えている。

30

【0058】

まず、電流指令値の算出について説明する。

【0059】

電流指令値演算部 711 は、予め記憶しているテーブルを用いて、最終トルク指令値 T_{fin}^* 、回転数検出値 N 、及び、バッテリー電圧検出値 V_{dc} の入力に基づいて、電流指令値 i_d^* を算出すると、電流指令値 i_d^* を減算器 713 に出力する。

【0060】

減算器 713 は、電流指令値 i_d^* から d 軸電流推定値 i_{d_est} を減じて、減算結果を P I 演算部 714 に出力する。

【0061】

40

P I 演算部 714 においては、電流指令値 i_d^* と d 軸電流推定値 i_{d_est} との偏差を P I 増幅するために、次の式を用いて、d 軸電圧指令値 v_{di}' が求められる。なお、この式において K_{pd} は d 軸比例ゲインを、 K_{id} は d 軸積分ゲインを示すものとする。

【0062】

【数 5】

$$v_{di}' = \frac{K_{pd}s + K_{id}}{s} (i_d^* - i_d) \cdots (5)$$

【0063】

50

そして、P I 演算部 7 1 4 は、d 軸電圧指令値 v_{di}' を加算器 7 1 5 に出力する。

【0064】

次に、非干渉成分の算出について説明する。

【0065】

非干渉電圧演算部 7 1 2 は、予め記憶しているテーブルを用いて、最終トルク指令値 T_{fin}^* 、回転数検出値 N 、及び、バッテリー電圧検出値 V_{dc} の入力に基づいて、d 軸電圧指令値 $v_{d_dcpl}^*$ を算出する。そして、非干渉電圧演算部 7 1 2 は、電圧指令値 v_d^* をフィルタ 7 1 6 に出力する。

【0066】

フィルタ 7 1 6 は、次の式の伝達関数の特性を備えており、入力値である電圧指令値 $v_{d_dcpl}^*$ に対して電流規範応答のフィルタ処理を行ったものを、d 軸非干渉電圧値 $v_{d_dcpl_flt}^*$ として加算器 7 1 5 に出力する。

【0067】

【数 6】

$$\frac{1}{\tau_m s + 1} \cdots (6)$$

【0068】

加算器 7 1 5 は、d 軸電圧指令値 v_{di}' と d 軸非干渉電圧値 $v_{d_dcpl_flt}^*$ とを加算する。その結果、次の式に示されるような電流ベクトル制御用電圧指令値 v_{di}^* を算出する。

【0069】

【数 7】

$$v_{di}^* = v_{d_dcpl_flt}^* + v_{di}' \cdots (7)$$

【0070】

図 8 は、電圧位相制御部 7 2 の制御の詳細を示すブロック図である。

30

【0071】

電圧指令値演算部 7 2 1 は、予め記憶しているテーブルを用いて、最終トルク指令値 T_{fin}^* 、回転数検出値 N 、及び、バッテリー電圧検出値 V_{dc} の入力に基づいて、電圧振幅指令値 V_a^* と電圧位相指令値 α_{ff}^* とを算出する。電圧指令値演算部 7 2 1 は、電圧振幅指令値 V_a^* をベクトル変換部 7 2 2 に出力するとともに、電圧位相指令値 α_{ff}^* を加算器 7 2 3 に出力する。

【0072】

ブロック 7 2 4 は、(6) 式で示した電流規範応答と同じ特性のフィルタを備えており、入力される最終トルク指令値 T_{fin}^* に対してフィルタ処理を行い、次の式のように、規範トルク T_{ref} を算出する。そして、ブロック 7 2 4 は、規範トルク T_{ref} を減算器 7 2 5

40

【0073】

【数 8】

$$T_{ref} = \frac{1}{\tau_m s + 1} T_{fin}^* \cdots (8)$$

【0074】

トルク推定部 7 2 6 は、入力される d 軸電流推定値 i_{d_est} 、及び、q 軸電流推定値 i_q

50

ω_{est} に基づいて、推定トルク T_{cal} を算出し、推定トルク T_{cal} を減算器 725 に出力する。なお、トルク推定部 726 における推定処理は、次の式で示すことができる。この式において、 L_d 、及び、 L_q はそれぞれ d 軸インダクタンス及び q 軸インダクタンスを示し、 Φ_a は電圧と電流との位相差を示す。また、 p は、所定の定数を示す。

【0075】

【数9】

$$T_{cal} = p \{ \Phi_a + (L_d - L_q) \cdot i_d \} i_q \cdots (9)$$

10

【0076】

減算器 725 は、規範トルク T_{ref} から推定トルク T_{cal} を減算し、その減算結果を P I 演算部 727 に出力する。

【0077】

P I 演算部 727 においては、減算器 725 から算出される規範トルク T_{ref} と推定トルク T_{cal} との偏差を P I 増幅することにより電圧位相補正值 α_{fb}^* を算出する。具体的には、P I 演算部 727 においては、次の式の計算が行われる。そして、P I 演算部 727 は、演算結果を加算器 723 に出力する。

【0078】

【数10】

$$\alpha_{fb}^* = \frac{K_p s + K_i}{s} (T_{ref} - T_{cal}) \cdots (10)$$

20

【0079】

加算器 723 は、電圧位相指令値 α_{ff}^* と電圧位相補正值 α_{fb}^* とを加算し、その加算結果である α_{fin}^* をベクトル変換部 722 に出力する。加算器 723 における処理は次の式で示すことができる。

【0080】

【数11】

$$\alpha_{fin}^* = \alpha_{ff}^* + \alpha_{fb}^* \cdots (11)$$

30

【0081】

ベクトル変換部 722 は、次の式を用いて、入力される電圧振幅指令値 V_a^* と最終電圧位相指令値 α_{fin}^* とを d q 軸成分に変換する。そして、ベクトル変換部 722 は、変換結果を、電圧位相制御用電圧指令値 v_{dv}^* 、 v_{qv}^* として出力する。

【0082】

【数12】

$$\begin{cases} v_{dv}^* = -V_a^* \sin \alpha_{fin}^* \\ v_{qv}^* = V_a^* \cos \alpha_{fin}^* \end{cases} \cdots (12)$$

40

【0083】

図9は、モータ2における温度変化を示す図である。この図によれば、推定最高温度 T

50

T_{est} が実線で、U相、V相、及び、W相の巻線の温度 T_u 、 T_v 、及び、 T_w とが、それぞれ、一点鎖線、二点鎖線、及び、三点鎖線で示されている。

【0084】

各相の巻線の温度 T_u 、 T_v 、 T_w よりも推定最高温度 T_{est} の方が高くなるように予測される。そのため、モータ2が低回転領域にあり、例えば、ロックしていることにより、U相の巻線にだけ電流が引加されモータ2内にて温度に偏りある場合であっても、推定最高温度 T_{est} は、モータ2内のU相の巻線温度 T_u を上回る。

【0085】

したがって、このようにモータ2内の複数の相の巻線のうち、最も温度が高くなる相の巻線の最高温度を上回るように推定最高温度 T_{est} が推定され、推定最高温度 T_{est} を用いてトルク制限を行うことにより、モータ2内の全ての巻線において加熱による絶縁劣化を抑制することができる。

10

【0086】

第1実施形態のモータ2の制御方法によれば、以下の効果を得ることができる。

【0087】

第1実施形態のモータ2の制御方法によれば、巻線温度推定部4が備える伝達関数 $G(s)$ は、モータ2へ入力される電力を示す電力損失 P_{loss} に応じてモータ2内の複数の相の巻線のうち、最も温度が高くなる相の巻線の最高温度を上回るような温度を算出できるものである。すなわち、巻線温度推定部4によって推定される推定最高温度 T_{est} は、モータ2が、ほぼ回転駆動していない状態でトルクを発生するようなロック状態を含む低回転領域にあり、一部の相（例えばU相）にだけ電流が流れ続ける場合であっても、モータ2内の巻線の最高温度となる相（例えばU相）の巻線における温度を上回る。

20

【0088】

そのため、推定最高温度 T_{est} に基づいてトルク制限を行うことにより、モータ2が低回転領域であっても、巻線のいずれの相においても温度が高くなりすぎることがないので、絶縁劣化を抑制することができる。

【0089】

また、モータ2においては、基準温度 T_{base} の測定に用いる温度計のみを設ければよく、全ての相の巻線に温度センサを取り付ける必要はないので、生産コストの低減を図ることができる。

30

【0090】

第1実施形態のモータ2の制御方法によれば、モータ2の低回転状態は、モータ2がロックされている状態を含む。モータ2はロックされている場合には、無回転状態で特定の相にだけ電流が印加され続けることになるため、モータ2内の温度の偏りが大きい。そのため、モータ2内の巻線の最高温度を上回るように推定最高温度 T_{est} を推定することで、巻線における絶縁劣化を抑制することができる。

【0091】

（第2実施形態）

第1実施形態においては、巻線温度推定部4において伝達関数 $G(s)$ を用いて推定変化温度 ΔT_{est} を算出する例について説明した。本実施形態においては、伝達関数 $G(s)$ を所定のタイミングで初期化することにより、巻線温度推定部4による推定変化温度 ΔT_{est} の推定精度を向上させる例について説明する。

40

【0092】

図10は、本実施形態のモータ制御装置1の概略構成図である。

【0093】

この図のモータ制御装置1は、図1に示した第1実施形態のモータ制御装置1と比較すると、モータ2のある相（例えばU相）における巻線の温度を測定する温度センサ16がさらに設けられる点、温度センサ16にて検出された測定温度 T_{sen} が巻線温度推定部4に入力される点、及び、低回転領域判定部3から回転域判定結果が巻線温度推定部4に入力される点が異なる。

50

【0094】

図11は、本実施形態の巻線温度推定部4の詳細構成図である。

【0095】

この図に示される巻線温度推定部4は、図3に示した第1実施形態の巻線温度推定部4と比較すると、温度演算部43に回転域判定結果が入力される点と、減算器45がさらに設けられている点と、温度演算部43に減算器45による減算結果が入力される点とが異なる。

【0096】

巻線温度推定部4においては、回転域判定結果がHi（高回転領域）からLo（低回転領域）へ切り替わるタイミングにおいて、推定変化温度 ΔT_{est} の算出に用いられる伝達関数 $G(s)$ で示されるフィルタを、測定温度 T_{sen} から基準温度 T_{base} を減じた値によって初期化処理を行う。これは、最終的に算出される推定最高温度 T_{est} の算出処理に用いるフィルタを、測定温度 T_{sen} で初期化することと等価である。換言すれば、モータ2が低回転状態に遷移したタイミングから、測定温度 T_{sen} を初期値として、推定最高温度 T_{est} の推定処理が開始されることに等しい。

【0097】

図12は、モータ2における温度変化を示す図である。この図によれば、推定最高温度 T_{est} が点線で、U相、V相、及び、W相の巻線の温度 T_u 、 T_v 、及び、 T_w とが、それぞれ、一点鎖線、二点鎖線、及び、三点鎖線で示されている。

【0098】

この図によれば、モータ2が低回転領域に遷移する時刻 t_1 において伝達関数 $G(s)$ の初期化を行わない場合が点線で示されている。そして、時刻 t_1 で伝達関数 $G(s)$ の初期化を行なう場合が実線で示されている。

【0099】

点線で示されているように、モータ2が低回転領域に遷移する時刻 t_1 で伝達関数 $G(s)$ の初期化が行われなければ、低回転領域においても高回転領域の結果を引き継ぐように、伝達関数 $G(s)$ のフィルタを用いた推測ステップが実行されてしまう。すなわち、低回転領域に遷移した後において、推定最高温度 T_{est} は、高回転領域における演算結果を引き継いでしまう。そのため、低回転領域に遷移後に推定最高温度 T_{est} とモータ2内の最高温度であるU相の温度 T_u とが乖離してしまい、推定精度が悪くなってしまう。

【0100】

そこで、実線で示されるように、時刻 t_1 で、測定温度 T_{sen} に基づき伝達関数 $G(s)$ のフィルタを初期化する。このようにすることにより、推定最高温度 T_{est} は、推定精度の悪い高回転状態における推定結果を引き継がなくなるので、低回転領域に遷移後の推定精度を高めることができる。

【0101】

第2実施形態のモータ2の制御方法によれば、以下の効果を得ることができる。

【0102】

第2実施形態のモータ2制御方法によれば、巻線温度推定部4の伝達関数 $G(s)$ のフィルタは、低回転領域におけるモータ2内における推定最高温度 T_{est} を推定するために、モータ2内の温度の偏りを考慮して設計されている。そのため、温度の偏りが少ない高回転領域においては、検出温度 T_u 、 T_v 、 T_w はほぼ等しくなるので、推定最高温度 T_{est} の推定精度が低い。

【0103】

高回転領域から同じ伝達関数 $G(s)$ のフィルタを用いて計算を続けてしまうと、低回転領域状態に遷移した直後においては、推定最高温度 T_{est} は、高回転領域の演算結果を引き継いでしまうので推定精度が悪くなってしまう。

【0104】

そこで、低回転状態に遷移した時に、測定温度 T_{sen} に基づいて推定最高温度 T_{est} の算出に用いる伝達関数 $G(s)$ のフィルタを初期化する。このようにすることにより、推定

10

20

30

40

50

最高温度 T_{est} は、推定精度の悪い高回転状態における推定結果を引き継がなくなるので、低回転領域に遷移後において推定精度を高めることができる。

【0105】

換言すれば、高回転領域では推定最高温度 T_{est} の推定精度が低くなってしまうという課題に対して、高回転領域から低回転領域への遷移時に、測定温度 T_{sen} によって伝達関数 $G(s)$ のフィルタを初期化する、すなわち、測定温度 T_{sen} を用いた推定最高温度 T_{est} の推定処理を開始することにより、高回転領域の算出結果を引き継がなくなるので、低回転領域への遷移後の推定精度を向上することができる。

【0106】

(第3実施形態)

10

第2実施形態においては、伝達関数 $G(s)$ のフィルタの初期化に測定温度 T_{sen} を用いる例について説明した。本実施形態においては、さらに推定精度を向上させるために伝達関数 $G(s)$ のフィルタを初期化する他の方法について説明する。

【0107】

図13は、第3実施形態における巻線温度推定部4の詳細構成図である。この図によれば、図11に示した第2実施形態における巻線温度推定部4と比較すると、巻線温度推定部4が初期化温度演算部46をさらに有する点が異なる。

【0108】

初期化温度演算部46は、測定温度 T_{sen} 、及び、回転域判定結果の入力に応じて、初期化温度 T_{ini} を出力する。減算器45は、初期化温度 T_{ini} から基準温度 T_{base} を減じ、減算結果を温度演算部43に出力する。そして、この減算結果は、温度演算部43における伝達関数 $G(s)$ のフィルタの初期化に用いられる。最終的に、温度演算部43の演算結果である推定変化温度 ΔT_{est} と基準温度 T_{base} とが加算器44によって加算されることにより、推定最高温度 T_{est} が算出される。このような巻線温度推定部4における動作は、初期化温度 T_{ini} を初期値として、推定最高温度 T_{est} の推定ステップが開始されることに等しい。

20

【0109】

図14は、初期化温度演算部46の詳細構成図である。初期化温度演算部46は、初期化温度補正部461と加算器462とを備える。初期化温度補正部461は、補正ステップを実行する構成の一例である。

30

【0110】

初期化温度補正部461には、収束値である0（ゼロ）と、前回値の推定最高温度 $T_{est}[k-1]$ と、回転域判定結果とが入力される。そして、これらの入力値から、初期化温度 T_{ini} の補正に用いる初期化補正温度値 T_{trans} を出力する。

【0111】

ここで、初期化温度補正部461は、モータ2が高回転領域の状態である場合にのみ演算されるフィルタ $H(s)$ を備えており、このフィルタ $H(s)$ を用いて、初期化補正温度 T_{trans} が算出される。すなわち、初期化補正温度 T_{trans} は、高回転領域への遷移時から、遷移時時の推定最高温度 T_{est} からゼロに収束するように変化する。

40

【0112】

そして、加算器462は、測定温度 T_{sen} と、初期化補正温度 T_{trans} とを加算することにより初期化温度 T_{ini} は算出し、図13に示す減算器45に出力する。なお、初期化温度 T_{ini} は、次の式のように求めることができる。

【0113】

【数 1 3】

$$T_{ini}[k] = T_{sen}[k] + T_{trans}[k] \cdots (13)$$

【0 1 1 4】

このようにすることにより、モータ 2 の低回転状態への遷移時に伝達関数 $G(s)$ の初期化に用いる初期化温度 T_{ini} は補正される。具体的には、初期化温度 T_{ini} は、測定温度 T_{sen} に対して初期化補正温度 T_{trans} だけ補正される。

10

【0 1 1 5】

なお、本実施形態においては、モータ 2 が高回転状態である場合には、補正された初期化温度 T_{ini} が、推定最高温度 T_{est} として用いられる。このようにすることにより、初期化温度 T_{ini} は、低回転領域から高回転領域への遷移時においては、その前後において同じ推定最高温度 T_{est} が用いられることになる。高回転領域から低回転領域への遷移時においては、初期化温度 T_{ini} によって温度演算部 43 の伝達関数 $G(s)$ のフィルタが初期化されることになるので、その前後において同じ初期化温度 T_{ini} になる。したがって、推定最高温度 T_{est} の変化を滑らかにすることができる。

20

【0 1 1 6】

上述のように、巻線温度推定部 4 における処理は、モータ 2 が低回転状態に遷移したタイミングから、測定温度 T_{sen} を初期値として、推定最高温度 T_{est} の推定処理が開始されることに等しい。そして、推定最高温度 T_{est} の推定処理に伝達関数 $G(s)$ のフィルタが用いられており、その初期化は初期化温度 T_{ini} に基づいて行われる。このような等価な機能において本実施形態の動作を考察すれば、初期化温度 T_{ini} が補正されており、その補正值は、高回転状態に遷移したタイミングから、その遷移タイミングでの推定最高温度 T_{est} から測定温度 T_{sen} にフィルタ $H(s)$ の特性に従って収束することになる。

【0 1 1 7】

なお、フィルタ $H(s)$ は、モータ 2 における放熱特性を備える伝達関数であり、巻線温度推定に用いられる熱モデルの伝達関数 $G(s)$ と同じである。また、フィルタ $H(s)$ は、放熱特性として $G(s)$ のうちの支配的な一部である伝達特性 $G'(s)$ であってもよい。

30

【0 1 1 8】

図 15 は、モータ内の温度の変化を示す図である。この図によれば、V 相、及び、W 相の巻線の温度 T_u 、 T_v 、及び、 T_w とが、それぞれ、一点鎖線、二点鎖線、及び、三点鎖線で示されている。また、モータ 2 は、低回転領域から高回転領域に移る時刻 t_1 の後に、再度、時刻 t_2 において低回転領域に遷移する。

【0 1 1 9】

時刻 t_1 までの間は U 相に多くの電流が流れているものとする。また、V 相の巻線に温度センサ 16 が設けられており、測定温度 T_{sen} は V 相温度 T_v と等しいものとする。また、実線で推定最高温度 T_{est} が示されている。時刻 t_2 以降では、さらに、点線で、本実施形態の補正が行われない場合の推定最高温度 T_{est} が示されている。

40

【0 1 2 0】

なお、上述のように、推定最高温度 T_{est} は、高回転領域である時刻 t_1 と時刻 t_2 との間においては、初期化温度 T_{ini} が設定されている。また、点線で示したように、本実施形態の補正が行われない場合には、低回転領域に遷移する時刻 t_2 において、測定温度 $T_{sen}(T_v)$ にて初期化されている。

【0 1 2 1】

ここで、時刻 t_1 から時刻 t_2 までの時間、すなわち、高回転領域の時間が短い場合には、時刻 t_2 においてモータ 2 内において温度の偏りがある。そのため、低回転領域に用い

50

られる $G(s)$ フィルタは、モータ 2 に温度の偏りがあることを前提に設計されているため、 $G(s)$ フィルタを用いて算出される推定最高温度 T_{est} の方が、測定温度 T_{sen} よりもモータ 2 内の最高温度を適切に示している。

【0122】

図 15 を参照すれば、時刻 t_2 においては、モータ 2 内の最高温度である U 相温度 T_u は、測定温度 T_{sen} (T_v) を上回っている。そのため、測定温度 T_{sen} (T_v) を用いて伝達関数 $G(s)$ のフィルタを初期化してしまうと、時刻 t_2 以降の一部区間において、推定最高温度 T_{est} (点線) は U 相温度 T_u を下回ってしまう。

【0123】

そこで、実線で示すように初期化温度 T_{ini} を補正する。このようにすると、時刻 t_2 においては、初期化温度 T_{ini} は全ての相の温度を上回るため、この初期化温度 T_{ini} を用いてフィルタを初期化することにより、適切な推定最高温度 T_{est} を求めることができる。

10

【0124】

なお、上述のように、高回転区間である時刻 t_1 から時刻 t_2 までの間において、推定最高温度 T_{est} として補正された初期化温度 T_{ini} を用いることにより、その回転区間が遷移する時刻 t_1 及び時刻 t_2 において、推定最高温度 T_{est} が連続的に変化することになる。

【0125】

第 3 実施形態のモータ 2 の制御方法によれば、以下の効果を得ることができる。

【0126】

第 3 実施形態のモータ 2 の制御方法によれば、モータ 2 が低回転領域に遷移する時に伝達関数 $G(s)$ のフィルタの初期化に用いる初期化温度 T_{ini} を補正する。具体的には、補正に用いられる補正値は、高回転領域に遷移したタイミングから補正が開始され、初期化温度 T_{ini} は、推定最高温度 T_{est} から始まり経時的に測定温度 T_{sen} に収束するような値である。

20

【0127】

高回転領域の時間が短い場合には、モータ 2 内において温度の偏りが残るので、推定最高温度 T_{est} の方が、測定温度 T_{sen} よりもフィルタの初期化に適している。一方、高回転領域の時間が長い場合には、モータ 2 内における温度の偏りが経時的になくなるので、測定温度 T_{sen} の方が、推定最高温度 T_{est} よりもフィルタの初期化に適している。

【0128】

30

そこで、本実施形態のように、初期化温度 T_{ini} を、推定最高温度 T_{est} から測定温度 T_{sen} に収束するような値に補正する。これにより、高回転領域の時間が短い場合には、初期化温度 T_{ini} は、推定最高温度 T_{est} に近い値に補正される。一方、高回転領域の時間が長い場合には、初期化温度 T_{ini} は、測定温度 T_{sen} に近い値に補正される。

【0129】

したがって、適切な初期化温度 T_{ini} を用いてフィルタの初期化を行うことができるので、推定最高温度 T_{est} の推定精度を向上させることができ、適切に電流を制限することができる。

【0130】

第 3 実施形態のモータ制御方法によれば、初期化温度 T_{ini} の収束は、モータ 2 の放熱特性を持つ $H(s)$ に従う。ここで、低回転領域と高回転領域とが切り替わる場合や、長時間経過後に回転領域が変化する場合には、推定最高温度 T_{est} の推定精度が低く、かつ、測定温度 T_{sen} の信頼性も低い。

40

【0131】

ここで、モータ 2 内の温度の偏りがある場合には、推定最高温度 T_{est} の推定精度が高く、一方、モータ 2 内の温度の偏りがない場合には、測定温度 T_{sen} の信頼性が高い。したがって、推定最高温度 T_{est} から測定温度 T_{sen} への収束を、モータ 2 内の温度変化を決定するモータ 2 の放熱特性に従わせることにより、初期化温度 T_{ini} を精度よく補正することができる。

【0132】

50

(第4実施形態)

第1実施形態から第3実施形態までにおいてはモータ2が低回転領域である場合における動作について説明した。本実施形態においては、モータ2が高回転領域である場合における動作について説明する。

【0133】

図16は、本実施形態の巻線温度推定部4の構成を示すブロック図である。この図においては、図3に示した第1実施形態における巻線温度推定部4と比較すると、スイッチ47が設けられている点異なる。

【0134】

スイッチ47には、加算器44から出力される加算値に加えて、回転域判定結果と、測定温度 T_{sen} とが入力される。スイッチ47は、回転域判定結果がLo（低回転領域）である場合には、加算器44から出力される加算結果を推定最高温度 T_{est} として出力する。一方、スイッチ47は、回転域判定結果がHi（高回転領域）である場合には、測定温度 T_{sen} を推定最高温度 T_{est} として出力する。

【0135】

図17には、高回転領域における三相の検出温度 T_U 、 T_V 、 T_W が示されている。高回転領域においては、モータ2内に温度の偏りがないので、検出温度 T_U 、 T_V 、 T_W は、ほぼ等しい温度を示す。そこで、高回転領域においては推定最高温度 T_{est} として測定温度 T_{sen} を用いることにより、推定最高温度 T_{est} の推定精度を向上させることができる。

【0136】

なお、本実施形態を第3実施形態と併用する場合には、低回転領域から高回転領域に遷移した後の一定区間においては、第3実施形態に示したように、補正された初期化温度 T_{ini} を推定最高温度 T_{est} として用いることにより、遷移後の推定精度を向上させてもよい。

【0137】

第4実施形態のモータ2の制御方法によれば、以下の効果を得ることができる。

【0138】

第4実施形態のモータ2の制御方法によれば、モータ2が高回転領域である場合は、低回転領域である場合と比較すると、モータ2内の温度の偏りが少ないので、測定温度 T_{sen} の方が推定最高温度 T_{est} よりも、モータ2の各相の巻線における温度に近い。そこで、推定最高温度 T_{est} として測定温度 T_{sen} を用いることにより、電流制限によるブレーキがかかりにくくなるとともに、絶縁劣化を防ぐことができる。

【0139】

(第5実施形態)

第2実施形態又は第3実施形態までにおいては、測定温度 T_{sen} を用いて高回転領域と低回転領域との間の遷移期間における推定最高温度 T_{est} を求める例について説明した。本実施形態においては、測定温度 T_{sen} を用いずに、遷移期間における推定最高温度 T_{est} を求める例について説明する。

【0140】

図18は、本実施形態の温度演算部43の詳細な構成図である。

【0141】

第1演算部431においては、図4の損失演算部42から出力される電力損失 P_{loss} が入力される。第1演算部431においては、次の式に示される伝達関数を備えており、これに応じて第1上昇温度 ΔT_1 を算出する。

【0142】

10

20

30

40

【数 1 4】

$$\frac{1}{3} \times \frac{1}{C_d} \times \frac{1}{s + \frac{1}{R_d C_d}} \cdots (14)$$

【0 1 4 3】

スイッチ 4 3 2 には、ゼロ値と、電力損失 P_{loss} と、回転域判定結果とが入力される。回転域判定結果が Hi（高回転領域）である場合には、スイッチ 4 3 2 は、ゼロを出力し、回転域判定結果が Lo（低回転領域）である場合には、スイッチ 4 3 2 は、電力損失 P_{loss} を出力する。

10

【0 1 4 4】

第 2 演算部 4 3 3 は、次の式に示される伝達関数を備えており、スイッチ 4 3 2 からの入力に応じて第 2 上昇温度 ΔT_2 を算出する。

【0 1 4 5】

【数 1 5】

$$\frac{1}{3} \times \frac{1}{C_d} \times \frac{1}{s + \frac{1}{R_d C_d} + \frac{3}{R_x C_d}} \cdots (15)$$

20

【0 1 4 6】

加算器 4 3 4 においては、第 1 演算部 4 3 1 から出力される第 1 上昇温度 ΔT_1 と、第 2 演算部 4 3 3 から出力される第 2 上昇温度 ΔT_2 とを加算することにより、推定変化温度 ΔT_{est} が算出される。

【0 1 4 7】

なお、第 1 演算部 4 3 1 は第 1 推定ステップを実行する構成の一例である。第 2 演算部 4 3 3 は第 2 推定ステップを実行する構成の一例である。加算器 4 3 4 は加算ステップを実行する構成の一例である。

30

【0 1 4 8】

ここで、第 1 演算部 4 3 1、及び、第 2 演算部 4 3 3 の構成について説明する。

【0 1 4 9】

これらの構成は、図 1 9 に示される回路に基づいて算出されている。この図においては、U、V、W 相の巻線への入力電力の大きさが、 W_u 、 W_v 、 W_w として示されているとともに、U、V、W 相の巻線における増加温度が ΔT_u 、 ΔT_v 、 ΔT_w として示されている。また、U、V、W 相のそれぞれには抵抗成分 R_d とコンデンサ成分 C_d とが示されており、U、V、W 相のそれぞれの間における抵抗成分 R_x が示されている。

【0 1 5 0】

このような温度回路を前提として、まず、モータ 2 が高回転状態である場合について説明する。

40

【0 1 5 1】

モータ 2 が高回転状態である場合には、U、V、W 相には略等しい大きさの電力が加えられることになるため、電力損失 P_{loss} は、 W_u 、 W_v 及び W_w に、それぞれ $1/3$ ずつ分配される。

【0 1 5 2】

したがって、増加温度 ΔT_u 、 ΔT_v 、 ΔT_w は、次の行列式で示すことができる。なお、右辺の第 1 項は熱伝導に起因する成分であり、右辺の第 2 項は入力電力に応じた発熱成分である。

【0 1 5 3】

50

【数 1 6】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_V \\ \Delta T_W \end{bmatrix} = \frac{1}{C_d} \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_d} - \frac{2}{R_x} & \frac{1}{R_x} & \frac{1}{R_x} \\ \frac{1}{R_x} & -\frac{1}{R_d} - \frac{2}{R_x} & \frac{1}{R_x} \\ \frac{1}{R_x} & \frac{1}{R_x} & -\frac{1}{R_d} - \frac{2}{R_x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_V \\ \Delta T_W \end{bmatrix} + \frac{1}{C_d} \begin{bmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{bmatrix} P_{loss} \cdots (16)$$

【0 1 5 4】

10

この行列式によって、高回転領域でのU相の増加温度 ΔT_u である高回転増加温度 ΔT_{u_hi} は以下のように求めることができる。

【0 1 5 5】

【数 1 7】

$$\Delta T_{u_hi} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{C_d} \times \frac{1}{s + \frac{1}{R_d C_d}} \times P_{loss} \cdots (17)$$

【0 1 5 6】

20

次に、モータ 2 が低回転状態、例えば、ロックされている状態について検討する。

【0 1 5 7】

モータ 2 が低回転状態である場合において、U相巻線に最大の電力が印加されているものとする。そのような場合には、U相に入力される電流と比較すると、V、W相においては、U相と 120 度の位相差があるので、U相の半分の大きさの電流が流れることになる。電力は電流の 2 乗に比例するため、 W_u は、 W_v 及び W_w の 4 倍の大きさになる。したがって、入力される電力損失 P_{loss} は、 W_u に 2/3、 W_v 及び W_w に 1/6 ずつ分配される。

【0 1 5 8】

したがって、増加温度 ΔT_u 、 ΔT_v 、 ΔT_w は、次の行列式で示すことができる。なお、(16) 式と同様に、右辺の第 1 項は熱伝導に起因する成分であり、右辺の第 2 項は入力電力に応じた発熱成分である。

30

【0 1 5 9】

【数 1 8】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_V \\ \Delta T_W \end{bmatrix} = \frac{1}{C_d} \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_d} - \frac{2}{R_x} & \frac{1}{R_x} & \frac{1}{R_x} \\ \frac{1}{R_x} & -\frac{1}{R_d} - \frac{2}{R_x} & \frac{1}{R_x} \\ \frac{1}{R_x} & \frac{1}{R_x} & -\frac{1}{R_d} - \frac{2}{R_x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta T_U \\ \Delta T_V \\ \Delta T_W \end{bmatrix} + \frac{1}{C_d} \begin{bmatrix} \frac{2}{3} \\ \frac{1}{6} \\ \frac{1}{6} \end{bmatrix} P_{loss} \cdots (18)$$

40

【0 1 6 0】

この行列式を展開する際に上述の (17) 式を考慮すれば、低回転状態のU相の増加温度 ΔT_u である低回転増加温度 ΔT_{u_lo} は次の式のように書くことができる。

【0 1 6 1】

【数 19】

$$\Delta T_{u_{lo}} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{C_d} \times \frac{1}{s + \frac{1}{R_d C_d}} \times P_{loss} + \frac{1}{3} \times \frac{1}{C_d} \times \frac{1}{s + \frac{1}{R_d C_d} + \frac{3}{R_x C_d}} \times P_{loss} \cdots (19)$$

【0162】

ここで、(19)式の右辺第1項は(17)式の右辺と等しい。これは、(19)式の右辺第1項が高回転状態における高回転増加温度 $\Delta T_{u_{hi}}$ を示し、右辺第2項が低回転状態に起因する更なる増加温度を示すことになる。

10

【0163】

すなわち、高回転状態である場合には、(17)式により高回転増加温度 $\Delta T_{u_{hi}}$ を算出することができる。そして、低回転状態である場合には、(17)式の結果に(19)式の右辺第2項を加えることにより、低回転増加温度 $\Delta T_{u_{lo}}$ を求めることができる。

【0164】

換言すれば、(17)式と等しい(19)式の第1項は、高回転状態でも低回転状態のいずれの場合においても存在するため、回転状態によらない増加温度に相当するといえる。そして、(19)式の第2項は、低回転状態に起因する増加温度を示すことになる。

【0165】

図20には、モータ2の温度状態が示されている。

20

【0166】

図20には、上部にモータ2の位相が示されており、下部にモータ2の温度が示されている。また、推定最高温度 T_{est} が点線で、U相、V相、及び、W相における巻線の温度である T_u 、 T_v 、及び、 T_w とが、それぞれ、一点鎖線、二点鎖線、及び、三点鎖線で示されている。

【0167】

この図によれば、モータ2は、時刻 t_0 から時刻 t_1 までの間、及び、時刻 t_2 から時刻 t_3 までの間は、低回転領域である。時刻 t_1 から時刻 t_2 までの間は、高回転領域である。時刻 t_3 以降においては、高回転領域であり、時刻 t_1 から時刻 t_2 までの間よりも回転数は高い。

30

【0168】

時刻 t_0 から時刻 t_1 までの間においては、モータ2がロックされており、U相配線に主に電力が印加されるので、U相温度 T_u が、V相温度 T_v 及びW相温度 T_w よりも高い。そして、第1演算部431及び第2演算部433によって、(19)式に沿って低回転増加温度 $\Delta T_{u_{lo}}$ が算出されるので、低回転増加温度 $\Delta T_{u_{lo}}$ である推定最高温度 T_{est} はW相温度 T_w を上回らない。

【0169】

時刻 t_1 から時刻 t_2 までの間においては、モータ2は回転しており、各相の巻線には電力が順番に引加されるので、U相温度 T_u 、V相温度 T_v 及びW相温度 T_w は、振動しながら同じ値に収束する。時刻 t_1 においては、高回転領域に遷移するので、スイッチ432は出力をゼロに切り替える。そのため、第2演算部433から出力される第2上昇温度 ΔT_2 はゼロに収束することになるので、推定最高温度 T_{est} は、基準温度 T_{base} と第1上昇温度 ΔT_1 との和に収束する。第1演算部431によって、(17)式に沿って高回転増加温度 $\Delta T_{u_{hi}}$ が算出されるので、高回転増加温度 $\Delta T_{u_{hi}}$ である推定最高温度 T_{est} は、各相の巻線の最高温度を上回らない。

40

【0170】

時刻 t_2 から時刻 t_3 までの間においては、モータ2がロックされており、W相配線に主に電力が印加されるので、W相温度 T_w が、U相温度 T_u 及びV相温度 T_v よりも高い。時刻 t_2 においては、低回転領域に遷移するので、スイッチ432は出力を電力損失 P_{loss} に切り替える。そのため、第2演算部433から出力される第2上昇温度 ΔT_2 は電力損

50

失 P_{loss} に応じた値になるので、経時的に推定最高温度 T_{est} が大きくなることになる。
第1演算部431及び第2演算部433によって、(19)式に沿って低回転増加温度 $\Delta T_{u_{lo}}$ が算出されるので、低回転増加温度 $\Delta T_{u_{lo}}$ である推定最高温度 T_{est} はW相温度 T_w を上回らない。

【0171】

時刻 t_3 以降においては、モータ2が回転しており、その回転数は時刻 t_2 から時刻 t_3 までの間よりも高い。各相の巻線には電力が順番に引加されるので、U相温度 T_u 、V相温度 T_v 及びW相温度 T_w は、同じ値に収束する。時刻 t_3 においては、スイッチ432は出力をゼロに切り替えるため、第2演算部433から出力される第2上昇温度 ΔT_2 はゼロに収束することになる。したがって、(17)式に沿って高回転増加温度 $\Delta T_{u_{hi}}$ が算出されるので、高回転増加温度 $\Delta T_{u_{hi}}$ である推定最高温度 T_{est} は、各相の巻線の最高温度を上回らない。

10

【0172】

なお、図21は、本実施形態の巻線温度推定部4の変形例の一部である。加算器435が、第1演算部431の出力と基準温度 T_{base} とを加算して、第1推定温度 T_{est_1} を算出する。そして、加算器434が、第1推定温度 T_{est_1} と、第2演算部433によって算出される低回転状態に起因する第2上昇温度 ΔT_2 とを加算することにより、推定最高温度 T_{est} を求めることができる。

【0173】

第5実施形態のモータ2の制御方法によれば、以下の効果を得ることができる。

20

【0174】

第5実施形態のモータ2の制御方法によれば、高回転領域から低回転領域に遷移すると、第1演算部431により算出される第1推定温度 T_{est_1} に対して、第2演算部433により算出される第2上昇温度 ΔT_2 が加えられて、推定最高温度 T_{est} が予測される。第1推定温度 T_{est_1} は、モータ2への印加電力に応じて定められ、回転状態に応じて変化しない。一方、第2上昇温度 ΔT は、モータ2が低回転状態であることに起因する第1推定温度 T_{est_1} からの上昇温度を示す。

【0175】

ここで、他の構成として、高回転領域と低回転領域とのそれぞれにおいて推定温度を求め、回転領域が遷移する場合にそれぞれの推定温度にフィルタ処理を行って合算することでも、遷移時の推定温度を求めることができる。しかしながら、このような他の構成においては、一般的なフィルタ処理を行うしかないので、遷移状態をモデル化することができず、推定精度が低くなってしまう。

30

【0176】

これに対して、本実施形態においては、回転領域が遷移後の遷移期間を含む全区間においてモデル化された(19)式によって推定温度を求めることができるので、推定精度を向上させることができる。また、他の構成においてはフィルタの初期化等の処理が必要となるが、本実施形態においては、そのような処理を必要とせず、簡素な演算で高精度の推定を実現できている。

【0177】

40

第5実施形態のモータ2の制御方法によれば、スイッチ432は、低回転領域である場合には、第2演算部433に電力損失 P_{loss} を出力する。これは、低回転領域においては、(19)式に示したように、第1演算部431に相当する右辺第1項と、第2演算部433に相当する右辺第2項との和によって、推定最高温度 T_{est} が算出されるためである。一方、スイッチ432は、高回転領域である場合には、第2演算部433にゼロを出力する。これは、高回転領域においては、第2演算部433により算出される低回転領域に起因する増加温度の影響がないためである。

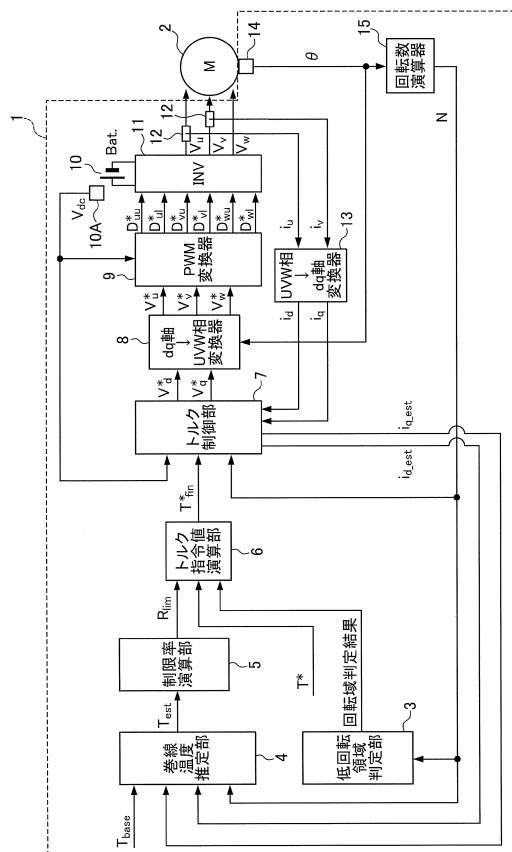
【0178】

第2演算部433に相当する右辺第2項には微分成分である「s」が存在するため、スイッチ432を切り替えた後においては、切り替え後の増加温度の変化を推定することが

50

【 0 1 7 9 】

【図 1】

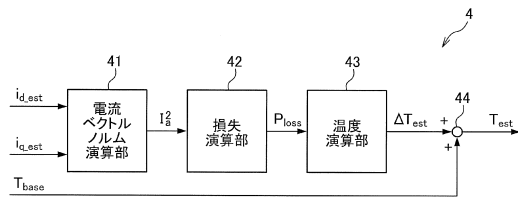


```

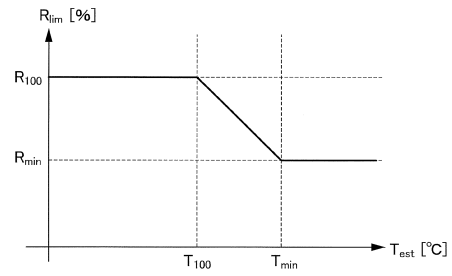
graph LR
    N[N] --> 31[絶対値演算部]
    31 -- N_abs --> 32[回転領域判定部]
    32 --> Result[回転領域判定結果]
    subgraph 3 [3]
        31
        32
    end

```

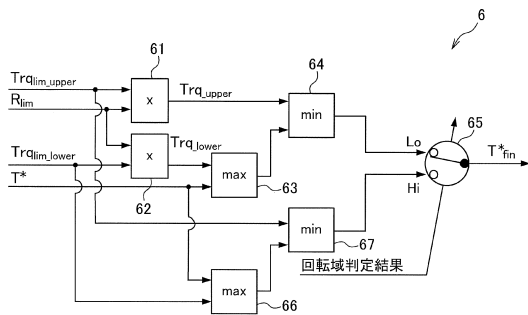
【図 3】



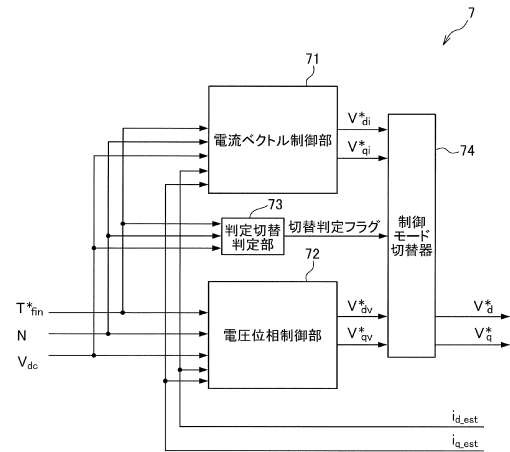
【図 4】



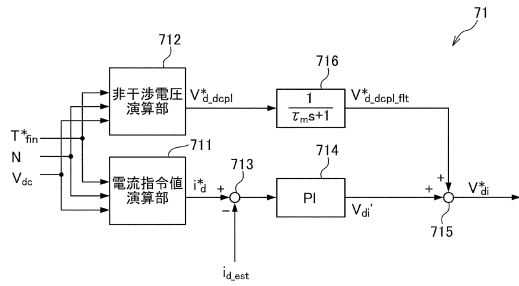
【図 5】



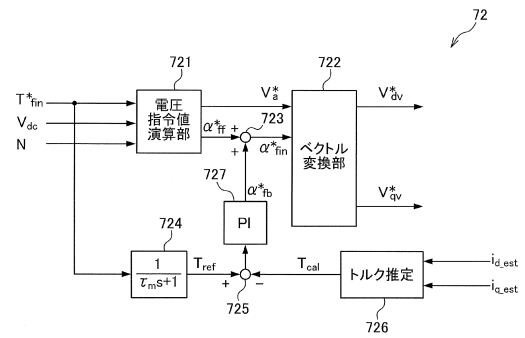
【図 6】



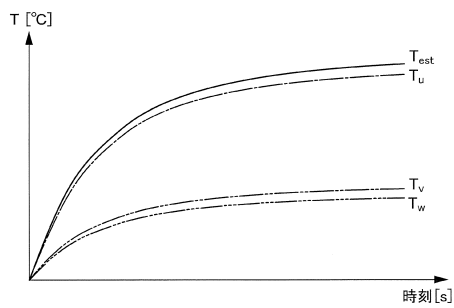
【図 7】



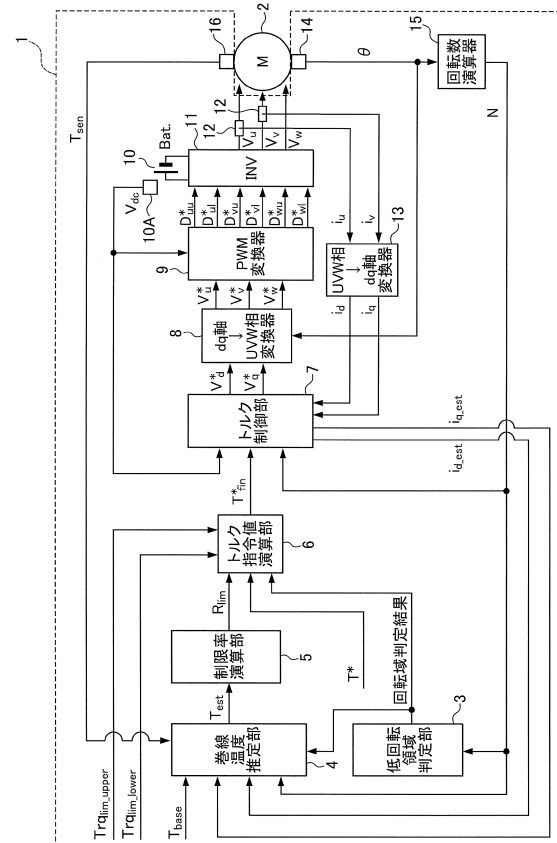
【図 8】



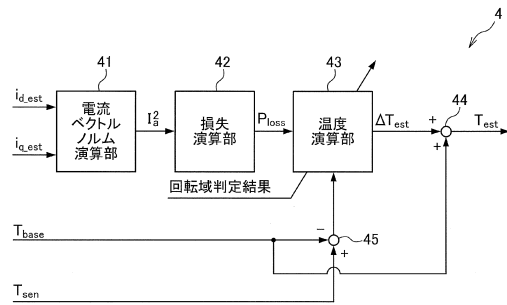
【図 9】



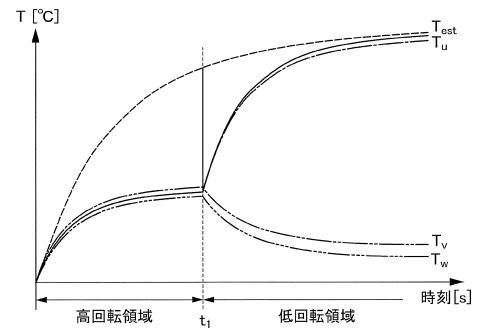
【図 10】



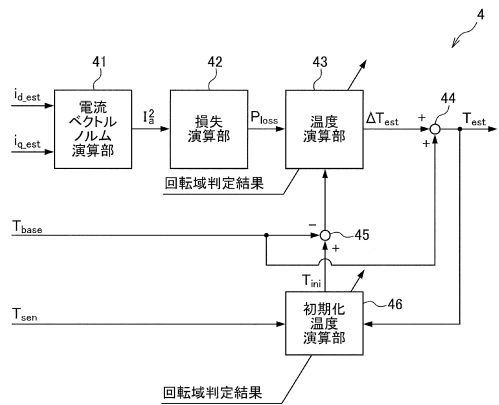
【図 1 1】



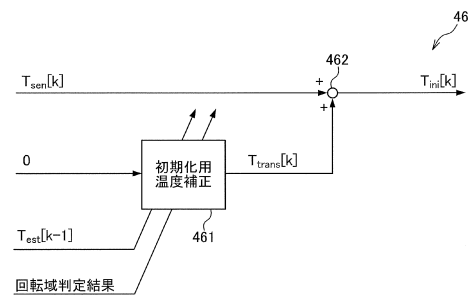
【図 1 2】



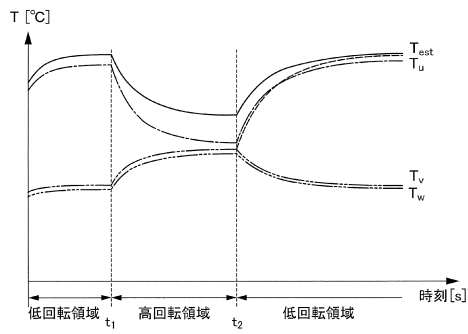
【図 1 3】



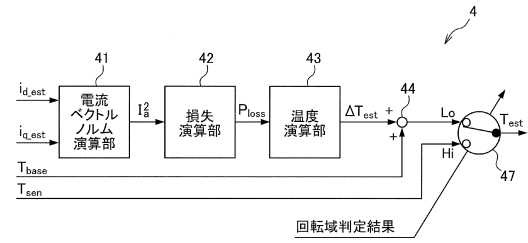
【図 1 4】



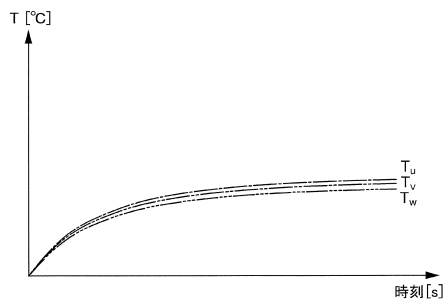
【図 15】



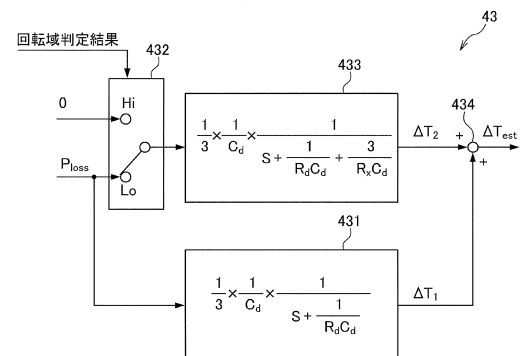
【図 16】



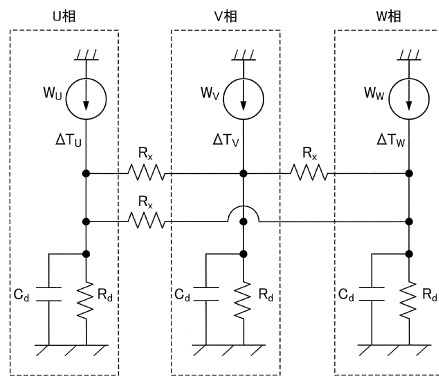
【図 17】



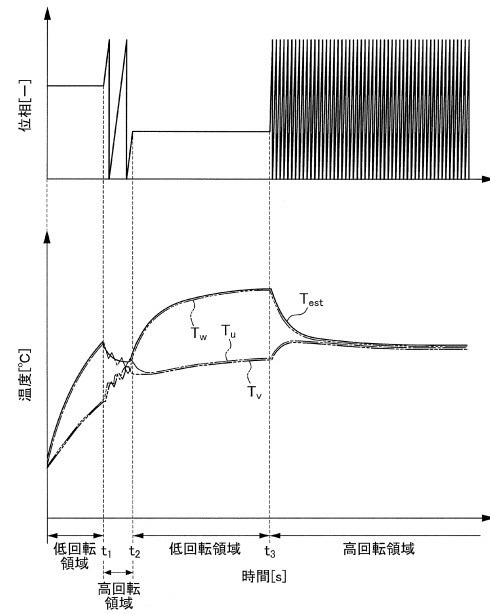
【図 18】



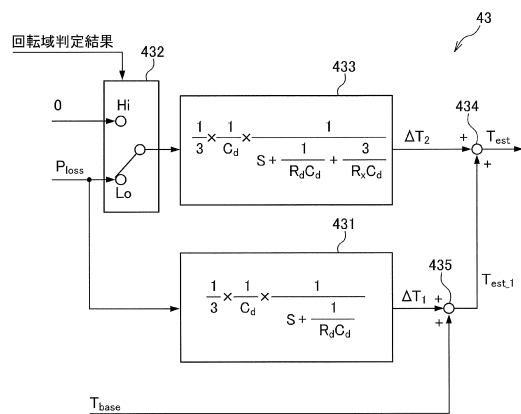
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

- (72)発明者 高橋 直樹
神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内
- (72)発明者 川村 弘道
神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内

審査官 尾家 英樹

- (56)参考文献 特開2010-148322 (JP, A)
特開2005-229661 (JP, A)
特開2010-111265 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 29/64