

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7585553号
(P7585553)

(45)発行日 令和6年11月18日(2024.11.18)

(24)登録日 令和6年11月8日(2024.11.8)

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 P	29/024 (2016.01)	H 0 2 P	29/024
H 0 2 P	29/68 (2016.01)	H 0 2 P	29/68
H 0 2 P	27/06 (2006.01)	H 0 2 P	27/06
H 0 2 P	25/22 (2006.01)	H 0 2 P	25/22
H 0 2 P	29/62 (2016.01)	H 0 2 P	29/62

請求項の数 8 (全31頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2024-521564(P2024-521564)
(86)(22)出願日	令和5年3月3日(2023.3.3)
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/008128
(87)国際公開番号	WO2023/223630
(87)国際公開日	令和5年11月23日(2023.11.23)
審査請求日	令和6年7月26日(2024.7.26)
(31)優先権主張番号	特願2022-82885(P2022-82885)
(32)優先日	令和4年5月20日(2022.5.20)
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)
(31)優先権主張番号	特願2022-121571(P2022-121571)
(32)優先日	令和4年7月29日(2022.7.29)
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)
(31)優先権主張番号	特願2022-147265(P2022-147265)
	最終頁に続く

(73)特許権者	000004204 日本精工株式会社 東京都品川区大崎1丁目6番3号
(74)代理人	100103850 弁理士 田中 秀 てつ
(74)代理人	100105854 弁理士 廣瀬 一
(74)代理人	100066980 弁理士 森 哲也
(72)発明者	丸橋 昭夫 東京都品川区大崎一丁目6番3号 日本精工株式会社内
審査官	島倉 理

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 モータ制御装置及び電動パワーステアリング装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電動モータに流れるモータ電流を制御するモータ電流制御回路と、
前記モータ電流制御回路付近に配置された温度検出素子を有する温度検出回路と、
前記モータ電流による前記電動モータの温度の上昇値を推定する上昇値推定部と、
前記温度検出回路が異常であるか否かを判定する異常判定部と、
前記温度検出回路が正常であると判定された場合に、前記温度検出回路が検出した検出温度を第1温度推定値として出力し、前記温度検出回路が異常であると判定された場合に、前記温度検出回路が検出した前記検出温度から所定の設定値まで一定の増加速度で漸増する値を前記第1温度推定値として出力する第1温度推定部と、
前記第1温度推定値に前記上昇値を加えた値を第2温度推定値として演算する第2温度推定部と、
前記第2温度推定値が所定の閾値を超えた場合に、前記第2温度推定値が高くなるほど漸減するように前記モータ電流を制限する電流制限部と、
を備え、
前記第1温度推定部は、前記温度検出回路が検出した前記検出温度が低い場合に比べて高い場合に、前記一定の増加速度をより低く設定することを特徴とするモータ制御装置。

【請求項2】

前記温度検出回路は、前記温度検出素子として第1温度検出素子と第2温度検出素子とを備え、前記第1温度検出素子の出力に応じた前記検出温度と前記第2温度検出素子の出

力に応じた前記検出温度とを出力し、

前記異常判定部は、前記第 1 温度検出素子と前記第 2 温度検出素子の出力に応じた前記検出温度のうちより高い第 1 検出温度とより低い第 2 検出温度との間の差分が所定値以上である場合に前記温度検出回路が異常であると判定し、

前記第 1 温度推定部は、前記温度検出回路が正常であると判定された場合に、前記第 1 検出温度を前記第 1 温度推定値として出力する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記異常判定部は、前記第 1 検出温度と前記第 2 検出温度との間の前記差分が前記所定値以上である状態が所定時間以上に亘って継続した場合に前記温度検出回路が異常であると判定し、

10

前記第 1 温度推定部は、前記第 1 検出温度と前記第 2 検出温度との間の前記差分が前記所定値以上である状態が前記所定時間に亘って継続した時点において前記温度検出回路が出力する前記第 1 検出温度から前記所定の設定値まで時間経過に伴って一定の増加速度で漸増する値を前記第 1 温度推定値として出力する、

ことを特徴とする請求項 2 に記載のモータ制御装置。

【請求項 4】

(削除)

【請求項 5】

前記異常判定部は、前記温度検出素子の出力信号が所定範囲内の値である場合に前記温度検出回路が正常であると判定し、前記温度検出素子の出力信号が前記所定範囲外の値である場合に前記温度検出回路が異常であると判定することを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

20

【請求項 6】

前記第 1 温度推定部は、

前記温度検出回路が検出した検出温度をホールド値として保持し、

前記温度検出回路が異常であると判定された場合に、前記温度検出回路が異常であると判定される前に保持した前記ホールド値から前記所定の設定値まで時間経過に伴って一定の増加速度で漸増する値を前記第 1 温度推定値として出力する、

ことを特徴とする請求項 5 に記載のモータ制御装置。

30

【請求項 7】

前記異常判定部は、前記温度検出素子の出力信号が前記所定範囲外の値である状態が所定時間以上に亘って継続した場合に前記温度検出回路が異常であると判定し、

前記第 1 温度推定部は、

前記温度検出回路が検出した検出温度をホールド値として保持し、

前記温度検出素子の出力信号が前記所定範囲外の値になる直前に保持した前記ホールド値から前記所定の設定値まで時間経過に伴って一定の増加速度で漸増する値を前記第 1 温度推定値として出力する、

ことを特徴とする請求項 5 に記載のモータ制御装置。

【請求項 8】

40

請求項 1 ~ 3 及び 5 ~ 7 のいずれか一項に記載のモータ制御装置と、

前記モータ制御装置により制御される電動モータと、を備え、

前記電動モータによって車両の操舵系に操舵補助力を付与することを特徴とする電動パワーステアリング装置。

【請求項 9】

前記電動パワーステアリング装置は、ステアリングホイールの操舵トルクを検出するトルクセンサを備え、

前記モータ制御装置は、前記操舵トルクに少なくとも基づいて前記電動モータに流れるモータ電流の電流指令値を設定する電流指令値設定部を備え、

前記モータ電流制御回路は、前記電動モータに流れるモータ電流をそれぞれ供給する第

50

1 系統の電力変換器と第 2 系統の電力変換器を備え、

前記電流制限部は、前記温度検出回路が異常であると判定された場合に前記電動モータに流れるモータ電流を、前記電流指令値より小さな値の電流に制限する、

ことを特徴とする請求項 8 に記載の電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モータ制御装置及び電動パワーステアリング装置に関する。

【背景技術】

【0002】

下記特許文献 1 及び特許文献 2 には、温度検出回路を用いて検出した検出温度に、電動モータに流れるモータ電流に基づいて推定した温度の上昇値を加えることによりモータ温度を推定し、モータ温度の推定値が閾値以上になると電動モータに流すモータ電流を制限する技術が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許第 4 1 3 5 4 3 7 号明細書

【文献】特開 2 0 1 2 - 1 4 8 6 2 9 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

温度検出回路による検出温度とモータ電流に基づいて推定した上昇値とを加えてモータ温度を推定する構成では、温度検出回路に異常が発生した場合、検出温度の代わりに比較的高い設定値とモータ電流から推定した上昇値と加えてモータ温度を推定することにより、電動モータを保護する必要がある。

このため、モータ電流が流れている状態で温度検出回路に異常が発生すると、モータ温度の推定値がすぐに閾値を超え、実際のモータ温度が閾値未満であるにも関わらずモータ電流が制限されることがある。

本発明は、上記課題に着目してなされたものであり、温度検出回路を用いて検出した検出温度とモータ電流に基づいて推定した温度の上昇値とを加えることによりモータ温度を推定し、モータ温度の推定値が閾値温度以上になるとモータ電流を制限する構成において、温度検出回路の異常発生直後にモータ電流が過剰に制限されるのを防止することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記目的を達成するために、本発明の一態様によるモータ制御装置は、電動モータに流れるモータ電流を制御するモータ電流制御回路と、モータ電流制御回路付近に配置された温度検出素子を有する温度検出回路と、モータ電流による電動モータの温度の上昇値を推定する上昇値推定部と、温度検出回路が異常であるか否かを判定する異常判定部と、温度検出回路が正常であると判定された場合に、温度検出回路が検出した検出温度を第 1 温度推定値として出力し、温度検出回路が異常であると判定された場合に、温度検出回路が検出した検出温度から所定の設定値まで一定の増加速度で漸増する値を第 1 温度推定値として出力する第 1 温度推定部と、第 1 温度推定値に上昇値を加えた値を第 2 温度推定値として演算する第 2 温度推定部と、第 2 温度推定値が所定の閾値を超えた場合に、第 2 温度推定値が高くなるほど漸減するようにモータ電流を制限する電流制限部と、を備える。

【0006】

本発明の他の一態様による電動パワーステアリング装置は、上記のモータ制御装置と、モータ制御装置により制御される電動モータと、を備え、電動モータによって車両の操舵系に操舵補助力を付与する。

10

20

30

40

50

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、温度検出回路を用いて検出した検出温度とモータ電流に基づいて推定した温度の上昇値とを加えることによりモータ温度を推定し、モータ温度の推定値が閾値以上になると温度以上になるとモータ電流を制限する構成において、温度検出回路の異常発生直後にモータ電流が過剰に制限されるのを防止できる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施形態の電動パワーステアリング装置の一例の概要を示す構成図である。

【図2】第1実施形態の電子制御ユニット（ECU：Electronic Control Unit）の一例の概要を示す構成図である。 10

【図3】温度検出回路の一例の回路図である。

【図4】第1実施形態の温度測定部の機能構成の一例のブロック図である。

【図5】温度検出回路の異常時におけるECU温度推定値の変化を模式的に示す説明図である。

【図6】第1実施形態の制御演算装置の機能構成の一例のブロック図である。

【図7】第1実施形態のモータ制御方法の一例のフローチャートである。

【図8】第2実施形態及び第3実施形態の電子制御ユニットの一例の概要を示す構成図である。

【図9】第2実施形態の温度測定部の機能構成の一例のブロック図である。 20

【図10】温度検出回路の異常時におけるECU温度推定値の変化を模式的に示す説明図である。

【図11】第2実施形態の制御演算装置の機能構成の一例のブロック図である。

【図12】第2実施形態のモータ制御方法の一例のフローチャートである。

【図13】変形例の温度測定部の機能構成の一例のブロック図である。

【図14】回路基板上に搭載された電力変換回路と温度検出素子の相対位置関係の模式図である。

【図15】電力変換回路が発生する熱を放出する放熱構造の模式図である。

【図16】第3実施形態の温度測定部の機能構成の一例のブロック図である。

【図17】温度検出回路の異常時におけるECU温度推定値の算出方法を模式的に示す説明図である。 30

【図18】電動パワーステアリング装置の第1変形例の概要を示す構成図である。

【図19】電動パワーステアリング装置の第2変形例の概要を示す構成図である。

【図20】電動パワーステアリング装置の第3変形例の概要を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本発明の実施形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

なお、以下に示す本発明の実施形態は、本発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、本発明の技術的思想は、構成部品の構成、配置等を下記のものに特定するものではない。本発明の技術的思想は、特許請求の範囲に記載された請求項が規定する技術的範囲内において、種々の変更を加えることができる。 40

【0010】

（第1実施形態）

（構成）

図1は、実施形態の電動パワーステアリング（EPS：Electric Power Steering）装置の一例の概要を示す構成図である。ステアリングホイール（操向ハンドル）1の操舵軸（ステアリングシャフト、ハンドル軸）2は、減速機構を構成する減速ギア（ウォームギア）3、ユニバーサルジョイント4a及び4b、ピニオンラック機構5、タイロッド6a、6bを経て、更にハブユニット7a、7bを介して操向車輪8L、8Rに連結されている。

【 0 0 1 1 】

ピニオンラック機構 5 は、ユニバーサルジョイント 4 b から操舵力が伝達されるピニオンシャフトに連結されたピニオン 5 a と、このピニオン 5 a に噛合するラック 5 b とを有し、ピニオン 5 a に伝達された回転運動をラック 5 b で車幅方向の直進運動に変換する。

操舵軸 2 には操舵トルク T_h を検出するトルクセンサ 1 0 が設けられている。また、操舵軸 2 には、ステアリングホイール 1 の操舵角 θ を検出する操舵角センサ 1 4 が設けられている。

【 0 0 1 2 】

また、ステアリングホイール 1 の操舵力を補助するモータ 2 0 は、減速ギア 3 を介して操舵軸 2 に連結されている。モータ 2 0 は、例えば多相モータであってよい。以下の説明では、同じモータハウジング内に第 1 系統コイルと第 2 系統コイルが巻き回されて 2 つの系統のコイルにより共通のロータを回転させる 2 重巻線を有する三相モータの例について説明するが、モータ 2 0 は、2 重巻線モータ以外のモータであってもよく、モータ 2 0 の相数は 3 相でなくてもよい。ステアリングホイール 1 の操舵力を補助する複数のモータ 2 0 を同一の操舵軸 2 に連結してもよい。

【 0 0 1 3 】

電動パワーステアリング装置を制御する電子制御ユニット (E C U : Electronic Control Unit) 3 0 には、バッテリー 1 3 から電力が供給されるとともに、イグニションスイッチ 1 1 を経てイグニションキー信号が入力される。

E C U 3 0 は、トルクセンサ 1 0 で検出された操舵トルク T_h と、車速センサ 1 2 で検出された車速 V_h と、操舵角センサ 1 4 で検出された操舵角 θ に基づいてアシスト制御指令の電流指令値の演算を行い、電流指令値に補償等を施した電圧制御指令値によってモータ 2 0 に供給する電流 (第 1 系統コイルの A 相電流 I_{1a} 、B 相電流 I_{1b} 、C 相電流 I_{1c} と、第 2 系統コイルの A 相電流 I_{2a} 、B 相電流 I_{2b} 、C 相電流 I_{2c}) を制御する。E C U 3 0 は、特許請求の範囲に記載の「モータ制御装置」の一例である。

【 0 0 1 4 】

なお、操舵角センサ 1 4 は必須のものではなく、モータ 2 0 の回転軸の回転角度を検出する回転角センサ 2 3 a から得られるモータ回転角 θ_m と減速ギア 3 のギア比との積に、トルクセンサ 1 0 のトーションバーの捩れ角を加えて操舵角 θ を算出してもよい。回転角センサ 2 3 a には、例えば、モータの回転位置を検出するレゾルバや、モータ 2 0 の回転軸に取り付けられた磁石の磁界を検出する磁気センサが利用できる。また、操舵角 θ に代えて、操向車輪 8 L、8 R の転舵角を用いてもよい。例えばラック 5 b の変位量を検出することにより転舵角を検出してもよい。

【 0 0 1 5 】

E C U 3 0 は、例えば、プロセッサと、記憶装置等の周辺部品とを含むコンピュータを含む。プロセッサは、例えば C P U (Central Processing Unit)、や M P U (Micro-Processing Unit) であってよい。

記憶装置は、半導体記憶装置、磁気記憶装置及び光学記憶装置のいずれかを備えてよい。記憶装置は、レジスタ、キャッシュメモリ、主記憶装置として使用される R O M (Read Only Memory) 及び R A M (Random Access Memory) 等のメモリを含んでよい。

以下に説明する E C U 3 0 の機能は、例えば E C U 3 0 のプロセッサが、記憶装置に格納されたコンピュータプログラムを実行することにより実現される。

【 0 0 1 6 】

なお、E C U 3 0 を、以下に説明する各情報処理を実行するための専用のハードウェアにより形成してもよい。

例えば、E C U 3 0 は、汎用の半導体集積回路中に設定される機能的な論理回路を含んでいてもよい。例えば E C U 3 0 はフィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ (F P G A : Field-Programmable Gate Array) 等のプログラマブル・ロジック・デバイス (P L D : Programmable Logic Device) 等を有していてもよい。

【 0 0 1 7 】

10

20

30

40

50

図2は、第1実施形態のECU30の一例の概要を示す構成図である。ECU30は、モータ回転角検出回路23と、制御演算装置31と、第1モータ電流遮断回路33Aおよび第2モータ電流遮断回路33Bと、第1ゲート駆動回路41Aと、第2ゲート駆動回路41Bと、第1電力変換回路(第1インバータ)42Aと、第2電力変換回路(第2インバータ)42Bと、第1電源遮断回路44Aと、第2電源遮断回路44Bと、温度検出回路45を備える。

ECU30には、コネクタCNTを介してバッテリー13からの電力を伝送する電力配線PWが接続される。電力配線PWの正極側ラインLpは、チョークコイルLとセラミックコンデンサC1及びC2により形成されたノイズフィルタ回路を經由して、制御演算装置31に接続されるとともに、分岐点Pbにて第1正極側ラインLpAと第2正極側ラインLpBに分岐する。

10

【0018】

第1正極側ラインLpA及び第2正極側ラインLpBは、それぞれ第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bに電力を供給する電源ラインであり、第1電源遮断回路44Aと第2電源遮断回路44Bにそれぞれ接続される。

チョークコイルLの一端が正極側ラインLpとセラミックコンデンサC1の一端とに接続され、チョークコイルLの他端が、セラミックコンデンサC2の一端と制御演算装置31と分岐点Pbとに接続され、セラミックコンデンサC1及びC2の他端は接地されている。一方で、電力配線PWの負極側ラインは、ECU30の接地線に接続される。

【0019】

20

制御演算装置31には、コネクタCNTを介してトルクセンサ10で検出された操舵トルクThと、車速センサ12で検出された車速Vhと、操舵角センサ14で検出された操舵角hの信号が伝送される。

制御演算装置31は、少なくとも操舵トルクThに基づいて、モータ20の駆動電流の制御目標値である電流指令値を演算し、電流指令値に補償等を施して得られる電圧制御指令値V1a、V1b、V1c、V2a、V2b、V2cを、第1ゲート駆動回路41Aと第2ゲート駆動回路41Bとに出力する。電圧制御指令値V1a、V1b、V1cは、それぞれ第1系統コイルのA相電圧制御指令値、B相電圧指令値、C相電圧指令値であり、電圧制御指令値V2a、V2b、V2cは、それぞれ第2系統コイルのA相電圧制御指令値、B相電圧指令値、C相電圧指令値である。

30

【0020】

第1電源遮断回路44Aは、2つのFETQC1およびQC2がソース同士を接続して寄生ダイオードが逆向きとなる直列回路構成を有する。FETQC1のドレインが第1正極側ラインLpAに接続され、FETQC2のドレインが第1電力変換回路42Aの各FETQ1、Q3およびQ5のドレインに接続されている。制御演算装置31は、第1電源遮断回路44Aの通電と遮断とを制御する制御信号SpAを第1ゲート駆動回路41Aに出力する。第1ゲート駆動回路41Aは、制御信号SpAに応じてFETQC1およびQC2のゲート信号を出力して、バッテリー13から第1電力変換回路42Aへの電源電流を通電又は遮断する。

【0021】

40

また、第2電源遮断回路44Bは、2つのFETQD1およびQD2がソース同士を接続して寄生ダイオードが逆向きとなる直列回路構成を有する。FETQD1のドレインが第2正極側ラインLpBに接続され、FETQD2のドレインが第2電力変換回路42Bの各FETQ1、Q3およびQ5のドレインに接続されている。制御演算装置31は、第2電源遮断回路44Bの通電と遮断とを制御する制御信号SpBを第2ゲート駆動回路41Bに出力する。第2ゲート駆動回路41Bは、制御信号SpBに応じてFETQD1およびQD2のゲート信号を出力して、バッテリー13から第2電力変換回路42Bへの電源電流を通電又は遮断する。

【0022】

第1ゲート駆動回路41Aは、制御演算装置31から電圧制御指令値V1a、V1b、

50

V 1 c が入力されると、これらの電圧制御指令値 V 1 a、V 1 b、V 1 c と三角波のキャリア信号に基づいてパルス幅変調 (P W M) した 6 つのゲート信号を形成する。そして、これらゲート信号を第 1 電力変換回路 4 2 A に出力する。

第 2 ゲート駆動回路 4 1 B は、制御演算装置 3 1 から電圧制御指令値 V 2 a、V 2 b、V 2 c が入力されると、これらの電圧制御指令値 V 2 a、V 2 b、V 2 c と三角波のキャリア信号に基づいてパルス幅変調 (P W M) した 6 つのゲート信号を形成する。そして、これらゲート信号を第 2 電力変換回路 4 2 B に出力する。

【 0 0 2 3 】

第 1 電力変換回路 4 2 A は、スイッチング素子である F E T により構成された 3 つのスイッチングアーム S W A a、S W A b 及び S W A c と、電解コンデンサ C A とを備える。

10

スイッチングアーム S W A a、S W A b 及び S W A c は互いに並列に接続されている。A 相のスイッチングアーム S W A a は、直列接続された F E T Q 1 及び Q 2 を備え、B 相のスイッチングアーム S W A b は、直列接続された F E T Q 3 及び Q 4 を備え、C 相のスイッチングアーム S W A c は、直列接続された F E T Q 5 及び Q 6 を備える。各 F E T Q 1 ~ Q 6 のゲートに第 1 ゲート駆動回路 4 1 A から出力されるゲート信号が入力され、このゲート信号により、各スイッチングアーム S W A a、S W A b および S W A c の F E T 間の接続点から A 相電流 I 1 a、B 相電流 I 1 b、C 相電流 I 1 c が第 1 モータ電流遮断回路 3 3 A を介してモータ 2 0 の第 1 系統コイルの A 相巻線、B 相巻線及び C 相巻線に通電される。

電解コンデンサ C A は、第 1 電力変換回路 4 2 A に対するノイズ除去機能および電力供給補助機能を備えている。

20

【 0 0 2 4 】

第 2 電力変換回路 4 2 B は、スイッチング素子である F E T により構成された 3 つのスイッチングアーム S W B a、S W B b 及び S W B c と、電解コンデンサ C B とを備える。

スイッチングアーム S W B a、S W B b 及び S W B c は互いに並列に接続されている。A 相のスイッチングアーム S W B a は、直列接続された F E T Q 1 及び Q 2 を備え、B 相のスイッチングアーム S W B b は、直列接続された F E T Q 3 及び Q 4 を備え、C 相のスイッチングアーム S W B c は、直列接続された F E T Q 5 及び Q 6 を備える。各 F E T Q 1 ~ Q 6 のゲートに第 2 ゲート駆動回路 4 1 B から出力されるゲート信号が入力され、このゲート信号により、各スイッチングアーム S W B a、S W B b および S W B c の F E T 間の接続点から A 相電流 I 2 a、B 相電流 I 2 b、C 相電流 I 2 c が第 2 モータ電流遮断回路 3 3 B を介してモータ 2 0 の第 2 系統コイルの A 相巻線、B 相巻線及び C 相巻線に通電される。

30

電解コンデンサ C B は、第 2 電力変換回路 4 2 B に対するノイズ除去機能および電力供給補助機能を備えている。

【 0 0 2 5 】

なお、第 1 電力変換回路 4 2 A と第 2 電力変換回路 4 2 B は、ステアリングホイール 1 の操舵を補助する操舵補助力をそれぞれ発生する 2 つの異なるモータに三相電流を供給する電力変換回路であってもよい。例えばこれら 2 つの異なるモータは、減速ギアを介して同一の操舵軸 2 に連結されていてもよい。

40

【 0 0 2 6 】

第 1 電力変換回路 4 2 A のスイッチングアーム S W A a、S W A b 及び S W A c の下側アームを形成する F E T Q 2、Q 4 および Q 6 の各ソース側には、電流検出回路 3 9 A 1、3 9 B 1 及び 3 9 C 1 が設けられる。電流検出回路 3 9 A 1、3 9 B 1 及び 3 9 C 1 は、それぞれスイッチングアーム S W A a、S W A b 及び S W A c の下流側電流を、第 1 系統コイルの A 相電流、B 相電流、C 相電流として検出し、その検出値 I 1 a d、I 1 b d、I 1 c d を出力する。

第 2 電力変換回路 4 2 B のスイッチングアーム S W B a、S W B b 及び S W B c の下側アームを形成する F E T Q 2、Q 4 および Q 6 の各ソース側には、電流検出回路 3 9 A 2、3 9 B 2 及び 3 9 C 2 が設けられる。電流検出回路 3 9 A 2、3 9 B 2 及び 3 9 C 2 は

50

、それぞれスイッチングアーム $SWBa$ 、 $SWBb$ 及び $SWBc$ の下流側電流を、第 2 系統コイルの A 相電流、B 相電流、C 相電流として検出し、その検出値 $I2ad$ 、 $I2bd$ 、 $I2cd$ を出力する。

【0027】

第 1 モータ電流遮断回路 33A は、3 つの電流遮断用の FETQA1、QA2 および QA3 を有する。FETQA1 のソースが第 1 電力変換回路 42A のスイッチングアーム $SWAa$ の FETQ1 および Q2 の接続点に接続され、ドレインがモータ 20 の第 1 系統コイルの A 相巻線に接続されている。FETQA2 のソースがスイッチングアーム $SWAb$ の FETQ3 および Q4 の接続点に接続され、ドレインが第 1 系統コイルの B 相巻線に接続されている。FETQA3 のソースがスイッチングアーム $SWAc$ の FETQ5 および Q6 の接続点に接続され、ドレインが第 1 系統コイルの C 相巻線に接続されている。

10

制御演算装置 31 は、第 1 モータ電流遮断回路 33A の通電と遮断とを制御する制御信号 SmA を第 1 ゲート駆動回路 41A に出力する。第 1 ゲート駆動回路 41A は、制御信号 SmA に応じて FETQA1 ~ QA3 のゲート信号を出力して、第 1 電力変換回路 42A からモータ 20 への A 相電流 $I1a$ 、B 相電流 $I1b$ 、C 相電流 $I1c$ を通電又は遮断する。

【0028】

第 2 モータ電流遮断回路 33B は、3 つの電流遮断用の FETQB1、QB2 および QB3 を有する。FETQB1 のソースが第 2 電力変換回路 42B のスイッチングアーム $SWBa$ の FETQ1 および Q2 の接続点に接続され、ドレインがモータ 20 の第 2 系統コイルの A 相巻線に接続されている。FETQB2 のソースがスイッチングアーム $SWBb$ の FETQ3 および Q4 の接続点に接続され、ドレインが第 2 系統コイルの B 相巻線に接続されている。FETQB3 のソースがスイッチングアーム $SWBc$ の FETQ5 および Q6 の接続点に接続され、ドレインが第 2 系統コイルの C 相巻線に接続されている。

20

制御演算装置 31 は、第 2 モータ電流遮断回路 33B の通電と遮断とを制御する制御信号 SmB を第 2 ゲート駆動回路 41B に出力する。第 2 ゲート駆動回路 41B は、制御信号 SmB に応じて FETQB1 ~ QB3 のゲート信号を出力して、第 2 電力変換回路 42B からモータ 20 への A 相電流 $I2a$ 、B 相電流 $I2b$ 、C 相電流 $I2c$ を通電又は遮断する。

【0029】

モータ回転角検出回路 23 は、回転角センサ 23a から検出値を取得し、モータ 20 の回転軸の回転角度であるモータ回転角 m を検出する。モータ回転角検出回路 23 は、モータ回転角 m を制御演算装置 31 へ出力する。

30

温度検出回路 45 は、第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の付近に配置された温度センサ 45a を備える。温度センサ 45a は、「温度検出素子」の一例である。なお、温度センサ 45a の配置位置は第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の付近でなくともよい。温度センサ 45a は、ECU30 の発熱し易い場所に配置されていれば足りる。

【0030】

温度検出回路 45 は、温度センサ 45a の出力に応じて第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の温度を検出し、検出結果を示す検出信号 $Sd1$ を出力する。以下の説明において、温度検出回路 45 が検出した第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の温度（検出信号 $Sd1$ が表す温度）を「ECU 温度検出値 $Te1$ 」と表記することがある。

40

例えば温度センサ 45a はサーミスタであってよい。温度検出回路 45 は、サーミスタの抵抗値に応じて第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の温度を検出するサーミスタ処理回路を備えてよい。

【0031】

図 3 は、温度検出回路 45 の一例の回路図である。温度検出回路 45 は、温度センサ 45a としてのサーミスタと固定抵抗 R とが直列接続された分圧回路と、コンデンサ Ct と

50

を有する。サーミスタ45aと固定抵抗Rとで構成された分圧回路は、サーミスタ45aの抵抗値と固定抵抗Rの抵抗値の比で所定電圧Vccを分圧し、分圧により得られた値を検出信号Sd1として制御演算装置31に出力する。

【0032】

図2を参照する。制御演算装置31は、A/D変換部31aを介して、第1系統コイルのA相電流、B相電流、C相電流の検出値I1ad、I1bd、I1cdと、第2系統コイルのA相電流、B相電流、C相電流の検出値I2ad、I2bd、I2cdと、温度検出回路45の検出信号Sd1を取得する。

制御演算装置31は、第1電力変換回路42A及び第2電力変換回路42Bの温度であるECU温度を測定すると共にモータ20の温度(例えばモータ20のコイル巻線の温度)であるモータ温度を推定する温度測定部31bを備える。温度測定部31bは、温度検出回路45の検出信号Sd1が表すECU温度検出値Te1に基づいてECU温度を測定する。また、温度測定部31bは、ECU温度検出値Te1と、モータ20に流れるモータ電流の検出値I1ad、I1bd、I1cd、I2ad、I2bd及びI2cdとに基づいてモータ温度を推定する。

10

【0033】

図4は、第1実施形態の温度測定部31bの機能構成の一例のブロック図である。温度測定部31bは、ECU温度測定部50と、センサ異常判定部51と、ECU温度推定部52と、上昇値推定部53と、加算器54を備える。

ECU温度測定部50は、ECU温度検出値Te1に基づいて第1電力変換回路42A及び第2電力変換回路42Bの温度であるECU温度Teを測定する。

20

【0034】

センサ異常判定部51は、温度検出回路45が異常であるか否かを判定する。センサ異常判定部51は、判定結果を示す異常判定信号Saを出力する。

第1実施形態のECU30は、単一の温度検出回路(温度検出回路45)を有する。第1実施形態に関する以下の説明では、温度検出回路45が異常であることを「温度検出回路が異常である」と表記し、温度検出回路45が異常でないことを「温度検出回路が異常でない」と表記する。

【0035】

一方で、後述の第2実施形態及び第3実施形態のECU30は、複数の温度検出回路(第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46)を有する。後述の第2実施形態及び第3実施形態に関する説明では、第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46の少なくとも一方が異常であることを「温度検出回路が異常である」と表記し、第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46のいずれも異常でないこと(すなわち第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46のいずれも正常であること)を「温度検出回路が異常でない」と表記する。

30

【0036】

センサ異常判定部51は、温度検出回路45の検出信号Sd1が所定範囲外の値である場合に温度検出回路が異常であると判定し、検出信号Sd1が所定範囲内の値である場合に温度検出回路が異常でない(正常である)と判定してよい。

40

例えば図3に示す温度検出回路45の例の場合、異常によりサーミスタ45aが断線すると検出信号Sd1が上昇して所定範囲の上限値よりも大きくなるため温度検出回路45の異常を検出できる。また、異常によりサーミスタ45aが短絡すると検出信号Sd1が下がって所定範囲の下限値よりも低くなるため温度検出回路45の異常を検出できる。

【0037】

例えばセンサ異常判定部51は、検出信号Sd1が所定範囲外の値となっても、検出信号Sd1が所定範囲外の値である状態が所定時間TLに亘って継続するまでは、温度検出回路が異常でないとして判定してもよい。センサ異常判定部51は、検出信号Sd1が所定範囲外の値である状態が所定時間TL以上に亘って継続した場合に温度検出回路が異常であると判定してよい。所定時間TLは例えば1[秒]であってよい。これにより、例えばノ

50

イズ等の影響による検出信号 S d 1 の一時的な変動によって温度検出回路 4 5 の異常が誤検出されるのを防止できる。

【 0 0 3 8 】

なお、センサ異常判定部 5 1 が温度検出回路の異常を検出した場合は、イグニションスイッチ 1 1 がオフに切り替わるまで、センサ異常判定部 5 1 が温度検出回路の異常を検出した状態が保持される。イグニションスイッチ 1 1 がオフに切り替わると、センサ異常判定部 5 1 が通常状態にリセットされる。

【 0 0 3 9 】

E C U 温度推定部 5 2 は、温度検出回路 4 5 の検出信号 S d 1 が表す E C U 温度検出値 T e 1 と、センサ異常判定部 5 1 から出力される異常判定信号 S a と、に基づいて第 1 電力変換回路 4 2 A 及び第 2 電力変換回路 4 2 B の温度を推定する。

10

以下、E C U 温度推定部 5 2 が推定した第 1 電力変換回路 4 2 A 及び第 2 電力変換回路 4 2 B の温度を「E C U 温度推定値 T e s」と表記することがある。E C U 温度推定部 5 2 は「第 1 温度推定部」の一例であり、E C U 温度推定値 T e s は「第 1 温度推定値」の一例である。

【 0 0 4 0 】

温度検出回路が異常でないとセンサ異常判定部 5 1 が判定した場合、E C U 温度推定部 5 2 は、検出信号 S d 1 が表す E C U 温度検出値 T e 1 を E C U 温度推定値 T e s として出力してよい。

温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定した場合、E C U 温度推定部 5 2 は、温度検出回路が異常であると判定する前に温度検出回路 4 5 が検出した E C U 温度検出値 T e 1 から所定の設定値 T s まで、一定の増加速度 T r [/ 秒] で漸増する値を、E C U 温度推定値 T e s として出力する。

20

【 0 0 4 1 】

例えば、E C U 温度推定部 5 2 は、温度検出回路 4 5 の検出信号 S d 1 が所定範囲内の値である場合に、温度検出回路 4 5 が検出した E C U 温度検出値 T e 1 をホールド値 T h d として一時的に保持し、順次更新してよい。

温度検出回路 4 5 の検出信号 S d 1 が所定範囲外の値となった時点 t 1 において、E C U 温度推定部 5 2 は、ホールド値 T h d の更新を停止する。そして、検出信号 S d 1 が所定範囲外の値である状態が継続している間は、所定時間 T L が経過するまで、時点 t 1 の直前で保持したホールド値 T h d を E C U 温度推定値 T e s として出力する。

30

すなわち、温度検出素子の出力信号が所定範囲外の値になる直前の E C U 温度検出値 T e 1 をホールド値 T h d として保持し、検出信号 S d 1 が所定範囲外の値である状態が継続している間は、所定時間 T L が経過するまでホールド値 T h d を E C U 温度推定値 T e s として出力する。

【 0 0 4 2 】

時点 t 1 より所定時間 T L 後の時刻 t 2 が過ぎても検出信号 S d 1 が所定範囲外の値である状態が継続すると、時点 t 2 において E C U 温度推定部 5 2 は、時点 t 1 の直前で保持したホールド値 T h d から所定の設定値 T s まで一定の増加速度 T r [/ 秒] で漸増する値を、E C U 温度推定値 T e s として出力する。

40

時点 t 2 よりも前に検出信号 S d 1 が所定範囲内の値に戻ると、E C U 温度推定部 5 2 は、温度検出回路 4 5 から受信した検出信号 S d 1 が示す E C U 温度検出値 T e 1 を E C U 温度推定値 T e s として出力する。また、ホールド値 T h d の更新を再開する。

【 0 0 4 3 】

図 5 は、温度検出回路の異常時における E C U 温度推定値 T e s の変化を模式的に示す説明図である。

時点 t 1 より前の期間では、温度検出回路 4 5 の検出信号 S d 1 が所定範囲内の値であり、E C U 温度推定部 5 2 は検出信号 S d 1 が表す E C U 温度検出値 T e 1 を E C U 温度推定値 T e s として出力する。また、温度検出回路 4 5 が検出した E C U 温度検出値 T e 1 をホールド値 T h d として一時的に保持し、順次更新する。

50

【 0 0 4 4 】

時点 t_1 において温度検出回路 4 5 の検出信号 S_{d1} が所定範囲外の値となると、ホールド値 T_{hd} の更新を停止して（すなわち検出信号 S_{d1} が所定範囲外の値となる直前のホールド値 T_{hd} を保持し）、ホールド値 T_{hd} を ECU 温度推定値 T_{es} として出力する。

時点 t_1 より所定時間 T_L 後の時刻 t_2 が過ぎても検出信号 S_{d1} が所定範囲外の値である状態が継続すると、時点 t_2 で ECU 温度推定部 5 2 は、ホールド値 T_{hd} から所定の設定値 T_s まで一定の増加速度 T_r [/ 秒] で漸増する値を、ECU 温度推定値 T_{es} として出力する。

【 0 0 4 5 】

図 4 を参照する。上昇値推定部 5 3 は、モータ 2 0 に流れるモータ電流によるモータ温度の上昇値 R_t を推定する。例えば、上昇値推定部 5 3 は、モータ電流の検出値 I_{1ad} 、 I_{1bd} 、 I_{1cd} 、 I_{2ad} 、 I_{2bd} 及び I_{2cd} の 2 乗和の積分値からモータ 2 0 の放熱量を減算することにより上昇値 R_t を推定してよい。加算器 5 4 は、ECU 温度推定値 T_{es} に上昇値 R_t を加えた値をモータ温度推定値 T_m として演算する。加算器 5 4 は、特許請求の範囲に記載の「第 2 温度推定部」の一例であり、モータ温度推定値 T_m は特許請求の範囲に記載の「第 2 温度推定値」の一例である。

【 0 0 4 6 】

図 2 を参照する。制御演算装置 3 1 は、ECU 温度 T_e が閾値を超えた場合やモータ温度推定値 T_m が閾値を超えた場合に、モータ 2 0 に流すモータ電流を制限する。

図 6 は、第 1 実施形態の制御演算装置 3 1 の機能構成の一例のブロック図である。なお、図 6 では、モータ 2 0 の第 1 系統のコイルを駆動する機能構成のみ記載するが、第 2 系統のコイルを駆動する機能構成も同様の構成を有する。

【 0 0 4 7 】

制御演算装置 3 1 は、電流指令値演算部 6 0 と、第 1 電流制限部 6 1 と、減算器 6 2 及び 6 3 と、第 2 電流制限部 6 4 と、比例積分 (P I : Proportional-Integral) 制御部 6 5 と、2 相 / 3 相変換部 6 6 と、3 相 / 2 相変換部 6 7 と、角速度変換部 6 8 を備えており、モータ 2 0 をベクトル制御で駆動する。

電流指令値演算部 6 0 は、操舵トルク T_h と、車速 V_h と、モータ 2 0 のモータ回転角 m と、モータ 2 0 の回転角速度に基づいてモータ 2 0 に流すべき q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を演算する。

【 0 0 4 8 】

第 1 電流制限部 6 1 は、温度測定部 3 1 b から出力された異常判定信号 S_a と、ECU 温度 T_e と、モータ温度推定値 T_m と、に基づいて q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を制限することにより、制限後の q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出する。

例えば第 1 電流制限部 6 1 は、ECU 温度 T_e が所定の第 1 閾値 T_{a1} を超えた場合に、ECU 温度 T_e が高くなるほど q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を大きく制限することにより、 q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してよい。すなわち ECU 温度 T_e が高くなるほど漸減する q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してよい。

【 0 0 4 9 】

また例えば第 1 電流制限部 6 1 は、モータ温度推定値 T_m が第 2 閾値 T_{b1} を超えた場合に、モータ温度推定値 T_m が高くなるほど q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を大きく制限することにより、 q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してよい。すなわちモータ温度推定値 T_m が高くなるほど漸減する q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してよい。

また例えば、第 1 電流制限部 6 1 は、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定した場合に、 q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} より小さな値の q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してもよい。例えば、 q 軸電流指令

10

20

30

40

50

値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を 50% に制限することにより q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してよい。

【0050】

例えば、第1電流制限部61は、異常判定信号 S_a に応じた制限ゲイン K_1 と、ECU温度 T_e に応じた制限ゲイン K_2 と、モータ温度推定値 T_m に応じた制限ゲイン K_3 を設定してよい。

第1電流制限部61は、温度検出回路が異常でないとセンサ異常判定部51が判定した場合に制限ゲイン K_1 の値を「1」に設定し、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部51が判定した場合に制限ゲイン K_1 の値を「0.5」に設定してよい。

第1電流制限部61は、温度検出回路が異常でないとセンサ異常判定部51が判定し、且つECU温度 T_e が第1閾値 T_{a1} を超えた場合に、ECU温度 T_e が第1閾値 T_{a1} から第3閾値 T_{a2} に上昇するのに対応して、制限ゲイン K_2 の値を「1」から「0」まで漸減してよい。制限ゲイン K_2 の値は、ECU温度 T_e が第1閾値 T_{a1} から第3閾値 T_{a2} に上昇するのに対応して直線的に「1」から「0」まで漸減してよい。

温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部51が判定した場合、第1電流制限部61は、制限ゲイン K_2 の値を「1」に設定してよい。

【0051】

第1電流制限部61は、制限ゲイン K_2 にヒステリシス特性を設けてもよい。例えば、制限ゲイン K_2 の値が「1」に設定されている状態でECU温度 T_e が第1閾値 T_{a1} を超えた場合に、ECU温度 T_e が第1閾値 T_{a1} から上昇するのに対応して、制限ゲイン K_2 の値を「1」から漸減する。ECU温度 T_e が第3閾値 T_{a2} に到達しない限り（すなわち制限ゲイン K_2 の値が「0」にならない限り）、第1電流制限部61は、ECU温度 T_e が第1閾値 T_{a1} から第3閾値 T_{a2} の範囲で上下するのに対応して、制限ゲイン K_2 の値を「1」から「0」の範囲で減少又は増加させる。

【0052】

ECU温度 T_e が第3閾値 T_{a2} に到達すると（すなわち制限ゲイン K_2 の値が「0」になると）、第1電流制限部61は、ECU温度 T_e が第3閾値 T_{a2} 未満になっても制限ゲイン K_2 の値を「0」から増加させない。ECU温度 T_e が第3閾値 T_{a2} よりも小さな第4閾値 T_{a3} 未満に低下した場合に、第1電流制限部61は制限ゲイン K_2 の増加を開始し、第1閾値 T_{a1} よりも小さな第5閾値 T_{a4} までECU温度 T_e が低下するのに対応して、制限ゲイン K_2 の値を「0」から「1」まで漸増してよい。例えば、第4閾値 T_{a3} は第1閾値 T_{a1} よりも低い値に設定してもよく第1閾値 T_{a1} よりも高い値に設定してもよい。

ECU温度 T_e が第5閾値 T_{a4} に到達しない限り（すなわち制限ゲイン K_2 の値が「1」にならない限り）、第1電流制限部61は、ECU温度 T_e が第4閾値 T_{a3} から第5閾値 T_{a4} の範囲で上下するのに対応して制限ゲイン K_2 の値を「0」から「1」の範囲で減少又は増加させる。

【0053】

第1電流制限部61は、モータ温度推定値 T_m が第2閾値 T_{b1} を超えた場合に、モータ温度推定値 T_m が第2閾値 T_{b1} から第6閾値 T_{b2} に上昇するのに対応して、制限ゲイン K_3 の値を「1」から「0」まで漸減してよい。例えば、制限ゲイン K_3 の値は、モータ温度推定値 T_m が第2閾値 T_{b1} から第6閾値 T_{b2} に上昇するのに対応して直線的に「1」から「0」まで漸減してよい。

また、制限ゲイン K_3 に、上述の制限ゲイン K_2 のヒステリシス特性と同様のヒステリシス特性を持たせてもよい。

【0054】

第1電流制限部61は、制限ゲイン K_1 、 K_2 及び K_3 に基づいて q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を制限することにより、 q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出する。

例えば、温度検出回路が異常でないとセンサ異常判定部51が判定した場合（すなわち

10

20

30

40

50

制限ゲイン $K_1 = 「 1 」$) の場合、第 1 電流制限部 6 1 は、例えば、 K_2 または K_3 のうちいずれか小さいゲイン $K_4 = \min (K_2, K_3)$ を選択し、 q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} にゲイン K_4 を乗算した積を q 軸電流指令値 $I_{q1} = K_4 \times I_{q0}$ 及び d 軸電流指令値 $I_{d1} = K_4 \times I_{d0}$ として算出してよい。

また例えば、 q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} にゲイン K_2 及び K_3 を乗算した積を q 軸電流指令値 $I_{q1} = K_2 \times K_3 \times I_{q0}$ 及び d 軸電流指令値 $I_{d1} = K_2 \times K_3 \times I_{d0}$ として算出してよい。

【 0 0 5 5 】

例えば、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定した場合 (例えば制限ゲイン $K_1 = 「 0 . 5 」$) の場合には、第 1 電流制限部 6 1 は、 q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} に制限ゲイン K_1 及び K_3 を乗算した積を q 軸電流指令値 $I_{q1} = K_1 \times K_3 \times I_{q0}$ 及び d 軸電流指令値 $I_{d1} = K_1 \times K_3 \times I_{d0}$ として算出してよい。

10

【 0 0 5 6 】

一方で、電流検出回路 3 9 A 1、3 9 B 1、3 9 C 1 により検出されたモータ 2 0 の第 1 系統コイルの A 相電流、B 相電流及び C 相電流の検出値 I_{1a} 、 I_{1b} 、 I_{1c} は、3 相 / 2 相変換部 6 7 で $d - q$ 2 軸の電流 i_d 、 i_q に変換される。

減算器 6 2 及び 6 3 は、フィードバックされた電流 i_q 、 i_d を制限後の q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} からそれぞれ減じることにより、 q 軸偏差電流 q_0 及び d 軸偏差電流 d_0 を算出する。

20

第 2 電流制限部 6 4 は、 q 軸偏差電流 q_0 及び d 軸偏差電流 d_0 の上限値を制限する。制限後の q 軸偏差電流 q 及び d 軸偏差電流 d は、P I 制御部 6 5 に入力される。

【 0 0 5 7 】

P I 制御部 6 5 は、 q 軸偏差電流 q 及び d 軸偏差電流 d を各々 0 とするような電圧指令値 v_q 、 v_d を算出する。2 相 / 3 相変換部 6 6 は、電圧指令値 v_d 、 v_q を、モータ 2 0 の第 1 系統の A 相電圧制御指令値 V_{1a} 、B 相電圧指令値 V_{1b} 、C 相電圧指令値 V_{1c} にそれぞれ変換して、第 1 ゲート駆動回路 4 1 A へ出力する。

角速度変換部 6 8 は、モータ回転角 m の時間的変化に基づいてモータ 2 0 の回転角速度を算出する。これらモータ回転角 m 及び回転角速度は、電流指令値演算部 6 0 に入力されてベクトル制御に使用される。

30

【 0 0 5 8 】

図 7 は、第 1 実施形態のモータ制御方法の一例のフローチャートである。

ステップ S 1 において E C U 温度測定部 5 0、センサ異常判定部 5 1 及び E C U 温度推定部 5 2 は、温度検出回路 4 5 の検出信号 S_{d1} を取得する。

ステップ S 2 において E C U 温度測定部 5 0 は、E C U 温度検出値 T_{e1} に基づいて E C U 温度 T_e を測定する。

ステップ S 3 において第 1 電流制限部 6 1 は、E C U 温度 T_e が第 1 閾値 T_{a1} を超えたか否かを判定する。E C U 温度 T_e が第 1 閾値 T_{a1} を超えた場合 (ステップ S 3 : Y) に処理はステップ S 4 へ進む。E C U 温度 T_e が第 1 閾値 T_{a1} を超えない (S 3 : N) 場合に処理はステップ S 5 へ進む。

40

【 0 0 5 9 】

ステップ S 4 において第 1 電流制限部 6 1 は、 q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を制限する。その後処理はステップ S 5 へ進む。

ステップ S 5 において電流検出回路 3 9 A 1、3 9 B 1、3 9 C 1、3 9 A 2、3 9 B 2 及び 3 9 C 2 は、モータ電流 I_{1a} 、 I_{1b} 、 I_{1c} 、 I_{2a} 、 I_{2b} 及び I_{2c} をそれぞれ検出する。

【 0 0 6 0 】

ステップ S 6 において上昇値推定部 5 3 は、モータ電流 I_{1a} 、 I_{1b} 、 I_{1c} 、 I_{2a} 、 I_{2b} 及び I_{2c} に基づいて、モータ電流によるモータ温度の上昇値 R_t を推定する。

50

ステップ S 7 においてセンサ異常判定部 5 1 は、温度検出回路が異常であるか否かを判定する。温度検出回路が異常である場合（ステップ S 7 : Y）に処理はステップ S 9 へ進む。温度検出回路が異常でない場合（ステップ S 7 : N）に処理はステップ S 8 へ進む。

ステップ S 8 において E C U 温度推定部 5 2 は、E C U 温度検出値 $T e 1$ を E C U 温度推定値 $T e s$ に設定する。その後処理はステップ S 1 1 へ進む。

【 0 0 6 1 】

ステップ S 9 において第 1 電流制限部 6 1 は、q 軸電流指令値 $I q 0$ 及び d 軸電流指令値 $I d 0$ を制限する。ステップ S 1 0 において E C U 温度推定部 5 2 は、一定の増加速度 $T r$ で E C U 温度推定値 $T e s$ を所定の設定値 $T s$ まで漸増させる。例えば単位時間当たり所定のステップ量だけ E C U 温度推定値 $T e s$ を増加する。その後処理はステップ S 1 1 へ進む。

10

ステップ S 1 1 において加算器 5 4 は、E C U 温度推定値 $T e s$ に上昇値 $R t$ を加えた値をモータ温度推定値 $T m$ として算出する。

【 0 0 6 2 】

ステップ S 1 2 において第 1 電流制限部 6 1 は、モータ温度推定値 $T m$ が第 2 閾値 $T b 1$ を超えたか否かを判定する。モータ温度推定値 $T m$ が第 2 閾値 $T b 1$ を超えた場合（ステップ S 1 2 : Y）に処理はステップ S 1 3 へ進む。モータ温度推定値 $T m$ が第 2 閾値 $T b 1$ を超えない場合（ステップ S 1 2 : N）に処理は終了する。

ステップ S 1 3 において第 1 電流制限部 6 1 は、q 軸電流指令値 $I q 0$ 及び d 軸電流指令値 $I d 0$ を制限する。その後処理は終了する。

20

【 0 0 6 3 】

（第 1 実施形態の効果）

（ 1 ） E C U 3 0 は、モータ 2 0 に流れるモータ電流を制御する第 1 電力変換回路 4 2 A 及び第 2 電力変換回路 4 2 B と、第 1 電力変換回路 4 2 A 及び第 2 電力変換回路 4 2 B 付近に配置された温度センサ 4 5 a を有する温度検出回路 4 5 と、モータ電流によるモータ 2 0 の温度の上昇値 $R t$ を推定する上昇値推定部 5 3 と、温度検出回路 4 5 が異常であるか否かを判定するセンサ異常判定部 5 1 と、温度検出回路 4 5 が正常であると判定された場合に、温度検出回路 4 5 が検出した検出温度を E C U 温度推定値 $T e s$ として出力し、温度検出回路 4 5 が異常であると判定された場合に、温度検出回路 4 5 が検出した検出温度から所定の設定値 $T s$ まで一定の増加速度で漸増する値を E C U 温度推定値 $T e s$ として出力する E C U 温度推定部 5 2 と、E C U 温度推定値 $T e s$ に上昇値 $R t$ を加えた値をモータ温度推定値 $T m$ として演算する加算器 5 4 と、モータ温度推定値 $T m$ が所定の閾値を超えた場合に、モータ温度推定値 $T m$ が高くなるほど漸減するようにモータ電流を制限する第 1 電流制限部 6 1 と、を備える。

30

【 0 0 6 4 】

センサ異常判定部 5 1 は、温度センサ 4 5 a の出力信号が所定範囲内の値である場合に温度検出回路 4 5 が正常であると判定し、温度センサ 4 5 a の出力信号が所定範囲外の値である場合に温度検出回路 4 5 が異常であると判定する。

これにより、温度検出回路 4 5 に異常が発生した場合にモータ温度推定値 $T m$ が急に高くなってモータ電流が過剰に制限されるのを防止できる。また、モータ温度推定値 $T m$ が所定の閾値を超えても漸減するようにモータ電流を制限することにより、モータ温度推定値 $T m$ の上昇を抑制し、モータ電流の制限が過大になるのを抑制できる。

40

【 0 0 6 5 】

（ 2 ） E C U 温度推定部 5 2 は、温度検出回路 4 5 が検出した検出温度をホールド値として保持し、温度検出回路 4 5 が異常であると判定された場合に、温度検出回路 4 5 が異常であると判定される前に保持したホールド値から所定の設定値 $T s$ まで時間経過に伴って一定の増加速度で漸増する値を E C U 温度推定値 $T e s$ として出力してよい。

これにより温度検出回路 4 5 に異常が発生した場合に、異常な検出値に基づいて E C U 温度推定値 $T e s$ を算出するのを防止できる。

【 0 0 6 6 】

50

(3) センサ異常判定部 51 は、温度検出素子の出力信号が所定範囲外の値である状態が所定時間以上に亘って継続した場合に温度検出回路が異常であると判定してよい。ECU 温度推定部 52 は、温度検出回路 45 が検出した検出温度をホールド値として保持し、温度センサ 45a の出力信号が所定範囲外の値になる直前のホールド値から所定の設定値まで時間経過に伴って一定の増加速度で漸増する値を ECU 温度推定値 T_{es} として出力してよい。

これにより、ノイズ等の影響による温度センサ 45a の出力信号の一時的な変動によって温度検出回路 45 の異常を誤検出するのを防止できる。

【0067】

(4) 電動パワーステアリング装置は、ECU30 と、ECU30 により制御されるモータ 20 とを備え、モータ 20 によって車両の操舵系に操舵補助力を付与する。電動パワーステアリング装置は、ステアリングホイール 1 の操舵トルクを検出するトルクセンサ 10 を備え、ECU30 は、操舵トルクに少なくとも基づいてモータ 20 に流れるモータ電流の電流指令値を設定する電流指令値演算部 60 を備える。電動モータに流れるモータ電流をそれぞれ供給する電流制御は、第 1 電力変換回路 42A と第 2 電力変換回路 42B とにより冗長化されていてよい。第 1 電流制限部 61 は、温度検出回路が異常であると判定された場合にモータ 20 に流れるモータ電流を、電流指令値より小さな値の電流に制限してよい。これにより、電動パワーステアリング装置においてモータ電流制御回路の温度が許容温度以下となるようにモータ電流を制限できる。

【0068】

(第 2 実施形態)

第 2 実施形態の ECU30 では、第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の温度を検出する温度検出回路が冗長化されている。

図 8 は、第 2 実施形態の ECU30 の一例の概要を示す構成図である。第 2 実施形態の ECU30 は、第 1 実施形態の温度検出回路 45 としての第 1 温度検出回路 45 と、第 2 温度検出回路 46 とを備える。第 2 実施形態の ECU30 のその他の構成要素は、第 1 実施形態と同様である。

なお、第 1 実施形態の ECU30 と共通する構成要素及び機能に関する説明を省略する。また、以下の説明において第 1 温度検出回路 45 の温度センサ 45a を「第 1 温度センサ 45a」と表記する。

【0069】

第 2 温度検出回路 46 は、第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の付近に配置された第 2 温度センサ 46a を備える。第 1 温度センサ 45a 及び第 2 温度センサ 46a は、それぞれ「第 1 温度検出素子」及び「第 2 温度検出素子」の一例である。なお、第 2 温度センサ 46a の配置位置は第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の付近でなくともよい。第 2 温度センサ 46a は、ECU30 の発熱し易い場所に配置されていれば足りる。

【0070】

第 2 温度検出回路 46 は、第 2 温度センサ 46a の出力に応じて第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の温度を検出し、検出結果を示す検出信号 S_{d2} を出力する。以下の説明において、第 2 温度検出回路 46 が検出した第 1 電力変換回路 42A 及び第 2 電力変換回路 42B の温度（検出信号 S_{d2} が表す温度）を「ECU 温度検出値 T_{e2} 」と表記することがある。

第 2 温度検出回路 46 は、第 1 温度検出回路 45 と同一の構成を有してよい。例えば、第 2 温度検出回路 46 の第 2 温度センサ 46a は、第 1 温度検出回路 45 の第 1 温度センサ 45a と同一の特性のサーミスタであってよく、第 1 温度検出回路 45 と第 2 温度検出回路 46 の固定抵抗 R は同一の抵抗値を有してよい。

【0071】

制御演算装置 31 は、A/D 変換部 31a を介して、第 2 温度検出回路 46 の検出信号 S_{d2} を取得する。温度測定部 31b は、第 1 温度検出回路 45 及び第 2 温度検出回路 4

10

20

30

40

50

6の検出信号 $Sd1$ 及び $Sd2$ が表すECU温度検出値 $Te1$ 及び $Te2$ と、モータ20に流れるモータ電流の検出値 $I1ad$ 、 $I1bd$ 、 $I1cd$ 、 $I2ad$ 、 $I2bd$ 及び $I2cd$ とに基づいてモータ温度を推定する。

【0072】

図9は、第2実施形態の温度測定部31bの機能構成の一例のブロック図である。温度測定部31bは、センサ異常判定部51と、ECU温度推定部52と、上昇値推定部53と、加算器54を備える。なお、図4に示した第1実施形態の温度測定部31bと共通する構成要素及び機能に関する説明を省略する。

センサ異常判定部51は、第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46の少なくとも一方が異常であるか否かを判定し、判定結果を示す異常判定信号 Sa を出力する。

10

第2実施形態及び第3実施形態に関する説明では、第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46の少なくとも一方が異常であることを「温度検出回路が異常である」と表記し、第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46のいずれも異常でないこと(すなわち第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46のいずれも正常であること)を「温度検出回路が異常でない」と表記する。

【0073】

例えばセンサ異常判定部51は、第1温度検出回路45の検出信号 $Sd1$ が表すECU温度検出値 $Te1$ と第2温度検出回路46の検出信号 $Sd2$ が表すECU温度検出値 $Te2$ との差分 Te が所定値 Tt 以上である場合に、温度検出回路が異常であると判定してよい。差分 Te が所定値 Tt 未満である場合にセンサ異常判定部51は、温度検出回路が異常でないと判定してよい。

20

例えば所定値 Tt は5[]であってよい。これにより、例えば第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46を構成する部品のバラつきによってECU温度検出値 $Te1$ とECU温度検出値 $Te2$ の間にある程度の誤差があっても、第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46の異常を誤検出するのを防止できる。

【0074】

また例えばセンサ異常判定部51は、差分 Te が所定値 Tt 以上となっても、差分 Te が所定値 Tt 以上である状態が所定時間 TL に亘って継続するまでは、温度検出回路が異常でないと判定してよい。センサ異常判定部51は、差分 Te が所定値 Tt 以上である状態が所定時間 TL 以上に亘って継続した場合に温度検出回路が異常であると判定してよい。例えば所定時間 TL は1[秒]であってよい。これにより、例えばノイズ等の影響による差分 Te の一時的な増加によって第1温度検出回路45及び第2温度検出回路46の異常が誤検出されるのを防止できる。

30

【0075】

ECU温度推定部52は、第1温度検出回路45の検出信号 $Sd1$ が表すECU温度検出値 $Te1$ と、第2温度検出回路46の検出信号 $Sd2$ が表すECU温度検出値 $Te2$ と、センサ異常判定部51から出力される異常判定信号 Sa と、に基づいて第1電力変換回路42A及び第2電力変換回路42Bの温度を推定する。

【0076】

温度検出回路が異常でないとセンサ異常判定部51が判定した場合、ECU温度推定部52は、ECU温度検出値 $Te1$ とECU温度検出値 $Te2$ のうちいずれか一方を選択して、ECU温度推定値 Tes として出力してよい。例えばECU温度推定部52は、ECU温度検出値 $Te1$ とECU温度検出値 $Te2$ のうちより高い検出値をECU温度推定値 Tes として出力してよく、より低い検出値をECU温度推定値 Tes として出力してもよい。

40

【0077】

温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部51が判定した場合、ECU温度推定部52は、第1温度検出回路45が検出したECU温度検出値 $Te1$ 又は第2温度検出回路46が検出したECU温度検出値 $Te2$ から所定の設定値 Ts まで一定の増加速度 Tr [/秒]で漸増する値を、ECU温度推定値 Tes として出力する。

50

例えば、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定する直前まで、E C U 温度推定値 T_{es} として E C U 温度検出値 T_{e1} を出力していた場合、E C U 温度推定部 5 2 は、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定した時点 t_1 では E C U 温度推定値 T_{es} として E C U 温度検出値 T_{e1} を出力する。E C U 温度推定部 5 2 は、時点 t_1 から E C U 温度推定値 T_{es} の増加を開始し、時点 t_1 で第 1 温度検出回路 4 5 が検出していた E C U 温度検出値 T_{e1} から所定の設定値 T_s まで一定の増加速度 T_r で漸増する値を E C U 温度推定値 T_{es} として出力する。

【 0 0 7 8 】

同様に、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定する直前まで、E C U 温度推定値 T_{es} として E C U 温度検出値 T_{e2} を出力していた場合、E C U 温度推定部 5 2 は、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定した時点 t_1 では E C U 温度推定値 T_{es} として E C U 温度検出値 T_{e2} を出力する。E C U 温度推定部 5 2 は、時点 t_1 から E C U 温度推定値 T_{es} の増加を開始し、時点 t_1 で第 2 温度検出回路 4 6 が検出していた E C U 温度検出値 T_{e2} から所定の設定値 T_s まで一定の増加速度 T_r で漸増する値を E C U 温度推定値 T_{es} として出力する。

【 0 0 7 9 】

E C U 温度推定部 5 2 は、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定した時点 t_1 において第 1 温度検出回路 4 5 が検出した E C U 温度検出値 T_{e1} 又は第 2 温度検出回路 4 6 が検出した E C U 温度検出値 T_{e2} に応じて、増加速度 T_r を変更してよい。

例えば、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定する直前まで、E C U 温度推定値 T_{es} として E C U 温度検出値 T_{e1} を出力していた場合、E C U 温度検出値 T_{e1} が低い場合に比べて高い場合に、より低い増加速度 T_r を設定してよい。例えば、E C U 温度検出値 T_{e1} が高いほど、より低い増加速度 T_r を設定してよい。

温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定する直前まで、E C U 温度推定値 T_{es} として E C U 温度検出値 T_{e2} を出力していた場合、E C U 温度検出値 T_{e2} が低い場合に比べて高い場合に、より低い増加速度 T_r を設定してよい。例えば、E C U 温度検出値 T_{e2} が高いほど、より低い増加速度 T_r を設定してよい。

【 0 0 8 0 】

図 1 0 は、温度検出回路の異常時における E C U 温度推定値 T_{es} の変化を模式的に示す説明図である。ここでは、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定する直前まで E C U 温度検出値 T_{e1} が E C U 温度推定値 T_{es} として出力されていた場合について説明する。E C U 温度検出値 T_{e2} が E C U 温度推定値 T_{es} として出力されていた場合には、E C U 温度検出値 T_{e1} を E C U 温度検出値 T_{e2} に読み替える。

実線 L 1 は、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 5 1 が判定した時点 t_1 における E C U 温度検出値 T_{e1} が比較的高い T_1 である場合に E C U 温度推定部 5 2 から出力される E C U 温度推定値 T_{es} の時間的変化を示し、一点鎖線 L 2 は、時点 t_1 における E C U 温度検出値 T_{e1} が比較的低い T_2 である場合に E C U 温度推定部 5 2 から出力される E C U 温度推定値 T_{es} の時間的変化を示す。

【 0 0 8 1 】

図 1 0 の例においてセンサ異常判定部 5 1 は、差分 T_e が所定値 T_t 以上となっても、差分 T_e が所定値 T_t 以上である状態が所定時間 T_L に亘って継続するまでは、温度検出回路が異常でないと判定する。このため、差分 T_e が所定値 T_t 以上である状態が継続した時間が所定時間 T_L に至る時点 t_1 まで、E C U 温度推定部 5 2 は E C U 温度検出値 T_{e1} を E C U 温度推定値 T_{es} として出力する。時点 t_1 においてセンサ異常判定部 5 1 は、温度検出回路が異常であると判定する。

時点 t_1 における E C U 温度検出値 T_{e1} が温度 T_1 である場合に、E C U 温度推定部 5 2 は、実線 L 1 に示すように時点 t_1 から E C U 温度推定値 T_{es} の増加を開始し、温度 T_1 から一定の増加速度 T_r1 [/ 秒] で漸増し、時点 t_2 で所定の設定値 T_s に至る E C U 温度推定値 T_{es} を出力する。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 2 】

一方で、時点 t_1 における ECU 温度検出値 T_{e1} が温度 T_2 である場合に、ECU 温度推定部 52 は、一点鎖線 L_2 に示すように時点 t_1 から ECU 温度推定値 T_{es} の増加を開始し、温度 T_2 から一定の増加速度 Tr_2 [/ 秒] で漸増し、時点 t_3 で所定の設定値 T_s に至る ECU 温度推定値 T_{es} を出力する。

センサ異常判定部 51 は、時点 t_1 における ECU 温度検出値 T_{e1} が比較的低い T_2 である場合の増加速度 Tr_2 に比べ、時点 t_1 における ECU 温度検出値 T_{e1} が比較的高い T_1 である場合の増加速度 Tr_1 が低くなるように設定してよい。温度が高い物体ほど放熱が大きくなるため、同じ熱量が加わる場合の温度上昇が遅くなる。温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 51 が判定した時点 t_1 における ECU 温度検出値 T_{e1} が高いほど、ECU 温度推定値 T_{es} の増加速度 Tr を低くすることにより、ECU 温度推定値 T_{es} が過剰に高くなるのを防止できる。

10

【 0 0 8 3 】

図 11 は、第 2 実施形態の制御演算装置 31 の機能構成の一例のブロック図である。なお、図 11 では、モータ 20 の第 1 系統のコイルを駆動する機能構成のみ記載するが、第 2 系統のコイルを駆動する機能構成も同様の構成を有する。また、図 6 に示した第 1 実施形態の制御演算装置 31 と共通する構成要素及び機能に関する説明を省略する。

第 1 電流制限部 61 は、温度測定部 31b から出力された異常判定信号 S_a とモータ温度推定値 T_m とに基づいて q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を制限することにより、制限後の q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出する。

20

【 0 0 8 4 】

例えば第 1 電流制限部 61 は、モータ温度推定値 T_m が第 2 閾値 T_{b1} を超えた場合に、モータ温度推定値 T_m が高くなるほど q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を大きく制限することにより、 q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してよい。すなわちモータ温度推定値 T_m が高くなるほど漸減する q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してよい。

【 0 0 8 5 】

また例えば、第 1 電流制限部 61 は、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 51 が判定した場合に、 q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} より小さな値の q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してよい。例えば、 q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を 50% に制限することにより q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してよい。

30

なお、第 1 電流制限部 61 は、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部 51 が判定した場合に、モータ温度推定値 T_m が第 2 閾値 T_{b1} を超えない場合であっても、 q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} より小さな値の q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} (例えばそれぞれ q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を 50%) を算出してよい。

【 0 0 8 6 】

例えば、第 1 電流制限部 61 は、異常判定信号 S_a に応じた上記の制限ゲイン K_1 と、モータ温度推定値 T_m に応じた上記の制限ゲイン K_3 を設定してよい。

40

例えば第 1 電流制限部 61 は、制限ゲイン K_3 にヒステリシス特性を設けてもよい。例えば、制限ゲイン K_3 の値が「1」になると、モータ温度推定値 T_m が第 2 閾値 T_{b1} を超えた場合に、モータ温度推定値 T_m が第 2 閾値 T_{b1} から上昇するのに応じて、制限ゲイン K_3 の値を「1」から漸減する。モータ温度推定値 T_m が第 6 閾値 T_{b2} に到達しない限り(すなわち制限ゲイン K_2 の値が「0」にならない限り)、モータ温度推定値 T_m が第 2 閾値 T_{b1} から第 6 閾値 T_{b2} の範囲で上下するのに応じて、第 1 電流制限部 61 は、制限ゲイン K_3 の値を「1」から「0」の範囲で減少又は増加させる。

【 0 0 8 7 】

モータ温度推定値 T_m が第 6 閾値 T_{b2} に到達すると(すなわち制限ゲイン K_3 の値が「0」になると)、第 1 電流制限部 61 は、モータ温度推定値 T_m が第 6 閾値 T_{b2} 未満

50

になっても制限ゲイン K_3 の値を「0」から増加させない。モータ温度推定値 T_m が第6閾値 T_{b2} よりも小さな第7閾値 T_{b3} 未満に低下した場合に、第1電流制限部61は制限ゲイン K_3 の減少を開始し、第2閾値 T_{b1} よりも小さな第8閾値 T_{b4} までモータ温度推定値 T_m が低下するのに応じて、制限ゲイン K_3 の値を「0」から「1」まで漸増してよい。例えば、第7閾値 T_{b3} は第2閾値 T_{b1} よりも低い値に設定しても第2閾値 T_{tb1} よりも高い値に設定してもよい。

モータ温度推定値 T_m が第8閾値 T_{b4} に到達しない限り（すなわち制限ゲイン K_3 の値が「1」にならない限り）、モータ温度推定値 T_m が第7閾値 T_{b3} から第8閾値 T_{b4} の範囲で上下するのに応じて、第1電流制限部61は、制限ゲイン K_3 の値を「0」から「1」の範囲で減少又は増加させる。

第1電流制限部61は、 q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} に制限ゲイン K_1 及び K_3 を乗算した積を q 軸電流指令値 $I_{q1} = K_1 \times K_3 \times I_{q0}$ 及び d 軸電流指令値 $I_{d1} = K_1 \times K_3 \times I_{d0}$ として算出する。

【0088】

なお、第2実施形態の温度測定部31bにおいても、第1実施形態の温度測定部31bと同様にECU温度 T_e を出力してよい。

また、第2実施形態の第1電流制限部61においても、第1実施形態の第1電流制限部61と同様に、温度測定部31bから出力された異常判定信号 S_a と、ECU温度 T_e と、モータ温度推定値 T_m とに基づいて q 軸電流指令値 I_{q0} 及び d 軸電流指令値 I_{d0} を制限して、制限後の q 軸電流指令値 I_{q1} 及び d 軸電流指令値 I_{d1} を算出してもよい。

【0089】

図12は、第2実施形態のモータ制御方法の一例のフローチャートである。

ステップS20の処理は、図7のステップS1の処理と同様である。ステップS21～S29の処理は、図7のステップS5～S13の処理と同様である。

【0090】

図13は、変形例の温度測定部31bの機能構成の一例のブロック図である。変形例の温度測定部31bは、図9に示した第2実施形態の温度測定部31bの構成に加え、ECU温度測定部50を備える。

ECU温度測定部50は、ECU温度検出値 T_{e1} とECU温度検出値 T_{e2} とに基づいて第1電力変換回路42A及び第2電力変換回路42Bの温度であるECU温度 T_e を測定する。ECU温度測定部50は、ECU温度検出値 T_{e1} とECU温度検出値 T_{e2} のうちいずれか一方を選択して、ECU温度 T_e として出力してよい。例えばECU温度測定部50は、ECU温度検出値 T_{e1} とECU温度検出値 T_{e2} のうちより高い検出値をECU温度 T_e として出力してよく、より低い検出値をECU温度 T_e として出力してもよい。

【0091】

（第2実施形態の効果）

(1) ECU30は、モータ20に流れるモータ電流を制御する第1電力変換回路42A及び第2電力変換回路42Bと、第1電力変換回路42A及び第2電力変換回路42Bの付近に配置された温度センサ45a、46aを有する温度検出回路45、46と、モータ電流によるモータ20の温度の上昇値 R_t を推定する上昇値推定部53と、温度検出回路が異常であるか否かを判定するセンサ異常判定部51と、温度検出回路が異常でないと判定された場合に、温度検出回路45、46が検出した検出温度をECU温度推定値 T_{es} として出力し、温度検出回路が異常であると判定された場合に、温度検出回路45、46が検出した検出温度から所定の設定値 T_s まで一定の増加速度 T_r で漸増する値をECU温度推定値 T_{es} として出力するECU温度推定部52と、ECU温度推定値 T_{es} に上昇値 R_t を加えた値をモータ温度推定値 T_m として演算する加算器54と、モータ温度推定値 T_m が所定の閾値を超えた場合に、モータ温度推定値 T_m が高くなるほど漸減するようにモータ電流を制限する第1電流制限部61と、を備える。

これにより、温度検出回路に異常が発生した場合にモータ温度推定値 T_m が急に高くな

10

20

30

40

50

ってモータ電流が過剰に制限されるのを防止できる。また、モータ温度推定値 T_m が所定の閾値を超えても漸減するようにモータ電流を制限することにより、モータ温度推定値 T_m の上昇を抑制し、モータ電流の制限が過大になるのを抑制できる。

【0092】

(2) 温度検出回路45、46は、それぞれ温度センサ45a、46aを備え、温度センサ45aの出力に応じたECU温度検出値 T_{e1} を示す検出信号と、温度センサ46aの出力に応じたECU温度検出値 T_{e2} を示す検出信号とを出力してよい。センサ異常判定部51は、ECU温度検出値 T_{e1} 、 T_{e2} のうちより高い第1検出温度とより低い第2検出温度との間の差分 T_e が所定値 T_t 以上である場合に温度検出回路が異常であると判定してよい。ECU温度推定部52は、温度検出回路が正常であると判定された場合

10

に、第1検出温度をECU温度推定値 T_{es} として出力してよい。
このように複数の温度検出回路45、46によるECU温度検出値 T_{e1} 、 T_{e2} に基づいて温度検出回路が異常であるか否かを判定することにより、単一の温度検出回路を備える場合に比べてより正確且つより迅速に温度検出回路の異常を判定できる。

【0093】

(3) センサ異常判定部51は、第1検出温度と第2検出温度との間の差分 T_e が所定値 T_t 以上である状態が所定時間 T_L 以上に亘って継続した場合に温度検出回路が異常であると判定してよい。ECU温度推定部52は、差分 T_e が所定値 T_t 以上である状態が所定時間 T_L に亘って継続した時点において温度検出回路45又は46が出力する第1検出温度から所定の設定値 T_s まで時間経過に伴って一定の増加速度 T_r で漸増する値をECU温度推定値 T_{es} として出力してよい。

20

これにより、例えばノイズ等の影響による差分 T_e の一時的な増加によって温度検出回路の異常を誤検出するのを防止できる。

【0094】

(4) ECU温度推定部52は、温度検出回路が異常であると判定された場合に、温度検出回路45又は46が検出した検出温度が低い場合に比べて高い場合に、より低い増加速度 T_r で漸増するECU温度推定値 T_{es} を出力してよい。

これにより、温度検出回路が異常であると判定された時点で温度検出回路45又は46で検出された検出温度が高い場合に、ECU温度推定値 T_{es} が過剰に高くなるのを防止できる。

30

【0095】

(第3実施形態)

第3実施形態のECU30の構成は、図8を参照して説明した第2実施形態のECU30と同様の構成を有する。また、第3実施形態の制御演算装置31の構成は、図6を参照して説明した第1実施形態の制御演算装置31と同様の構成を有する。なお、第2実施形態のECU30及び第1実施形態の制御演算装置31と共通する構成要素及び機能に関する説明を省略する。

【0096】

図8を参照する。第1温度検出回路45の第1温度センサ45aと、第2温度検出回路46の第2温度センサ46aは、発熱部品である第1電力変換回路42AのFETQ1～Q6及び第2電力変換回路42BのFETQ1～Q6と同一の回路基板に搭載される。

40

図14は、回路基板70上に搭載された電力変換回路(第1電力変換回路42A、第2電力変換回路42B)と温度センサ(第1温度センサ45a、第2温度センサ46a)との間の相対位置関係の模式図である。以下の説明において、回路基板70の部品搭載面に平行な直交2軸方向をそれぞれ第1方向D1及び第2方向D2と表記する。

【0097】

図14に示すように、回路基板70は、上面視で長円形状を短軸に沿って分割した半長円形状を有しており、第1方向D1の両縁部e1及びe2のうち一方の縁部e1は円弧状に形成され、他方の縁部e2は直線状に形成されている。

第1電力変換回路42A及び第2電力変換回路42Bは、第2方向D2に沿って配列さ

50

れ、第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aは、第2方向D2において、第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bとの間に配置されている。このように、第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aを、第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bとの間に配置することにより、第1電力変換回路42A又は第2電力変換回路42Bのどちらかに偏ることなく、第1電力変換回路42A又は第2電力変換回路42Bの両方の温度異常を良好に検出できる。

【0098】

例えば、第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aは、電力配線PWの正極側ラインLp(図8を参照)が第1正極側ラインLpAと第2正極側ラインLpBとに分岐する分岐点Pb付近に配置してよい。例えば、分岐点Pb付近の電力変換回路42A、42B側の位置であって、且つ第1正極側ラインLpAと第2正極側ラインLpBとの間に第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aを配置してよい。

10

第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bへの電源ラインである第1温度センサ45aと第2温度センサ46aとが分岐する分岐点Pb付近に配置することにより、第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bとの間に第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aを配置し易くなる。

【0099】

例えば、第2方向D2における回路基板70の略中央を通る中心線CL(すなわち第1方向D1に沿った中心線CL)上に、第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aを配置してよい。中心線CLに第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aを配置することにより、第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bとの間に第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aを配置し易くなる。また、回路基板70の中央は熱が溜まりやすいため、高温になり易い場所に第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aを配置することによりECU30の過熱を検出し易くなる。

20

【0100】

さらに第1温度センサ45aと第2温度センサ46aは、近接して配置してもよい。第1温度センサ45aと第2温度センサ46aを近接して配置することにより、第1温度センサ45aと第2温度センサ46aとの間の熱的結合を密にすることができる。この結果、第1温度センサ45aの検出温度と第2温度センサ46aの検出温度とを互いに近づけることができる。

30

これにより、第1温度センサ45aと第2温度センサ46aの検出温度の差分に基づいて第1温度検出回路45と第2温度検出回路46に生じた異常を検出できる。

【0101】

また、第1温度センサ45aと第2温度センサ46aは、互いに異なる向きに配向されるように回路基板70に搭載してもよい。図4において参照符号45b及び45cはサーミスタである第1温度センサ45aの両端電極を示し、参照符号46b及び46cはサーミスタである第2温度センサ46aの両端電極を示している。

図14の例では、第1温度センサ45aの両端電極45b及び45cは第2方向D2に沿って配列され、第2温度センサ46aの両端電極46b及び46cは第1方向D1に沿って配列されており、第1温度センサ45aの向きと第2温度センサ46aの向きは直交している。

40

【0102】

このように、第1温度センサ45aと第2温度センサ46aとを異なる向きに配向することにより、回路基板70に応力が加わったときに第1温度センサ45aと第2温度センサ46aとが同時にダメージを被るのを回避できる。

上記のように、第1温度センサ45aと第2温度センサ46aの検出温度の差分に基づいて第1温度検出回路45と第2温度検出回路46の異常を検出する場合に、両方のセンサに同じ異常が発生して検出温度に差がなくなると、異常発生を検出できなくなる虞がある。回路基板70に加わる応力によって両センサが同時にダメージを被るのを回避することにより、応力によって受けたダメージによって両方のセンサに同じ異常が生じるのを抑

50

制できる。

【0103】

第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bの各々に含まれるFETQ1～Q6と、温度センサ(第1温度センサ45a、第2温度センサ46a)とを、同一の放熱部材(ヒートシンク)に熱的に接続してもよい。放熱部材は熱伝導性が良好な素材で構成されているため、発熱部材であるFETQ1～Q6と第1温度センサ45a及び第2温度センサ46aとを同一の放熱部材に熱的に接続することにより、第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bの温度異常をより検出し易くなる。

また、第1温度センサ45aと第2温度センサ46aとを同一の放熱部材に熱的に接続することにより、第1温度センサ45aと第2温度センサ46aとの間の熱的結合がさらに密になり、第1温度センサ45aの検出温度と第2温度センサ46aの検出温度とをより近付けることができる。

10

【0104】

図15は、第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bが発生する熱を放出する放熱構造の模式図である。放熱部材72は、例えばアルミ合金などの熱伝導性のよい金属で形成されたヒートシンクであってよい。

第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bの各々に含まれるFETQ1～Q6の回路基板70と反対側の面f1と、第1温度センサ45aと第2温度センサ46aの回路基板70と反対側の面f2とが、同一のヒートシンク72に熱的に接続されている。例えば、導電性ペースト(例えば放熱グリス)のような熱インタフェース材料(TIM: Thermal Interface Material)73及び74をそれぞれ介して面f1及びf2をヒートシンク72に接触させる。

20

FETQ1～Q6は、例えば天面(上面)放熱構造を有するスイッチング素子であってよい。例えば、FETQ1～Q6は、ソースパッドに接続されたサーマルパッドが、ドレインパッドが設けられた面(底面)と反対側の面(上面)において、ダイを封止している樹脂製のパッケージ(モールド)から露出しているスイッチング素子であってよい。また例えば、FETQ1～Q6は、熱伝導度の高い樹脂で形成されたモールドを有し、かつドレインパッドが設けられた面と反対側の面のモールドが薄肉化されたスイッチング素子であってよい。

【0105】

30

図16は、第3実施形態の温度測定部31bの機能構成の一例のブロック図である。温度測定部31bは、センサ異常判定部51と、ECU温度測定部50と、モータ温度推定部55を備える。第3実施形態のセンサ異常判定部51の機能は、第2実施形態のセンサ異常判定部51の機能と同様であり、第3実施形態のECU温度測定部50の機能は、第2実施形態の変形例のECU温度測定部50の機能と同様であるため説明を省略する。

【0106】

モータ温度推定部55は、モータ20のモータ温度を推定する。具体的には、モータ温度推定部55は、ECU温度検出値Te1とECU温度検出値Te2とセンサ異常判定部51から出力される異常判定信号Saとに基づいてECU温度を推定し(すなわち、ECU温度推定値Tesを算出し)、ECU温度推定値Tesとモータ電流の検出値I1ad、I1bd、I1cd、I2ad、I2bd及びI2cdとに基づいてモータ温度を推定する。

40

温度検出回路が異常でないとセンサ異常判定部51が判定した場合、モータ温度推定部55は、ECU温度検出値Te1とECU温度検出値Te2のうちいずれか一方をECU温度推定値Tesとして選択する。例えばモータ温度推定部55は、ECU温度検出値Te1とECU温度検出値Te2のうちより高い検出値をECU温度推定値Tesとして選択してよく、より低い検出値をECU温度推定値Tesとして選択してもよい。

【0107】

温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部51が判定した場合、モータ温度推定部55は、ECU温度検出値Te1又はECU温度検出値Te2から所定の設定値Tsまで

50

一定の増加速度 T_r [/秒] で漸増する値を、ECU温度推定値 T_{es} として算出する。

図17は、温度検出回路の異常時におけるECU温度推定値 T_{es} の算出方法を模式的に示す説明図である。例えば、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部51が判定する時点 t_1 の直前まで、ECU温度推定値 T_{es} としてECU温度検出値 T_{e1} を選択していた場合、モータ温度推定部55は、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部51が判定した時点 t_1 ではECU温度検出値 T_{e1} をECU温度推定値 T_{es} に設定する。モータ温度推定部55は、時点 t_1 からECU温度推定値 T_{es} の増加を開始し、時点 t_1 で第1温度検出回路45が検出していたECU温度検出値 T_{e1} から所定の設定値 T_s まで一定の増加速度 T_r で漸増する値をECU温度推定値 T_{es} として算出する。

10

【0108】

一方で、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部51が判定する時点 t_1 の直前まで、ECU温度推定値 T_{es} としてECU温度検出値 T_{e2} を選択していた場合、モータ温度推定部55は、温度検出回路が異常であるとセンサ異常判定部51が判定した時点 t_1 ではECU温度検出値 T_{e2} をECU温度推定値 T_{es} に設定する。モータ温度推定部55は、時点 t_1 からECU温度推定値 T_{es} の増加を開始し、時点 t_1 で第1温度検出回路45が検出していたECU温度検出値 T_{e2} から所定の設定値 T_s まで一定の増加速度 T_r で漸増する値をECU温度推定値 T_{es} として算出する。

【0109】

図16を参照する。モータ温度推定部55は、モータ20に流れるモータ電流によるモータ温度の上昇値 R_t を推定する。例えばモータ温度推定部55は、モータ電流の検出値 I_{1ad} 、 I_{1bd} 、 I_{1cd} 、 I_{2ad} 、 I_{2bd} 及び I_{2cd} の2乗和の積分値からモータ20の放熱量を減算することにより上昇値 R_t を推定してよい。

20

モータ温度推定部55は、ECU温度推定値 T_{es} に上昇値 R_t を加えた値をモータ温度推定値 T_m として演算する。

なお、第3実施形態のモータ制御方法は、図7のフローチャートを参照してモータ制御方法と同様である。

【0110】

(第3実施形態の効果)

(1) ECU30は、回路基板70と、回路基板70上に搭載され、モータ20を駆動する電流を供給する第1電力変換回路42Aと、回路基板70上に搭載され、第1電力変換回路42Aによる電流が供給されるモータ20と同一又は異なるモータ20を駆動する電流を供給する第2電力変換回路42Bと、温度センサ45a、46aを有する温度検出回路45、46と、温度検出回路45、46が検出した温度に基づいて第1電力変換回路42Aが供給する電流及び第2電力変換回路42Bが供給する電流を制限する第1電流制限部61と、を備える。温度センサ45a、46aは、第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bとが搭載された回路基板70上に搭載され、且つ第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bとの間の位置に配置される。

30

これにより、第1電力変換回路42A又は第2電力変換回路42Bのどちらかに偏ることなく、第1電力変換回路42A又は第2電力変換回路42Bの両方の温度異常を良好に検出できる。

40

【0111】

(2) 第1電力変換回路42Aに含まれるスイッチング素子の回路基板70と反対側の面と、第2電力変換回路42Bに含まれるスイッチング素子の回路基板70と反対側の面と、温度センサ45a、46aの回路基板70と反対側の面とは、同一の放熱部材72に熱的に接続されていてもよい。

これにより、第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bの温度異常をより検出し易くなる。

【0112】

(3) 第1電力変換回路42Aと第2電力変換回路42Bとを回路基板70に配列する

50

配列方向における回路基板 70 の略中央に温度センサ 45 a、46 a を配置してもよい。

これにより第 1 電力変換回路 42 A と第 2 電力変換回路 42 B との間に第 1 温度センサ 45 a 及び第 2 温度センサ 46 a を配置し易くなる。また、回路基板 70 の中央は熱が溜まりやすいため、高温になり易い場所に第 1 温度センサ 45 a 及び第 2 温度センサ 46 a を配置することにより ECU 30 の過熱を検出し易くなる。

【0113】

(4) センサ異常判定部 51 は、第 1 温度センサ 45 a の出力に応じた検出温度と第 2 温度センサ 46 a の出力に応じた検出温度との差分に基づいて温度検出回路 45、46 が異常であるか否かを判定し、第 1 温度センサ 45 a と第 2 温度センサ 46 a とを互いに近接配置してもよい。

10

これにより、第 1 温度センサ 45 a と第 2 温度センサ 46 a との間の熱的結合を密にすることができる。この結果、第 1 温度センサ 45 a の検出温度と第 2 温度センサ 46 a の検出温度とを互いに近付けることができ、第 1 温度センサ 45 a と第 2 温度センサ 46 a の検出温度との間の差分に基づいて温度検出回路 45、46 に生じた異常を精度良く検出できる。

【0114】

(5) センサ異常判定部 51 は、第 1 温度センサ 45 a の出力に応じた検出温度と第 2 温度センサ 46 a の出力に応じた検出温度との差分に基づいて温度検出回路 45、46 が異常であるか否かを判定し、第 1 温度検出素子の回路基板 70 と反対側の面と、第 2 温度検出素子の回路基板 70 と反対側の面とが、同一の放熱部材 72 に熱的に接続されている

20

もよい。これにより、第 1 温度センサ 45 a と第 2 温度センサ 46 a との間の熱的結合がさらに密になり、第 1 温度センサ 45 a の検出温度と第 2 温度センサ 46 a の検出温度とをより近付けることができる。

【0115】

(6) 第 1 温度センサ 45 a と第 2 温度センサ 46 a とは同一構造の温度検出素子であってよく、第 1 温度センサ 45 a と第 2 温度センサ 46 a とを異なる向きに配向して回路基板 70 に搭載してもよい。

これにより、回路基板 70 に応力が加わったときに第 1 温度センサ 45 a と第 2 温度センサ 46 a とが同時にダメージを被るのを回避できる。このため、第 1 温度センサ 45 a と第 2 温度センサ 46 a とが同時に故障するのを抑制できる。

30

【0116】

(変形例)

以上の説明では、本発明の回転角検出装置を、いわゆる上流アシスト方式と呼ばれるコラムアシスト方式の電動パワーステアリング装置に適用する例について記載したが、本発明の回転角検出装置は、いわゆる下流アシスト方式の電動パワーステアリング装置に適用してもよい。以下、下流アシスト方式の電動パワーステアリング装置の例として、シングルピニオンアシスト方式、ラックアシスト方式、デュアルピニオンアシスト方式の電動パワーステアリング装置に、本発明の回転角検出装置を適用する構成例を説明する。

なお、下流アシスト方式の場合には、防水対策のためモータ 20、回転角センサ 23 a、ECU 30 は別体ではなく、図 18 ~ 図 20 の破線で示すように一体構造の MCU (Motor Control Unit) としてよい。

40

【0117】

図 18 は、シングルピニオンアシスト方式の電動パワーステアリング装置に、本発明の回転角検出装置を適用する構成例を示す。ステアリングホイール 1 は、操舵軸 2 を経て、インターミディエイトシャフトの一方のユニバーサルジョイント 4 a と連結されている。また、他方のユニバーサルジョイント 4 b には、トーションバー (図示せず) の入力側シャフト 4 c が連結されている。

ピニオンラック機構 5 は、ピニオンギア (ピニオン) 5 a、ラックバー (ラック) 5 b 及びピニオン軸 5 c を備える。入力側シャフト 4 c とピニオンラック機構 5 とは、入力側

50

シャフト4cとピニオンラック機構5との間の回転角のずれによってねじれるトーションバー（図示せず）によって連結されている。トルクセンサ10は、トーションバーのねじれ角を、ステアリングホイール1の操舵トルクThとして電磁氣的に測定する。

ピニオン軸5cには、ステアリングホイール1の操舵力を補助するモータ20が減速ギア3を介して連結されており、回転角センサ23aは、上記実施形態と同様にモータ20のモータ回転軸の回転角情報を算出する。

【0118】

図19は、ラックアシスト方式の電動パワーステアリング装置に、本発明の回転角検出装置を適用する構成例を示す。ラックバー5bの外周面には螺旋溝（図示せず）が形成され、これと同様のリードの螺旋溝（図示せず）がナット81の内周面にも形成されている。これら螺旋溝によって形成される転動路に複数の転動体が配置されることによりボールネジが形成されている。

10

ステアリングホイール1の操舵力を補助するモータ20の回転軸20aに連結する駆動プーリ82と、ナット81に連結する従動プーリ83にはベルト84が巻きかけられており、回転軸20aの回転運動がラックバー5bの直進運動に変換される。回転角センサ23aは、上記実施形態と同様にモータ20のモータ回転軸の回転角情報を算出する。

【0119】

図20は、デュアルピニオンアシスト方式の電動パワーステアリング装置に、本発明の回転角検出装置を適用する構成例を示す。デュアルピニオンアシスト方式の電動パワーステアリング装置は、ピニオン軸5c、ピニオンギア5aに加えて、第2ピニオン軸85、第2ピニオンギア86を有し、ラックバー5bは、ピニオンギア5aと噛合する第1ラック歯（図示せず）と、第2ピニオンギア86と噛合する第2ラック歯（図示せず）を有する。

20

第2ピニオン軸85には、ステアリングホイール1の操舵力を補助するモータ20が減速ギア3を介して連結されており、回転角センサ23aは、上記実施形態と同様にモータ20のモータ回転軸の回転角情報を算出する。

【符号の説明】

【0120】

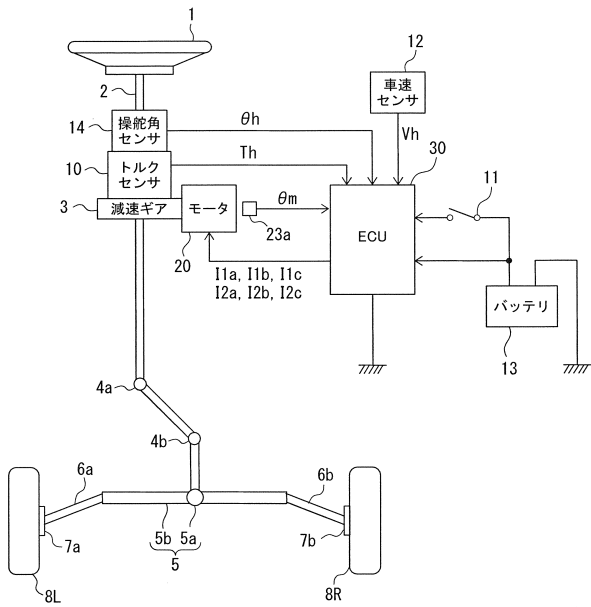
1...ステアリングホイール、2...操舵軸、3...減速ギア、4a、4b...ユニバーサルジョイント、4c...入力側シャフト、5...ピニオンラック機構、5a...ピニオンギア（ピニオン）、5b...ラックバー（ラック）、5c...ピニオン軸、6a、6b...タイロッド、7a、7b...ハブユニット、8L、8R...操向車輪、10...トルクセンサ、11...イグニションスイッチ、12...車速センサ、13...バッテリー、14...操舵角センサ、20...モータ、23...モータ回転角検出回路、30...電子制御ユニット、31...制御演算装置、31a...A/D変換部、31b...温度測定部、33A...第1モータ電流遮断回路、33B...第2モータ電流遮断回路、39A1、39A2、39B1、39B2、39C1、39C2...電流検出回路、41A...第1ゲート駆動回路、41B...第2ゲート駆動回路、42A...第1電力変換回路、42B...第2電力変換回路、44A...第1電源遮断回路、44B...第2電源遮断回路、45...温度検出回路、第1温度検出回路、45a...温度センサ、第1温度センサ、46...第2温度検出回路、46a...第2温度センサ、50...ECU温度測定部、51...センサ異常判定部、52...ECU温度推定部、53...上昇値推定部、54...加算器、55...モータ温度推定部、60...電流指令値演算部、61...第1電流制限部、62、63...減算器、64...第2電流制限部、65...PI制御部、66...2相/3相変換部、67...3相/2相変換部、68...角速度変換部、70...回路基板、72...放熱部材、73、74...熱インタフェース材料（TIM）、81...ナット、82...駆動プーリ、83...従動プーリ、84...ベルト、85...第2ピニオン軸、86...第2ピニオンギア

30

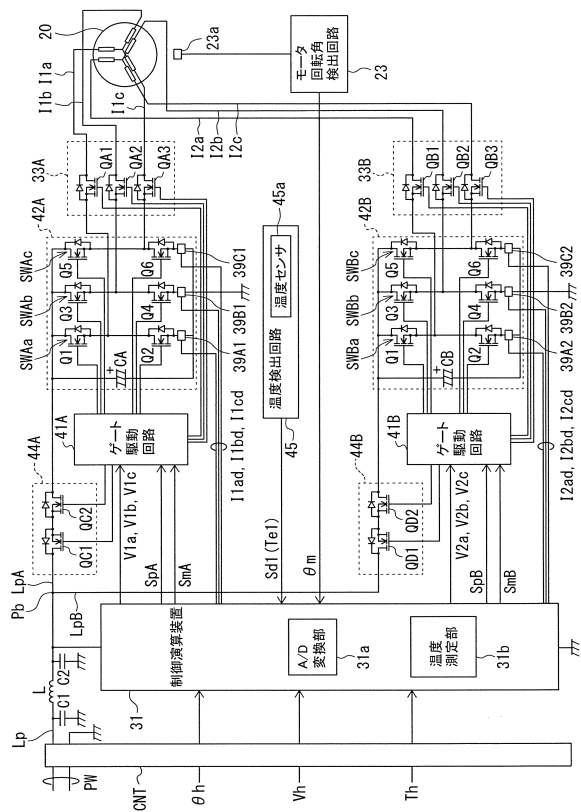
40

【図面】

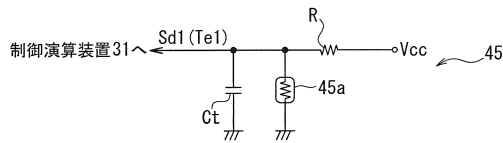
【図 1】



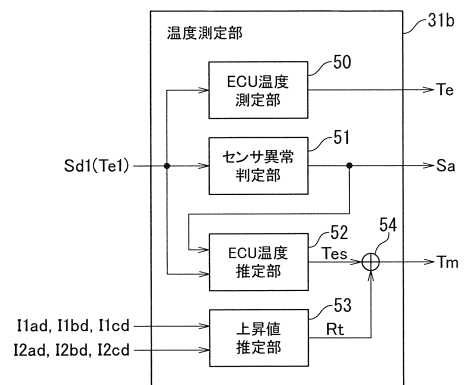
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

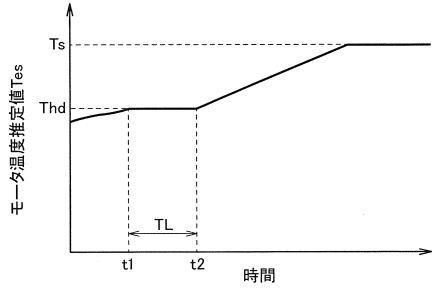
20

30

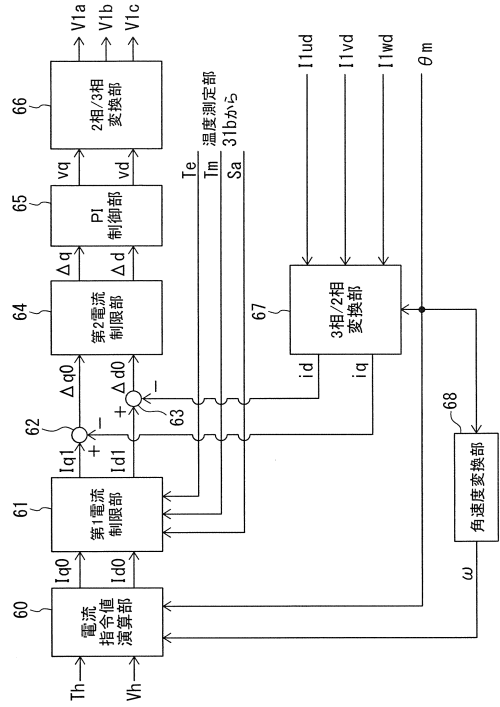
40

50

【図5】



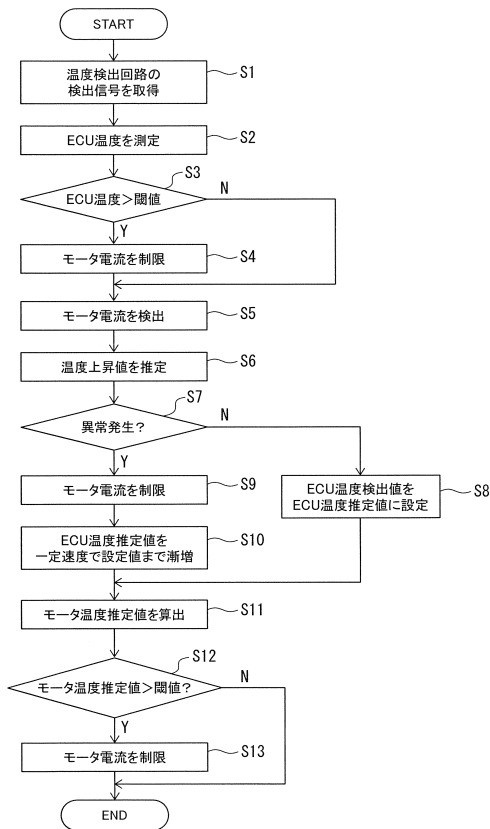
【図6】



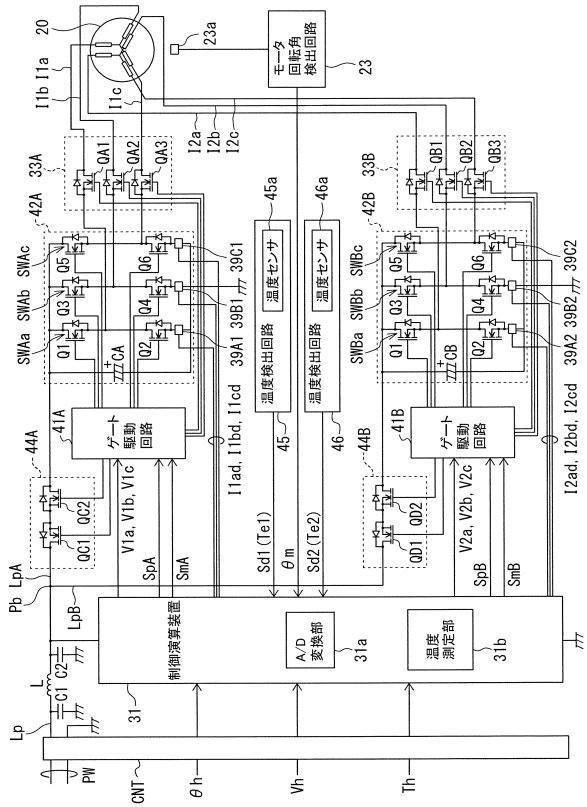
10

20

【図7】



【図8】

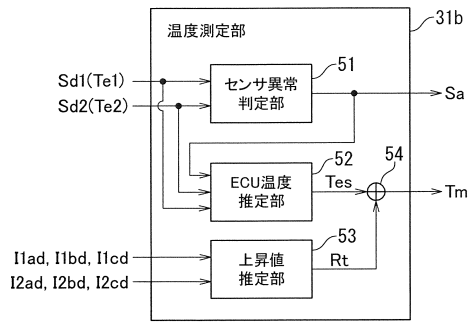


30

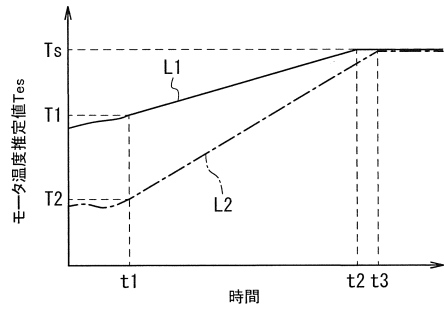
40

50

【図 9】

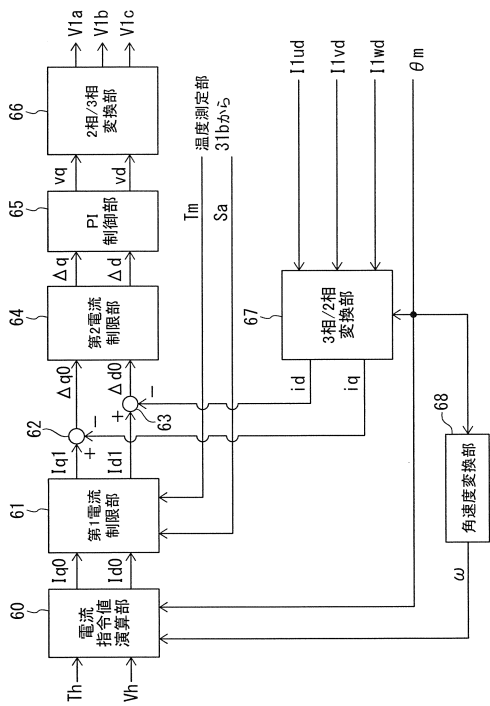


【図 10】

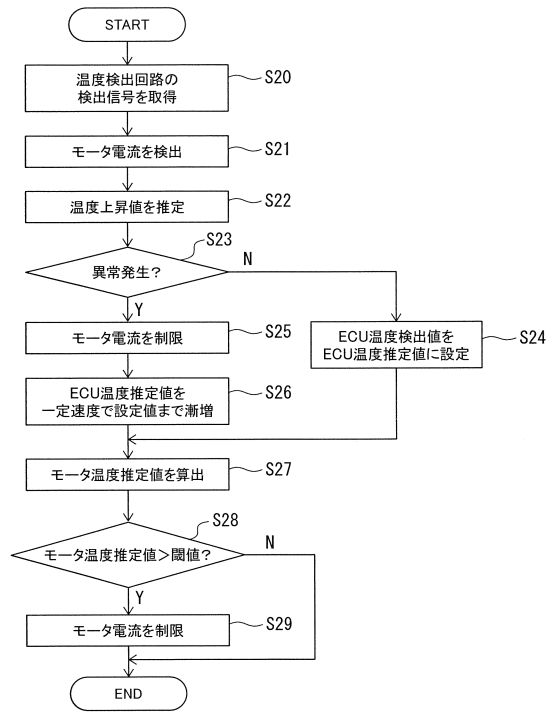


10

【図 11】



【図 12】



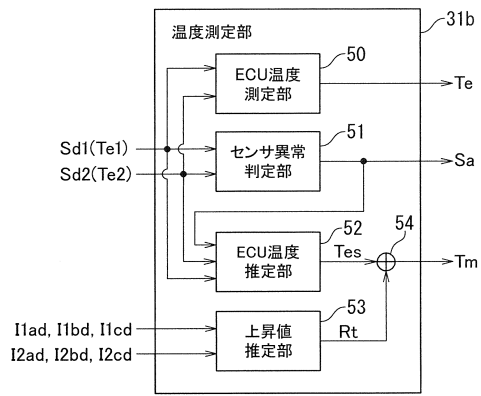
20

30

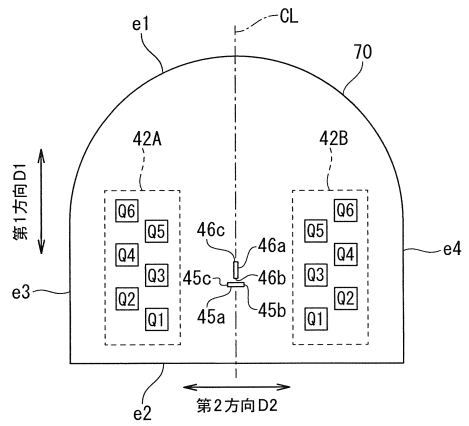
40

50

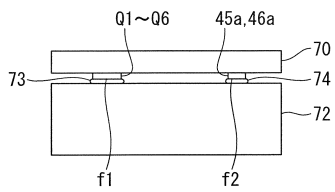
【図 1 3】



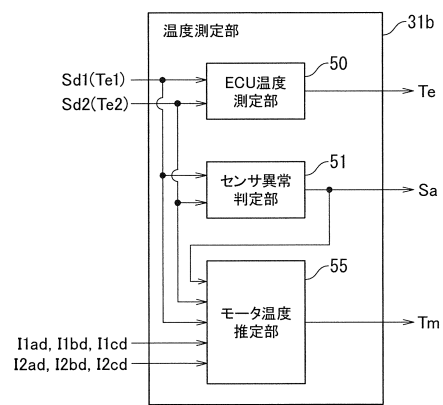
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

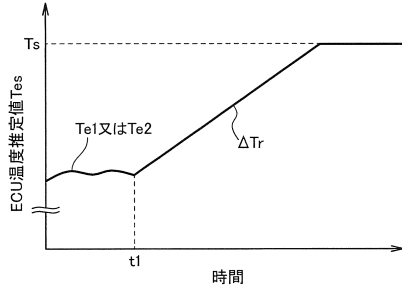
20

30

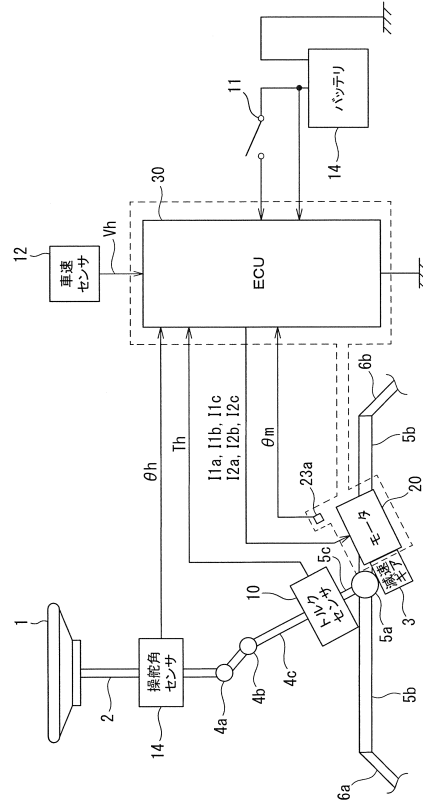
40

50

【図 17】



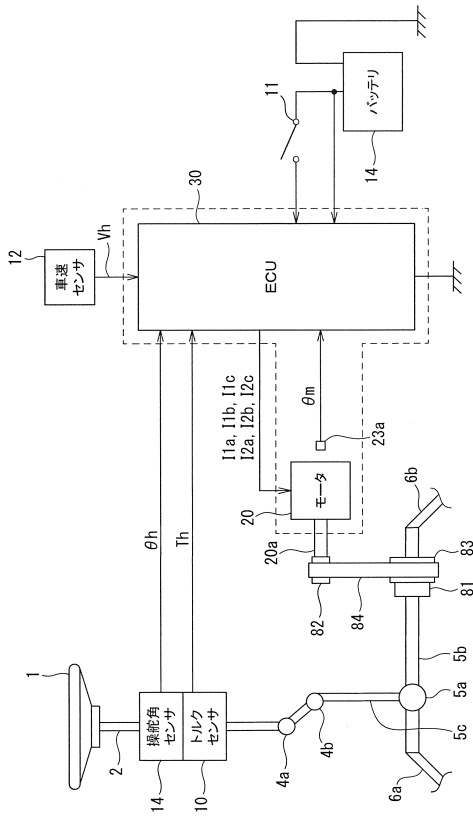
【図 18】



10

20

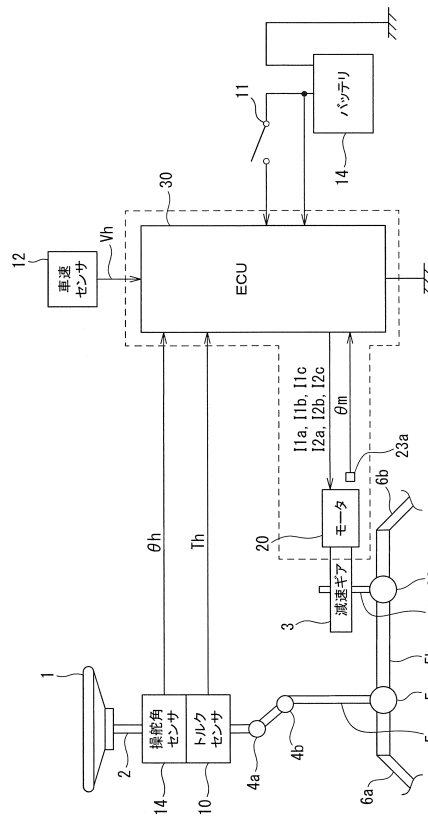
【図 19】



30

40

【図 20】



50

フロントページの続き

(51)国際特許分類 F I
B 6 2 D 6/00 (2006.01) B 6 2 D 6/00
B 6 2 D 5/04 (2006.01) B 6 2 D 5/04

(32)優先日 令和4年9月15日(2022.9.15)

(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

早期審査対象出願

(56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 1 4 8 6 2 9 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 1 1 3 8 5 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 1 7 8 8 9 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 1 7 8 7 9 9 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 P 2 9 / 0 2 4
H 0 2 P 2 9 / 6 8
H 0 2 P 2 7 / 0 6
H 0 2 P 2 5 / 2 2
H 0 2 P 2 9 / 6 2
B 6 2 D 6 / 0 0
B 6 2 D 5 / 0 4