

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6508024号
(P6508024)

(45) 発行日 令和1年5月8日(2019.5.8)

(24) 登録日 平成31年4月12日(2019.4.12)

(51) Int.Cl.

F I

HO2M 7/48 (2007.01)

HO2M 7/48 M

B60L 3/00 (2019.01)

B60L 3/00 ZHVJ

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-240946 (P2015-240946)	(73) 特許権者	000004260
(22) 出願日	平成27年12月10日 (2015.12.10)		株式会社デンソー
(65) 公開番号	特開2017-108546 (P2017-108546A)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(43) 公開日	平成29年6月15日 (2017.6.15)	(74) 代理人	100093779
審査請求日	平成30年2月27日 (2018.2.27)		弁理士 服部 雅紀
		(72) 発明者	羽鳥 幸司
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内
		審査官	麻生 哲朗

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力変換装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電源（15）から入力される電力を、複数のパワースイッチング素子（41～46）の動作により変換して出力する電力変換回路（40）と、

前記電力変換回路の入力部に設けられ、入力電圧を平滑化するコンデンサ（3）と、
前記電力変換回路及び前記コンデンサを収容するケース（21）と、

通電により発熱した前記複数のパワースイッチング素子を冷媒の循環により冷却する冷却器（23）と、

前記複数のパワースイッチング素子を操作し、前記電力変換回路の駆動を制御する駆動制御部（54）と、

前記コンデンサの温度であるコンデンサ温度（ T_c ）を所定の演算周期（ t ）で繰り返し推定するコンデンサ温度推定部（51、52）と、

を備え、

前記コンデンサ温度推定部は、

前記コンデンサ温度を、前記コンデンサの無通電時の温度に相当する環境温度（ T_e ）と、前記環境温度からの上昇温度（ T_d ）との合計として定義し、

前記電力変換装置の雰囲気温度（ T_a ）、及び、前記冷却器の冷媒温度（ T_w ）に基づいて、前記環境温度の今回値（ T_{e_new} ）を推定し、

前記環境温度からの上昇温度の前回値（ T_{d_old} ）に、前記電力変換回路の通電による発熱に比例する発熱項と、前記環境温度からの上昇温度の前回値に比例する放熱項と

の差を加算し、前記環境温度からの上昇温度の今回値 (T_{d_new}) を推定し、
前記環境温度の今回値と前記環境温度からの上昇温度の今回値とを加算し、コンデンサ温度の今回値 (T_{c_new}) を推定し、

前記駆動制御部は、

前記コンデンサ温度推定部が推定したコンデンサ温度の今回値が保護閾値 (T_{c_th}) 以上のとき、前記電力変換回路の出力を制限する電力変換装置。

【請求項 2】

前記コンデンサ温度推定部は、

前記電力変換装置の雰囲気温度及び前記冷却器の冷媒温度の最高温度に基づいて、コンデンサ温度の初期値 (T_{c_start}) を設定する請求項 1 に記載の電力変換装置。

10

【請求項 3】

前記電源に対し前記電力変換回路と並列に分岐回路 (80) が接続された電力システムに適用され、

前記ケースの内部に、過電流が通電されたとき前記分岐回路を断線させる分岐回路ヒューズ (81) をさらに備え、

前記コンデンサ温度推定部 (52) は、

前記電力変換装置の雰囲気温度及び前記冷却器の冷媒温度に加え、前記分岐回路ヒューズの発熱の影響による前記環境温度の上昇量を示すヒューズ発熱項 (A) に基づいて、前記環境温度を推定する請求項 1 または 2 に記載の電力変換装置。

20

【請求項 4】

前記コンデンサ温度推定部は、

前記電源からの入力電力 (P_{in}) と前記電力変換回路の出力電力 (P_{out}) との差分を入力電圧 (V_{in}) で除して算出される分岐回路電流 (I_{fuse}) に基づいて、前記ヒューズ発熱項を算出する請求項 3 に記載の電力変換装置。

【請求項 5】

エンジン (91) とモータジェネレータ (60) とを備えるハイブリッド自動車 (100) に搭載され、

前記コンデンサ温度推定部は、前記電力変換装置の雰囲気温度として、エンジン冷却水路の冷媒温度を取得する請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の電力変換装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、入力部にコンデンサが設けられた電力変換装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、インバータ等の電力変換回路を備えた電力変換装置において、電力変換回路の入力部に設けられたコンデンサの温度を推定し、推定されたコンデンサの温度に応じて電力変換回路の出力を制御する技術が知られている。

例えば特許文献 1 には、ハイブリッド車両のモータジェネレータに電力供給するインバータに設けられるコンデンサの温度を推定するコンデンサ温度推定手段を有するハイブリッド車両用駆動装置が開示されている。

40

【0003】

このコンデンサ温度推定手段は、エンジンの冷媒温度と、インバータの冷媒温度と、インバータ出力と、に基づいてコンデンサ温度を推定する。また、エンジンの冷媒温度が取得できない場合、雰囲気温度に、電圧値及び電流値から推定した上昇温度と、車両速度に基づいて推定した下降温度との差を加算することにより、コンデンサの温度を推定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2012 - 166593 号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1の装置による温度推定では、上昇温度は比較的精度が確保されるのに対し、下降温度は車両速度のみに基づいて推定されるため、精度の確保が難しいと考えられる。仮にコンデンサが過熱状態であるにもかかわらず推定温度が実温度よりも低く、インバータの出力制限をしないと、コンデンサが破損するおそれがある。一方、コンデンサの保護のため推定誤差を安全側で吸収しようとする、コンデンサ温度が許容範囲にあるときに不要な出力制限をすることとなる。

【0006】

10

特にハイブリッド自動車や電気自動車の動力源であるモータジェネレータを駆動するシステムに用いられる電力変換装置では、運転状況による要求出力に応じて大電流の通電が継続する場合がある。したがって、コンデンサの過熱からの保護と、不要な出力制限による車両の商品性低下の防止とを適切に両立することが求められる。

本発明はこのような点に鑑みて創作されたものであり、その目的は、コンデンサ温度を精度良く推定し、過熱から適切に保護する電力変換装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の電力変換装置は、電力変換回路(40)、コンデンサ(3)、ケース(21)、冷却器(24)、駆動制御部(54)、及びコンデンサ温度推定部(51、52)を備える。

20

電力変換回路は、電源から入力される電力を、複数のパワースイッチング素子の動作により変換して出力する。コンデンサは、電力変換回路の入力部に設けられ、入力電圧を平滑化する。ケースは、電力変換回路及びコンデンサを収容する。冷却器は、通電により発熱した複数のパワースイッチング素子を冷媒の循環により冷却する。

駆動制御部は、複数のパワースイッチング素子を操作し、電力変換回路の駆動を制御する。コンデンサ温度推定部は、コンデンサの温度であるコンデンサ温度(T_c)を所定の演算周期で繰り返し推定する。

【0008】

コンデンサ温度推定部は、コンデンサ温度を、コンデンサの無通電時の温度に相当する環境温度(T_e)と、環境温度からの上昇温度(T_d)との合計として定義する。

30

コンデンサ温度推定部は、電力変換装置の雰囲気温度(T_a)、及び、冷却器の冷媒温度(T_w)に基づいて、環境温度の今回値(T_{e_new})を推定する。また、環境温度からの上昇温度の前回値(T_{d_old})に、電力変換回路の通電による発熱に比例する「発熱項」と、環境温度からの上昇温度の前回値に比例する「放熱項」との差を加算し、環境温度からの上昇温度の今回値(T_{d_new})を推定する。環境温度の今回値と環境温度からの上昇温度の今回値とを加算し、コンデンサ温度の今回値(T_{c_new})を推定する。

【0009】

また、駆動制御部は、コンデンサ温度推定部が推定したコンデンサ温度の今回値が保護閾値以上のとき、電力変換回路の出力を制限する。

40

本発明では、コンデンサ温度の前回値からの変化量を「発熱量」と「放熱量」との差として捉える。発熱量は電力変換回路の通電に基づく。また、環境温度からの上昇温度が、周囲の環境による受熱量、すなわち、「コンデンサから環境への放熱量」として現れる。

従来技術の特許文献1に記載された温度算出式には放熱量の計算項が無い。そのため、「発熱量」と「放熱量」との差が大きくなる高温域で実温度と推定温度との乖離が大きくなり、コンデンサ温度を精度良く推定することができなくなると考えられる。

【0010】

本発明では、コンデンサ温度の推定演算において、環境温度からの上昇温度を放熱項として設定することで、電力変換回路が高負荷出力を継続し、コンデンサ温度が環境温度か

50

ら大きく上昇している状況での温度を精度良く推定することができる。また、電力変換回路の出力制限を行う領域での温度推定精度が高いため、必要な出力制限を確実に実行し、且つ、不要な出力制限を避けることができる。よって、コンデンサを過熱から適切に保護しつつ、車両等の商品性向上に貢献することができる。

【0011】

また、本発明は、電源に対し電力変換回路と並列に分岐回路(80)が接続された電力システムに適用され、電力変換装置のケースの内部に、過電流が通電されたとき分岐回路を断線させる分岐回路ヒューズ(81)をさらに備えてもよい。

この構成では、コンデンサ温度推定部は、電力変換装置の雰囲気温度及び冷却器の冷媒温度に加え、電力変換装置の雰囲気温度及び冷却器の冷媒温度に加え、分岐回路ヒューズの発熱の影響による環境温度の上昇量を示す「ヒューズ発熱項(A)」に基づいて、環境温度(T_e)を推定する。これにより、ヒューズの発熱の影響を考慮しつつ、コンデンサ温度を精度良く推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】第1実施形態の電力変換装置が適用される電力システムの全体構成図。

【図2】第1実施形態の電力変換装置の模式的な断面図。

【図3】第1実施形態のコンデンサ温度推定部のブロック図。

【図4】環境温度 T_e の演算に用いられる係数を説明する図。

【図5】コンデンサ温度の初期値の設定を説明する図。

【図6】第1実施形態のインバータ出力制限処理を示すフローチャート。

【図7】第2実施形態の電力変換装置が適用される電力システムの全体構成図。

【図8】第2実施形態の電力変換装置の模式的な断面図。

【図9】第2実施形態のコンデンサ温度推定部のブロック図。

【図10】第2実施形態のインバータ出力制限処理を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の電力変換装置の複数の実施形態を図面に基づいて説明する。

各実施形態の電力変換装置は、例えば、ハイブリッド自動車や電気自動車の動力源であるモータジェネレータを駆動する電力システムに適用される。第1及び第2実施形態を包括して「本実施形態」という。

【0014】

(第1実施形態)

第1実施形態の電力変換装置について、図1～図6を参照して説明する。まず図1に、第1実施形態の電力変換装置201が適用される電力システム901の全体構成を示す。この電力システム901は、バッテリー15の直流電力をインバータ40で三相交流電力に変換し、モータジェネレータ(以下「MG」)60に供給するシステムである。

【0015】

「電源」としてのバッテリー15は、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池等の充放電可能な二次電池である。なお、電池に代えて、電気二重層キャパシタ等を直流電源として用いてもよい。

バッテリー15の正極とインバータ40の高電位側とを接続する電力経路を高電位ライン L_p と記し、バッテリー15の負極とインバータ40の低電位側とを接続する電力経路を低電位ライン L_n と記す。

【0016】

コンデンサ3は、インバータ40の入力部において、高電位ライン L_p と低電位ライン L_n との間に接続され、バッテリー15からの入力電圧 V_{in} を平滑化する平滑コンデンサである。大容量の電荷を蓄えることができる平滑コンデンサ3は、一般に発熱しやすい。なお、本実施形態では、フィルタ用コンデンサ等の、平滑コンデンサ以外のコンデンサについて言及しないため、平滑コンデンサを、単に「コンデンサ3」という。

【 0 0 1 7 】

「電力変換回路」としてのインバータ40は、上下アームの6つのパワースイッチング素子41～46がブリッジ接続されている。

パワースイッチング素子41、42、43は、それぞれU相、V相、W相の上アームのパワースイッチング素子であり、パワースイッチング素子44、45、46は、それぞれU相、V相、W相の下アームのパワースイッチング素子である。パワースイッチング素子41～46は、例えばIGBTで構成され、低電位側から高電位側へ向かう電流を許容する還流ダイオードが並列に接続されている。

【 0 0 1 8 】

インバータ40は、インバータ制御回路50からのPWM制御等による駆動信号UU、UL、VU、VL、WU、WLに従ってパワースイッチング素子41～46が動作することで、直流電力を三相交流電力に変換する。そして、インバータ制御回路50が演算した電圧指令に応じた相電圧Vu、Vv、VwをMG60の各相巻線61、62、63に印加することで、MG60の出力を制御する。

また、インバータ40のパワースイッチング素子41～46の周囲に冷媒を循環させ、通電による発熱したパワースイッチング素子41～46を冷却する冷却器24が設けられている。冷媒温度センサ74は、冷却器24の冷媒温度Twを検出する。

【 0 0 1 9 】

MG60は、例えば永久磁石式同期型の三相交流モータである。本実施形態では、MG60は、エンジン91を備えたハイブリッド自動車100に搭載される。MG60は、駆動輪95を駆動するトルクを発生する電動機としての機能、及び、エンジン91や駆動輪95から伝達されるトルクを発電によってエネルギー回収する発電機としての機能を兼ね備える。MG60は、例えば変速機等のギア93を介して車軸94に接続されている。MG60が発生したトルクは、ギア93を介して車軸94を回転させることにより駆動輪95を駆動する。

また、エンジン91を冷却するためのエンジン冷却水路92が設けられている。冷媒温度センサ75は、エンジン冷却水路92の冷媒温度Taを検出する。

【 0 0 2 0 】

MG60の三相巻線61、62、63のうち、例えば二相の巻線に接続される電流経路に、相電流を検出する電流センサ76が設けられる。図1には、V相電流Iv及びW相電流Iwを検出する構成を例示する。ただし、どの二相の電流を検出し、他の一相の電流をキルヒホッフの法則により算出してもよく、三相の電流を検出してもよい。或いは、一相の電流を検出し他の二相の電流を推定する技術を用いてもよい。

【 0 0 2 1 】

厳密には、電流検出値Iv、Iwを取得したコンデンサ温度推定部51又は駆動制御部54が、電流検出値Iv、Iwに基づいて実効値を演算したり、dq変換してフィードバック制御に用いたりする。しかし、便宜上、コンデンサ温度推定部51又は駆動制御部54が、「相電流に基づくモータ電流実効値Imを取得する」ものとして記載する。

また、MG60の電気角θは、レゾルバ等の回転角センサ65によって検出される。

【 0 0 2 2 】

インバータ制御回路50は、コンデンサ温度推定部51及び駆動制御部54を含む。

本実施形態のインバータ制御回路(図中「INV制御回路」)50は、例えばハイブリッド自動車におけるMG-ECUに相当し、マイコン等により構成される。インバータ制御回路50は、図示しないCPU、ROM、I/O、及び、これらを接続するバスライン等を内部に備え、予め記憶されたプログラムをCPUで実行することによるソフトウェア処理や、専用の電子回路によるハードウェア処理による制御を実行する。

また、本実施形態では、インバータ制御回路50は、バッテリー15のSOC(すなわち充電量)や充放電許容電力等を管理するバッテリーECU10等の他のECUと、CAN通信用のバス18を経由して接続されている。

【 0 0 2 3 】

駆動制御部 54 は、複数のパワースイッチング素子 41 ~ 46 を操作し、インバータ 40 の駆動を制御する。駆動制御部 54 には、モータ電流実効値 I_m 、電気角等の情報が入力される。詳しくは、駆動制御部 54 は、外部から入力されるトルク指令等に基づき、MG 60 に要求トルクを出力させるように、フィードバック制御、PWM 制御等により、インバータ 40 へ出力する駆動信号を演算する。一般的な MG 制御に関する構成は周知であるため、詳細な説明や信号入出力の図示を省略する。

特に本実施形態の駆動制御部 54 は、コンデンサ温度推定部 51 が推定したコンデンサ温度が保護閾値以上であるとき、インバータ 40 の出力を制限し、コンデンサ 3 を過熱から保護する。

【0024】

10

コンデンサ温度推定部 51 は、駆動制御部 54 の動作中に、コンデンサ 3 の温度（以下「コンデンサ温度 T_c 」）を所定の演算周期で繰り返し推定する。

コンデンサ温度 T_c は、コンデンサ 3 の無通電時の温度に相当する「コンデンサ環境温度 T_e 」と、「コンデンサ環境温度からの上昇温度 T_d 」との合計として、式（1.1）により定義される。各温度記号は、図 3 に参照される。

$$T_c = T_d + T_e \quad \dots (1.1)$$

以下、「コンデンサ環境温度」を略して「環境温度」と記す。「環境温度からの上昇温度 T_d 」は、周囲の環境による受熱量、すなわち、「コンデンサから環境への放熱量」を意味する。

【0025】

20

コンデンサ温度推定部 51 は、環境温度 T_e の推定に用いる情報として、インバータ冷却器 24 の冷媒温度センサ 74 から「冷却器の冷媒温度 T_w 」を取得する。また、エンジン冷却水路 92 の冷媒温度センサ 75 から「エンジン冷却水路の冷媒温度 T_a 」を取得する。なお、車両の他の ECU が別の目的で取得した「エンジン冷却水路の冷媒温度 T_a 」を援用し、CAN 通信で取得してもよい。本実施形態では、「エンジン冷却水路の冷媒温度 T_a 」を「電力変換装置の雰囲気温度 T_a 」として扱う。

また、コンデンサ温度推定部 51 は、環境温度からの上昇温度 T_d の推定に用いる情報として、電流センサ 76 からモータ電流実効値 I_m を取得する。

こうして取得した各情報に基づく具体的な温度推定方法については後述する。

【0026】

30

次に、図 2 に電力変換装置 201 の模式的な断面図を示す。

電力変換装置 201 は、ケース 21、冷却器 24、コンデンサ 3、インバータ 40、インバータ制御回路 50 等を備える。ケース 21 の内部には、コンデンサ 3、インバータ 40、冷却器 24 の一部を構成する複数の冷却管 241、インバータ制御回路 50 が搭載された制御回路基板 22 等が収容されている。

【0027】

インバータ 40 の各パワースイッチング素子 41 ~ 46 は、チップが樹脂モールド部でパッケージされたパワーモジュール 47 の形態で制御回路基板 22 に搭載されている。図 2 には、6 個のパワーモジュール 47 のうち 3 個の各相上アームのパワーモジュール 47 を図示している。パワーモジュール 47 には、IGBT 等のスイッチング素子及び還流ダイオードの他、ゲート信号をオンオフするドライバ回路の FET が組み込まれてもよい。

40

【0028】

パワーモジュール 47 の制御端子 471 は制御回路基板 22 に接続されている。また、パワーモジュール 47 の p 側の主電極端子 472 は、高電位ライン L_p を構成するバスバー等の p 側接続回路 231 に接続されている。なお、MG 60 へ接続されるモータ端子の図示を省略する。図示しない各相下アームのパワーモジュールは、n 側の主電極端子が低電位ライン L_n を構成する n 側接続回路 232 に接続されている。なお、図 2 では、便宜上、p 側端子と n 側端子とを並べて図示する。

【0029】

コンデンサ 3 は、ケース 21 の内部において比較的大きな空間を占有するように設けら

50

れている。コンデンサ 3 の正極端子 3 1 は、p 側接続回路 2 3 1 を介して高電位ライン L_p に接続されており、負極端子 3 2 は、n 側接続回路 2 3 2 を介して低電位ライン L_n に接続されている。

【0030】

冷却器 2 4 は、ケース 2 1 の内部で複数のパワーモジュール 4 7 と共に積層された複数の冷却管 2 4 1 と、ケース 2 1 の外部で冷却水等の冷媒が循環する冷媒循環路 2 4 2 とを含む。冷媒循環路 2 4 2 を経由して冷媒が冷却管 2 4 1 を流れることにより、通電により発熱した複数のパワーモジュール 4 7 が冷却される。

図 1 及び図 2 に示すように、冷却器 2 4 の冷媒温度センサ 7 4 が検出した冷却器の冷媒温度 T_w、及び、エンジン冷却水路 9 2 の冷媒温度センサ 7 5 が検出した電力変換装置の雰囲気温度 T_a は、インバータ制御回路 5 0 に取得される。

10

【0031】

次に図 3 を参照し、コンデンサ温度推定部 5 1 の詳細な演算構成について、複数の演算ブロックに分けて説明する。各演算ブロックの符号は、第 1、第 2 実施形態共通に、最初の 2 桁を「53」とする 3 桁の数字で表す。また、以下の演算式に用いられる各物理量について、自明のものを除き、初出の記載において物理量の次元を [] で示す。

【0032】

上記式 (1.1) の各温度 T_c、T_d、T_e は、時々刻々変化する。本実施形態では、演算周期 t 毎に、「環境温度からの上昇温度 T_d」及び「環境温度 T_e」の各前回値に演算周期 t での温度変化分を加算して今回値を演算する。すなわち、漸化式の考え方を
用いて、最新の値を繰り返し演算する。式 (1.1) の各温度の前回値に「_old」、今回値に「_new」の添え字を付して示すと、式 (1.2) で表される。

20

$$T_{c_new} = T_{d_new} + T_{e_new} \cdots (1.2)$$

そこで、コンデンサ温度推定部 5 1 は、大きく分けて、環境温度からの上昇温度の今回値 T_{d_new} を推定する演算ブロック群 5 3 1、5 3 2、5 3 3 と、環境温度の今回値 T_{e_new} を推定する演算ブロック群 5 3 4、5 3 7 とを有する。

【0033】

まず、環境温度からの上昇温度の今回値 T_{d_new} を推定する演算ブロック群 5 3 1、5 3 2、5 3 3 について説明する。

ブロック 5 3 1 では、モータ電流実効値 I_m [A r m s] の二乗に、損失演算係数 K_c [W / A r m s²]、及び、熱抵抗 R_c [/ W] の積を乗算する。

30

ブロック 5 3 2 では、ブロック 5 3 1 で算出した発熱項から、環境温度からの上昇温度の前回値 T_{d_old} を減算する。

【0034】

ブロック 5 3 3 では、ブロック 5 3 2 の演算結果に、熱時定数 τ_d [s e c] に対する演算周期 t [s e c] の比、すなわち (t / τ_d) を乗じる。さらに、環境温度からの上昇温度の前回値 T_{d_old} を加算すると、環境温度からの上昇温度の今回値 T_{d_new} が得られる。今回値 T_{d_new} は、最終演算ブロック 5 3 8 に送られると共に、遅延素子 Z⁻¹ を通して、前回値 T_{d_old} として次回の演算に用いられる。

ここで、環境温度からの上昇温度 T_d に係るコンデンサ 3 の熱時定数 τ_d は数百～数千 s e c であるため、演算周期 t は、通常のモータ制御の演算周期とは異なり、数 s e c 以上のオーダーで十分である。

40

【0035】

ブロック 5 3 1、5 3 2、5 3 3 を総合すると、環境温度からの上昇温度の今回値 T_{d_new} は、式 (2) で表される。

【数 1】

$$T_{d_new} = T_{d_old} + \{I_m^2 \times (K_c \times R_c) - T_{d_old}\} \times \frac{\Delta t}{\tau_d} \cdots (2)$$

式 (2) における「I_m² × (K_c × R_c) × (t / τ_d)」の部分が発熱項に相当

50

し、「 $T_{d_old} \times (t / d)$ 」の部分が放熱項に相当する。

【0036】

次に、環境温度の今回値 T_{e_new} を推定する演算ブロック群 534、537 について説明する。

ブロック 534 では、電力変換装置の雰囲気温度 T_a から冷却器の冷媒温度 T_w を差し引いた温度差に係数 α を乗じた値に、冷却器の冷媒温度 T_w を加算する。

係数 α は、コンデンサ温度 T_c の飽和温度と、冷却器の冷媒温度 T_w 及び電力変換装置の雰囲気温度 T_a との関係を示す指標であり、冷却器 24 の冷却特性等によって決まる。

【0037】

図 4 に、「 $\alpha = 0.5$ 」の例での各温度の関係を示す。冷却器の冷媒温度 T_w は、一定の目標値を維持している。初期に冷媒温度 T_w よりも低温であったコンデンサ温度 T_c が徐々に上昇し、冷媒温度 T_w を上回った後、冷媒温度 T_w と雰囲気温度 T_a との間の温度 T_{c_sat} で飽和する。このときの、「冷媒温度 T_w と雰囲気温度 T_a との温度差」に対する「冷媒温度 T_w とコンデンサ温度の飽和温度 T_{c_sat} との温度差」の比が係数 α に相当する。

【0038】

したがって、コンデンサ温度の飽和温度 T_{c_sat} は、式 (3) で表される。

$$T_{c_sat} = (T_a - T_w) + T_w \cdots (3)$$

冷却特性が高いほど α は低くなり、コンデンサ温度の飽和温度 T_{c_sat} は、冷却器の冷媒温度 T_w に近づく。積極的に冷却を実施した場合、 $\alpha = 0.1 \sim 0.2$ となることが見込まれる。

【0039】

ブロック 537 では、ブロック 534 の演算結果に、熱時定数 τ_e [sec] に対する演算周期 t [sec] の比、すなわち (t / τ_e) を乗じる。さらに、環境温度の前回値 T_{e_old} を加算すると、環境温度の今回値 T_{e_new} が得られる。今回値 T_{e_new} は、最終演算ブロック 538 に送られると共に、遅延素子 Z^{-1} を通して、前回値 T_{e_old} として次の演算に用いられる。

環境温度 T_e に係るコンデンサ 3 の熱時定数 τ_e も数百～数千 sec であり、環境温度からの上昇温度 T_d に係る熱時定数 τ_d よりも長い。すなわち、「 $T_e > T_d$ 」の関係にある。

【0040】

ブロック 534、537 を総合すると、環境温度の今回値 T_{e_new} は、式 (4) で表される。

【数 2】

$$\begin{aligned} T_{e_new} &= T_{e_old} + T_{c_sat} \times \frac{\Delta t}{\tau_e} \\ &= T_{e_old} + \left\{ \alpha (T_a - T_w) + T_w \right\} \times \frac{\Delta t}{\tau_e} \cdots (4) \end{aligned}$$

【0041】

そして、最終演算ブロック 538 では、式 (1.2) により、環境温度からの上昇温度の今回値 T_{d_new} と環境温度の今回値 T_{e_new} とを加算して、コンデンサ温度の今回値 T_{c_new} を演算する。

このように、本実施形態では、各温度の前回値に演算周期 t での温度変化分を加算して今回値を演算するという「漸化式」の思想に基づいて、コンデンサ温度の今回値 T_{c_new} を推定する。そこで次に、漸化式演算を開始するとき必要となる初期値の設定について説明する。

【0042】

例えば、高電圧バッテリー 15 の電源投入前に低圧電源すなわち補機バッテリーとの接続が

10

20

30

40

50

ある場合には、電源投入までの温度上昇を推定できる可能性がある。しかし、低圧電源がオフ、すなわち補機バッテリーとの接続がなく、低圧電力が供給されない状態では、電源投入までの温度推定演算は不可能であるため、コンデンサ初期温度を推定することが困難である。そのため、何らかの値を初期温度として設定する必要がある。

【0043】

上昇温度 T_d の初期値は 0 であるため、コンデンサ温度の初期値 T_{c_start} は、環境温度の初期値 T_{e_start} に等しい。また、環境温度の初期値 T_{e_start} は、式 (5) で表される。

【数 3】

$$T_{c_start} = T_{e_start} = \alpha(T_{a_start} - T_{w_start}) + T_{w_start} \quad \dots (5)$$

10

【0044】

式 (5) の T_{a_start} は、電力変換装置の雰囲気初期温度である。また、 T_{w_start} は、冷却器の冷媒初期温度である。本実施形態では、コンデンサ 3 の保護を最優先し、コンデンサ 3 の過熱に関して最悪の状況を想定して初期値を設定する。

具体的には、コンデンサ温度 T_c が最も上昇する状況として、山岳登坂路等を最大負荷で走行後に数分間停車した状況、いわゆるデッドソークを想定する。このとき、冷却系統が停止することで、エンジンコンパートメント内が高温になる。そこで、この状況における電力変換装置の雰囲気初期温度 T_{a_start} 、及び、冷却器の冷媒初期温度 T_{w_start} の最高温度に基づいて、コンデンサ温度の初期値 T_{c_start} を式 (5) により設定する。

20

【0045】

ここで、コンデンサの初期温度 T_{c_start} を想定し得る最高温度で見込むことの是非について図 5 を参照する。図 5 で、 T_{c_act} は実温度、 T_{c_est} は推定温度を示す。図 5 (a)、(b) は初期値の設定のみが異なり、それ以後の温度推定の方法は、いずれも上述の漸化式によるものである。

図 5 (a) は、実温度の初期値を直接検出、又は推定することが可能な状況を仮定し、推定温度の初期値 $T_{c_start_est}$ を実温度の初期値 $T_{c_start_act}$ に合わせて設定した場合のコンデンサ通電に伴う温度変化を示す。この場合、推定温度 T_{c_est} と実温度 T_{c_act} とは、通常開始時からずっと一致したまま上昇する。

30

【0046】

一方、図 5 (b) は、推定温度の初期値 $T_{c_start_est}$ を、想定し得る最高温度で見込んだ場合のコンデンサ通電に伴う温度変化を示す。

ただし、現実の走行シーンでは、車両電源投入直後からコンデンサ熱時定数 τ_e に到達するまでの間に、加減速を繰り返す等の高負荷運転を継続することは、ほぼ考えにくい。しかし、全く可能性が無いわけではないため、安全側で設定する。

【0047】

この場合、通電開始時において、推定温度の初期値 $T_{c_start_est}$ と実温度の初期値 $T_{c_start_act}$ とは乖離している。しかし、コンデンサ熱時定数 τ_e が経過した時点以後、コンデンサ推定温度 T_{c_est} が飽和し、保護閾値 T_{c_th} との比較により出力制限の要否が判断される領域では、推定温度 T_{c_est} と実温度 T_{c_act} とは精度良く一致する。

40

要するに、想定し得る最高温度に基づいてコンデンサ温度の初期値 T_{c_start} を設定することにより、いかなる状況においてもコンデンサ 3 を過熱から適切に保護することができる。その上で、出力制限の要否が判断される領域でのコンデンサ温度 T_c を精度良く推定することができるため、不要な出力制限を回避することができる。

【0048】

次に、第 1 実施形態のインバータ出力制限処理について、図 6 のフローチャートを参照して説明する。以下のフローチャートの説明で、記号「S」はステップを意味する。この処理ルーチンは、駆動制御部 54 の動作中、演算周期 t で繰り返し実行される。

50

コンデンサ温度推定部 5 1 は、S 1 で、モータ電流実効値 I_m 、電力変換装置の雰囲気温度 T_a 及び冷却器の冷媒温度 T_w を取得し、S 3 で、それらの情報に基づいてコンデンサ温度 T_c を推定する。そして、S 4 で、コンデンサ温度 T_c が保護閾値 T_{c_th} 以上であるか否か判断する。S 4 で Y E S のとき、コンデンサ温度推定部 5 1 は、駆動制御部 5 4 に対し、要保護信号を送信する。

【 0 0 4 9 】

S 4 で Y E S のとき、コンデンサ温度推定部 5 1 からの要保護信号を受信した駆動制御部 5 4 は、S 5 で、インバータ出力制限を実施し、コンデンサ 3 を過熱から保護する。

一方、S 4 で N O であり、要保護信号を受信しないとき、駆動制御部 5 4 は、S 6 で、通常制御を実施する。通常制御では、例えば電流フィードバック制御により P I 演算された電圧指令をそのまま用いてインバータ 4 0 を駆動する。

【 0 0 5 0 】

(効果)

以上のように、第 1 実施形態では、コンデンサ温度 T_c の推定演算において、環境温度からの上昇温度を放熱項として設定することで、インバータ 4 0 が高負荷出力を継続し、コンデンサ温度 T_c が環境温度 T_e から大きく上昇している状況での温度を精度良く推定することができる。また、インバータ 4 0 の出力制限を行う領域での温度推定精度が高いため、必要な出力制限を確実に実行し、且つ、不要な出力制限を避けることができる。よって、コンデンサ 3 を過熱から適切に保護しつつ、車両等の商品性向上に貢献することができる。

【 0 0 5 1 】

(第 2 実施形態)

第 2 実施形態の電力変換装置について、図 7 ~ 図 1 0 を参照して説明する。図 7、図 8、図 9、図 1 0 は、それぞれ、第 1 実施形態の図 1、図 2、図 3、図 6 に対応する。第 2 実施形態において第 1 実施形態と実質的に同一の構成、又は、フローチャートの実質的に同一のステップには、同一の符号又はステップ番号を付して説明を省略する。

【 0 0 5 2 】

図 7 に示すように、第 2 実施形態の電力変換装置 2 0 2 が適用される電力システム 9 0 2 では、バッテリー 1 5 に対し、インバータ 4 0 と並列に分岐回路 8 0 が接続されている。分岐回路 8 0 は、車両のエアコン用コンプレッサや空調用 P T C ヒータ等の外部機器 8 8 へバッテリー 1 5 の高圧電力を直接供給する回路である。また、分岐回路 8 0 は、高圧電力を低圧電力に変換し各種低圧補機に出力する D C D C コンバータに接続されてもよい。

電力システム 9 0 2 において、バッテリー 1 5 からインバータ 4 0 への電力経路を、分岐回路に対し「主回路」という。

【 0 0 5 3 】

主回路の高電位ライン L_p と外部機器 8 8 との間には、過電流が通電されたとき分岐回路 8 0 を断線させる分岐回路ヒューズ 8 1 が設けられている。適宜、分岐回路ヒューズを単に「ヒューズ」という。また、ヒューズ 8 1 を経由して分岐回路 8 0 に流れる直流電流を分岐回路電流 $I_{fuse}[A_{dc}]$ と記す。ここで、第 2 実施形態では、分岐回路電流 I_{fuse} を直接検出する電流センサは設けられていないものとする。

【 0 0 5 4 】

コンデンサ温度推定部 5 2 は、第 1 実施形態で取得するモータ電流実効値 I_m 、雰囲気温度 T_a 及び冷却器の冷媒温度 T_w の情報に加え、入力電圧 V_{in} 、バッテリー 1 5 からの入力電力 $P_{in}[W]$ 及びインバータ出力電力 $P_{out}[W]$ を取得する。ここで、「取得する」とは、外部から最終的な値を取得する場合に限らず、外部から取得した基礎情報に基づいて、コンデンサ温度推定部 5 2 内部で最終的な値を算出する場合を含む。

【 0 0 5 5 】

インバータ 4 0 及び分岐回路 8 0 に共通に印加される入力電圧 $V_{in}[V]$ は、例えばインバータ 4 0 の入力部に設けられた電圧センサ 7 3 から取得される。

バッテリー 1 5 からの入力電力 P_{in} は、例えばバッテリー E C U 1 0 から C A N バス 1 8

10

20

30

40

50

を經由して取得される。CAN通信での情報取得であるため、数msec～数十msecでの情報更新となる。ただし、コンデンサ3の熱時定数 τ_d 、 τ_e が数百～数千secと十分に長いため、CAN通信の時間は演算精度に影響を与えない。

【0056】

インバータ出力電力 P_{out} は、例えばトルクと回転数との積により算出される。そのため、コンデンサ温度推定部52は、回転角センサ65から取得した電気角 θ を微分し、電気角速度 $[\text{rad/s}]$ を算出する。本明細書では、電気角速度 ω を換算した回転数 $[1/s]$ を略して「回転数」と記す。

【0057】

また、コンデンサ温度推定部52は、三相電流 I_u 、 I_v 、 I_w をdq変換したdq軸電流 I_d 、 I_q に基づき、式(6)によりトルク推定値 t_{rq_est} を推定する。

$$t_{rq_est} = p_m \times \{ I_q \times \psi_d + (L_d - L_q) \times I_d \times I_q \} \quad \dots (6)$$

ただし、

p_m : MGの極対数

ψ_d : 逆起電圧定数

L_d 、 L_q : d軸インダクタンス、q軸インダクタンス

【0058】

そして、式(7.1)により、トルク推定値 t_{rq_est} と回転数 n との積にインバータ損失 P_{loss} を加算してインバータ出力電力 P_{out} を算出する。

$$P_{out} = t_{rq_est} \times n + P_{loss} \quad \dots (7.1)$$

或いは、インバータ出力電力 P_{out} は、式(7.2)により、各相の電圧と電流との積に基づいて算出されてもよい。

$$P_{out} = V_u \times I_u + V_v \times I_v + V_w \times I_w + P_{loss} \quad \dots (7.2)$$

【0059】

図8に示すように、電力変換装置202のケース21の外壁に、コンプレッサ等の外部機器88へのケーブルが接続される分岐コネクタ86が設けられている。また、電力変換装置202のケース21の内部において底壁部218側に設置された配線板83に、分岐回路ヒューズ81が実装されている。詳しくは、ヒューズ81の一对の端子821、822は、それぞれ、配線板83のヒューズクリップ831、832に取り付けられている。

【0060】

配線板83のヒューズクリップ831側のランド841は、ワイヤーハーネス851を介してコンデンサ3の正極端子31に電氣的に接続されている。ヒューズクリップ832側のランド842は、ワイヤーハーネス852を介して分岐コネクタ86の一方の端子に電氣的に接続されている。分岐コネクタ86の他方の端子は、ワイヤーハーネス853を介してコンデンサ3の負極端子32に電氣的に接続されている。

例えば、高電圧バッテリー15の体格が大きく、エンジンコンパートメント内に搭載することができない場合、分岐回路80への分岐専用の部品を設けるよりも、この構成のように電力変換装置202内で電力経路を分岐させる方が、体格及びコスト面で有利となる。

【0061】

このように、コンデンサ3が収容されたケース21の内部にヒューズ81が設けられているため、分岐回路電流 I_{fuse} が流れヒューズ81が発熱すると、その発熱の影響が環境温度 T_e に及ぶ。このヒューズ81の発熱影響による環境温度 T_e の上昇量を「ヒューズ発熱項 A 」という。言い換えれば、環境温度 T_e は、ヒューズ発熱項 A に相当する量の熱を受熱する。そこで第2実施形態では、第1実施形態に対し、さらにヒューズ発熱項 A を考慮してコンデンサ温度 T_c を推定する。

【0062】

図9に示すように、コンデンサ温度推定部52は、図3に示す第1実施形態の演算ブロックに加え、ヒューズ発熱項 A を演算するブロック535、及び、環境温度 T_e の演算においてヒューズ発熱項 A を加算するブロック536を有する。

なお、分岐回路80に電流センサを備えたシステムでは分岐回路電流 I_{fuse} を直接

検出し、「抵抗×電流²」の式により、発熱を算出してもよい。ただし、現実には分岐回路 80 に電流センサを備えない構成が通常であるため、ここでは、分岐回路 80 の電力と電圧とから電流を算出する例について説明する。

【0063】

まず、ブロック 535 では、式 (8.1) により、入力電力 P_{in} からインバータ出力電力 P_{out} を差し引いて、分岐回路 80 への出力電力 P_{aux} が算出される。

$$P_{aux} = P_{in} - P_{out} \quad \dots (8.1)$$

次に式 (8.2) により、分岐回路 80 への出力電力 P_{aux} を入力電圧 V_{in} で除して、分岐回路ヒューズ 81 に流れる分岐回路電流 I_{fuse} が算出される。

$$I_{fuse} = P_{aux} / V_{in} \quad \dots (8.2)$$

10

【0064】

続いて式 (8.3) により、分岐回路電流 I_{fuse} の二乗に係数 $[1/A_{dc}^2]$ を乗じて、ヒューズ発熱項 A が算出される。

$$A = I_{fuse}^2 \quad \dots (8.3)$$

ここで、係数 A は、ヒューズ 81 の発熱が環境温度 T_e に及ぼす影響の程度を示す指標であり、ヒューズ 81 とコンデンサ 3 との距離や配置方向、それらの間に介在する部材の位置、大きさ、熱的物性等に応じて決まる。現実的には、実験やシミュレーションによって係数 A の値を求める。

【0065】

ブロック 536 では、ブロック 534 の演算結果にヒューズ発熱項 A を加算する。

20

ブロック 534、536、537 を総合すると、第 2 実施形態では、環境温度の今回値 T_{e_new} は式 (9) で表される。すなわち、第 1 実施形態の式 (4) に対しヒューズ発熱項 A を一つ追加するだけでよい。

【数 4】

$$T_{e_new} = T_{e_old} + \left\{ \alpha(T_a - T_w) + T_w + A \right\} \times \frac{\Delta t}{\tau_e} \quad \dots (9)$$

【0066】

図 10 のフローチャートに、第 2 実施形態のインバータ出力制限処理を示す。第 2 実施形態の処理は、図 6 に示す第 1 実施形態の処理に対し、入力電圧 V_{in} 、バッテリー 15 からの入力電力 P_{in} 、及びインバータ出力電力 P_{out} を取得する S2 が追加され、それ以外のステップは同様である。

30

【0067】

以上のように、第 2 実施形態では、インバータ 40 と並列に分岐回路 80 が接続された電力システム 902 に適用される電力変換装置 202 において、分岐回路ヒューズ 81 の発熱の影響を考慮しつつ、コンデンサ温度 T_c を精度良く推定することができる。

よって、第 1 実施形態と同様にコンデンサ 3 を過熱から適切に保護することができる。また、不要な出力制限を回避し、車両等の商品性向上に貢献することができる。

【0068】

(その他の実施形態)

40

(1) 図 1、図 7 には一つの MG を備えたシステム構成を例示しているが、本発明は、二つ以上の MG を備えたシステムにも同様に適用可能である。具体的には、主に発電機として機能する MG1、及び、主に電動機として機能する MG2 を備えたシリーズパラレル方式のハイブリッド自動車等に適用することができる。その場合、MG1、MG2 をそれぞれ駆動する二つのインバータが並列に設けられており、入力電圧 V_{in} は、二つのインバータに共通に入力される。また、本発明は、バッテリーとインバータとの間に昇圧コンバータを備えるシステムに適用されてもよい。

【0069】

(2) 複数のパワースイッチング素子の動作により電力を変換して出力する電力変換回路は、直流電力を交流電力に変換するインバータに限らず、直流電力を直流電力に変換す

50

るＤＣＤＣコンバータであってもよい。また、インバータは、三相インバータに限らず、四相以上の多相インバータでもよい。

【００７０】

（３）電力変換回路が電力を出力する負荷は、ハイブリッド自動車や電気自動車の動力源として用いられるモータジェネレータに限らず、電車、昇降機、一般機械等に用いられる回転機であってもよい。また、回転機以外の装置を負荷としてもよい。

以上、本発明は、上記実施形態になんら限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の形態で実施可能である。

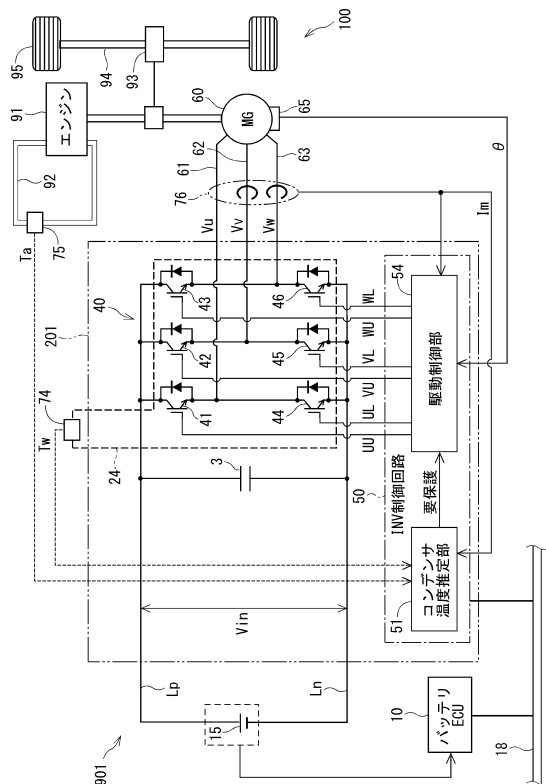
【符号の説明】

【００７１】

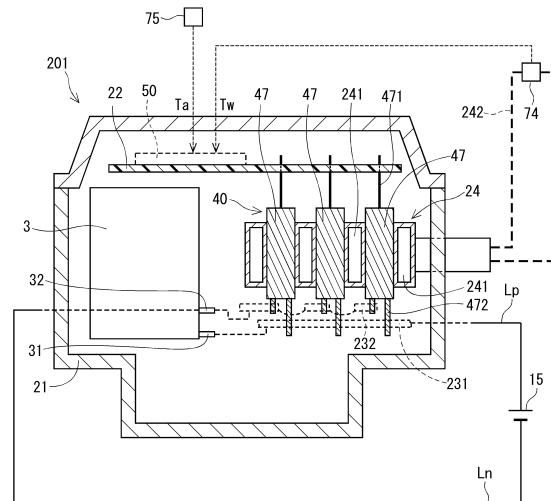
- １５・・・バッテリー（電源）、
- ２０１、２０２・・・電力変換装置、
- ２１・・・ケース、２４・・・冷却器、
- ３・・・コンデンサ、
- ４０・・・インバータ（電力変換回路）、
- ４１～４６・・・パワースイッチング素子、
- ５１、５２・・・コンデンサ温度推定部、
- ５４・・・駆動制御部、
- ８０・・・分岐回路、８１・・・ヒューズ、分岐回路ヒューズ。

10

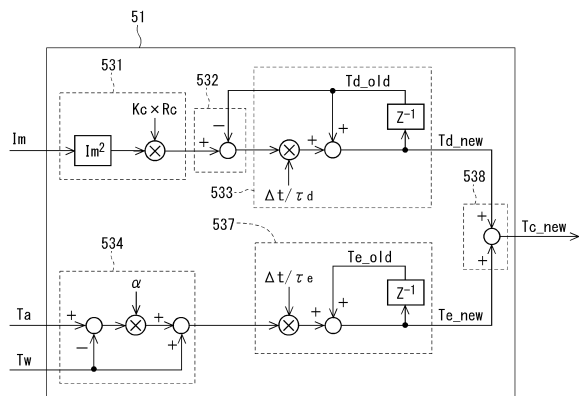
【図１】



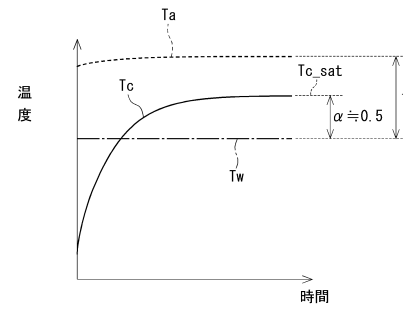
【図２】



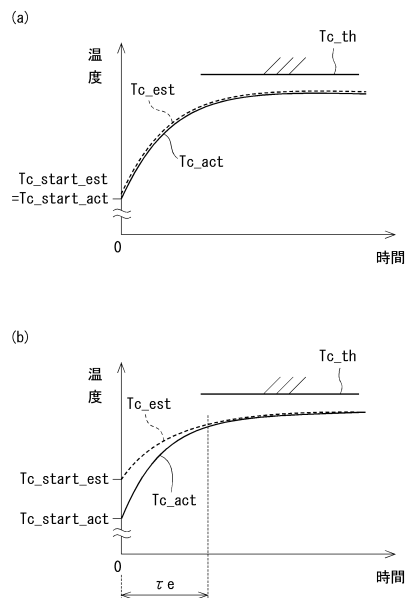
【図 3】



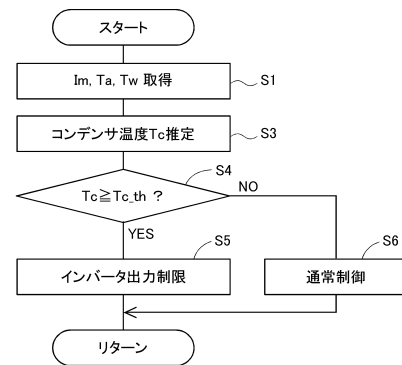
【図 4】



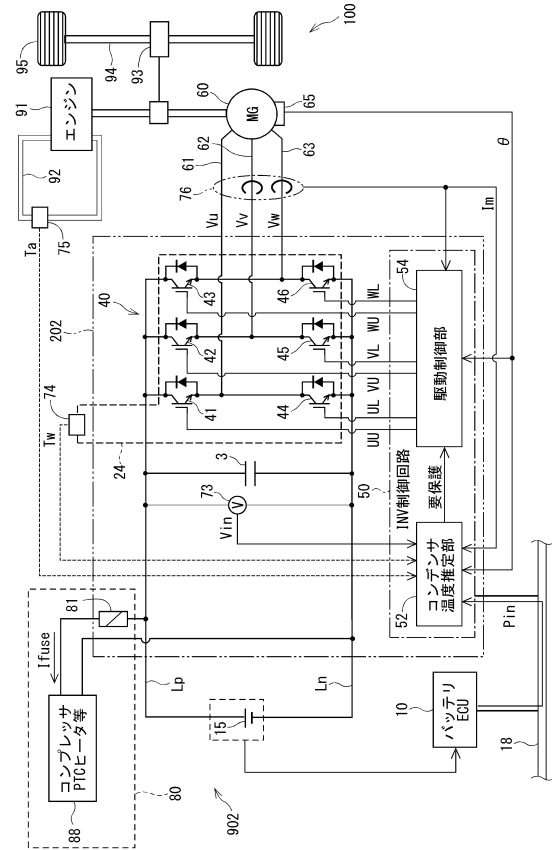
【図 5】



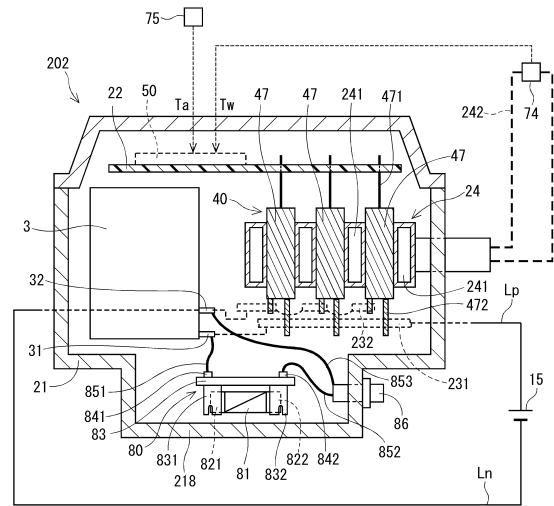
【図 6】



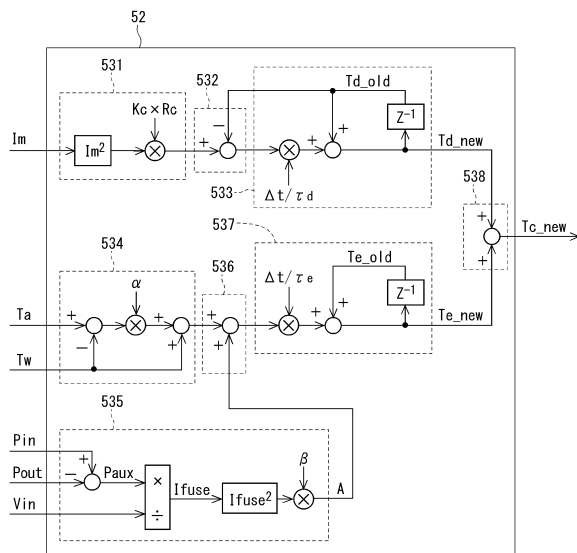
【図 7】



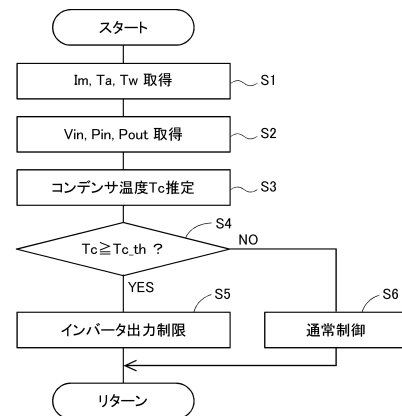
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2014 - 050303 (JP, A)
特開 2009 - 023402 (JP, A)
特開 2014 - 082908 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02M	7 / 48
B60L	3 / 00
B60L	50 / 16