

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年11月24日(24.11.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/244166 A1

(51) 国際特許分類:
H02M 7/12 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/019067

(22) 国際出願日: 2021年5月19日(19.05.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: ファナック株式会社 (FANUC CORPORATION) [JP/JP]; 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 Yamanashi (JP).

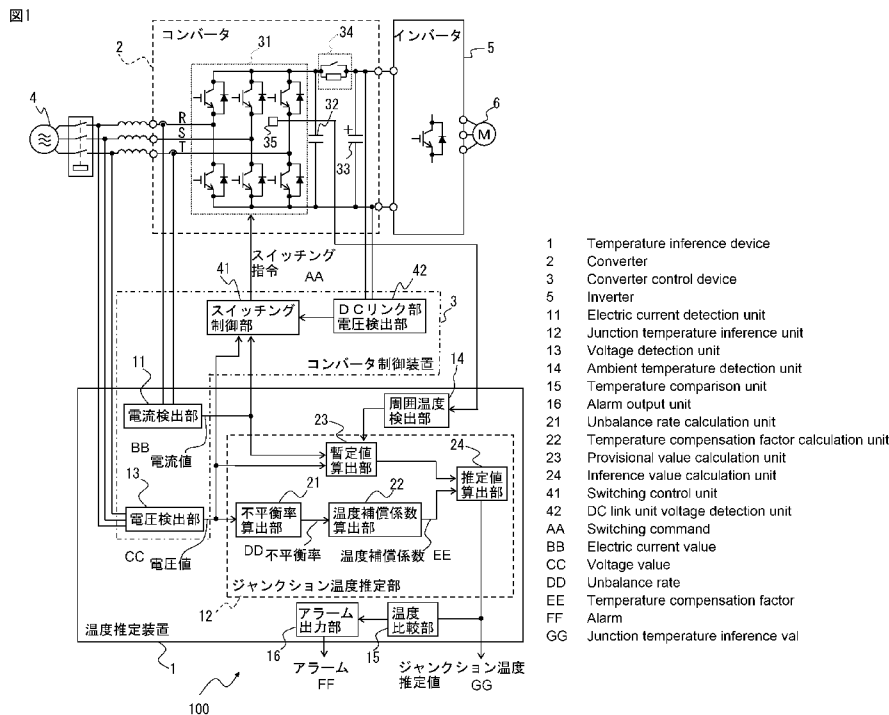
(72) 発明者: 黒木 渉(KUROKI, Wataru); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP).

(74) 代理人: 青木 篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目23番1号 虎ノ門ヒルズ森タワー 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: TEMPERATURE INFERENCE DEVICE AND CONVERTER SYSTEM

(54) 発明の名称: 温度推定装置及びコンバータシステム



(57) Abstract: A temperature inference device according to the present invention calculates a junction temperature inference value of a power semiconductor element that is provided in a converter which performs power conversion between AC power of a three-phase AC power source side and DC power of a DC side. Said temperature inference device comprises: an electric current detection unit that detects the value of an electric current flowing through the power semiconductor element; and a junction temperature inference unit that calculates a junction temperature inference value of the

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告(条約第21条(3))

power semiconductor element on the basis of the unbalance rate of a three-phase AC power source which is connected to the converter and a provisional junction temperature value which has been calculated on the basis of at least the electric current value detected by the electric current detection unit.

(57) 要約：三相交流電源側の交流電力と直流側における直流電力との間で電力変換を行うコンバータに設けられたパワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出する温度推定装置は、パワー半導体素子に流れる電流の値を検出する電流検出部と、電流検出部により検出された電流の値に少なくとも基づいて算出したジャンクション温度暫定値とコンバータに接続される三相交流電源の不均衡率とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出するジャンクション温度推定部と、を備える。

明 細 書

発明の名称： 温度推定装置及びコンバータシステム

技術分野

[0001] 本発明は、温度推定装置及びコンバータシステムに関する。

背景技術

[0002] コンバータ及びインバータは、直流電力から交流電力への変換または交流電力から直流電力への電力変換を行う電力変換装置である。例えば工作機械、鍛圧機械、射出成形機、産業機械、あるいは各種ロボット内のモータを駆動するモータ駆動装置においては、交流電源から供給される交流電力をコンバータにて直流電力に変換してDCリンクへ出力し、さらにインバータにてDCリンクにおける直流電力を交流電力に変換して、この交流電力を駆動軸ごとに設けられたモータに駆動電力として供給している。ここで、DCリンクとは、コンバータの直流出力側とインバータの直流入力側とを電氣的に接続する回路部分のことを指し、「DCリンク部」、「直流リンク」、「直流リンク部」または「直流中間回路」などとも称されることもある。

[0003] コンバータ及びインバータ内に設けられたパワー半導体素子に電流が流れると、コンバータ及びインバータは発熱する。特に、PWM制御方式のコンバータ及びインバータにおいては、パワー半導体素子の定常損失や、パワー半導体素子のスイッチング動作に起因するスイッチング損失と逆回復損失により、パワー半導体素子が発熱することで、パワー半導体素子の温度が上昇する。パワー半導体素子の温度が定格温度を超えて過熱状態になると、コンバータ及びインバータ内のパワー半導体素子の破損や寿命短縮をもたらす。このため、コンバータ及びインバータの運用にあたってはパワー半導体素子またはパワー半導体素子近傍の温度をできるだけ正確に把握し、パワー半導体素子を過熱から保護することが求められている。

[0004] コンバータ及びインバータ内のパワー半導体素子またはパワー半導体素子近傍の温度を把握する方法として、パワー半導体素子のジャンクション温度

を計算により推定する方法、パワー半導体素子のケース温度（モールド表面温度及びベースプレート表面温度）を測定する方法、パワー半導体素子と接触している放熱器の温度を測定する方法などがある。

[0005] このうち、パワー半導体素子のジャンクション温度を計算により推定する方法は、パワー半導体素子に流れる電流値と熱等価回路とに基づいて、演算処理装置による計算処理により、パワー半導体素子のジャンクション部の温度であるジャンクション温度を推定するものである。

[0006] 例えば、交流電圧を直流電圧に変換するコンバータと、前記直流電圧を交流電圧に変換しモータを駆動するインバータと、速度指令とモータ速度に基づいてトルク指令を生成する速度制御部と、前記トルク指令とモータ電流に基づいてPWM信号を生成しインバータを駆動するトルク制御部と、前記モータ電流を検出する電流検出部と、前記インバータの温度を検出しインバータ温度信号を生成するインバータ温度検出部と、モータ温度信号と前記インバータ温度信号と前記モータ電流と前記モータ速度に基づいてトルク制限信号を生成する過負荷保護部とを備えるモータ制御装置において、前記過負荷保護部は、前記モータ電流から前記インバータのパワー素子推定ロスを生成するパワー素子ロス推定部と、前記パワー素子推定ロスと前記インバータ温度に基づいてジャンクション温度を推定するジャンクション温度推定部と、前記モータ電流と前記モータ速度からモータロスを推定するモータロス推定部と、前記モータ推定ロスと前記モータ温度信号からコイル温度を推定するコイル温度推定部と、前記ジャンクション推定温度と前記コイル推定温度に基づいてトルク制限信号またはアラーム信号を生成する過負荷処理部と、を備えることを特徴とするモータ制御装置が知られている（例えば、特許文献1参照。）。

[0007] 例えば、エレベータかごを上下方向に運転する交流電動機を駆動制御するインバータ装置を有するエレベータ制御装置において、前記インバータ装置内半導体パワー素子のスイッチングする時の瞬時のスイッチングロスを演算するスイッチングロス演算器と、前記半導体パワー素子がオンし、一定電流

が流れている時の瞬時のオンロスを演算するオンロス演算器と、を備え、これらスイッチングロス及びオンロスより瞬時のジャンクション温度上昇を推定し、このジャンクション温度に応じて前記パワー素子に対する負荷を軽減するようにしたことを特徴とするエレベータ制御装置が知られている（例えば、特許文献2参照。）。

[0008] 直流を所望の交流に変換するインバータを用いて、PWM制御によって負荷を駆動する駆動装置に備えられ、前記インバータを構成する複数のパワー素子の過熱を保護するパワー素子過熱保護装置において、前記複数のパワー素子を被装するケースの温度を検出する温度検出手段と、前記パワー素子毎のジャンクション温度と前記ケース温度との間の温度差の上昇分を演算し、得られる温度差の上昇分に前記ケースの温度を加算し、演算の結果により、前記パワー素子毎のジャンクション温度を推定する温度推定手段と、前記パワー素子毎のジャンクション温度と、前記パワー素子毎の許容動作温度とをそれぞれ比較演算し、演算の結果により、ジャンクション温度が許容動作温度に比べて高いとき、パワー素子が過熱状態であると判定し、過熱異常信号を出力する過熱異常判定手段と、前記過熱異常判定手段から少なくとも1つの過熱異常信号を入力した場合には、前記パワー素子のゲートを遮断する電力遮断信号を出力する電力遮断信号出力手段と、を備えることを特徴とするパワー素子過熱保護装置が知られている（例えば、特許文献3参照。）。

先行技術文献

特許文献

- [0009] 特許文献1：特開2009-261078号公報
特許文献2：特開平11-255442号公報
特許文献3：特開2008-131722号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] 一般に、コンバータに接続される三相交流電源が正常であれば電圧または

電流の不均衡率が小さいことから、コンバータ内に存在する複数のパワー半導体素子の個々のジャンクション温度のばらつきは少ない。したがって、演算処理装置の演算処理においてジャンクション温度推定処理が占める割合（例えばCPU使用率）を軽減することを目的として1つの熱等価回路に基づいてパワー半導体素子のジャンクション温度を推定したとしても、算出されたジャンクション温度の推定値と各パワー半導体素子が有するジャンクション温度の真値との乖離は少ない。このように、コンバータに接続される三相交流電源の電圧または電流の不均衡率が小さい場合は、1つの熱等価回路に基づくパワー半導体素子のジャンクション温度の推定処理にて、演算処理装置の計算処理の負担の軽減と高精度の温度推定とを両立することができる。

[0011] しかしながら、コンバータに接続される三相交流電源の電力品質が劣っている場合や三相交流電源に欠相などの異常が発生した場合は電圧または電流の不均衡率が大きくなるので、コンバータ内に存在する複数のパワー半導体素子の個々のジャンクション温度のばらつきも大きくなる。三相交流電源の不均衡率が大きい状況の下で1つの熱等価回路に基づいてパワー半導体素子のジャンクション温度を推定すると、算出されたジャンクション温度の推定値は、複数のパワー半導体素子のいくつかについてのジャンクション温度の真値から大きく乖離したものとなる。すなわち、算出されたジャンクション温度の推定値から大きく外れたジャンクション温度の真値を有するパワー半導体素子が出現してしまう。複数のパワー半導体素子の各々のジャンクション温度を正確に推定するために各パワー半導体素子ごとに熱等価回路を設定してジャンクション温度推定処理を実行することも考えられるが、この場合、演算処理装置の演算処理においてジャンクション温度推定処理が占める割合（例えばCPU使用率）が大きくなり、ジャンクション温度推定処理以外の他の演算処理に影響を与えてしまう可能性がある。また、他の演算処理への影響を抑えるために、高性能の演算処理装置を用いることが考えられるが、そのような演算処理装置は高価である。したがって、コンバータに接続される三相交流電源の不均衡率が高い場合においても、コンバータ内に設けら

れたパワー半導体素子のジャンクション温度推定値を高精度に算出することができる温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムの実現が望まれている。

課題を解決するための手段

[0012] 本開示の一態様によれば、三相交流電源側の交流電力と直流側における直流電力との間で電力変換を行うコンバータに設けられたパワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出する温度推定装置は、パワー半導体素子に流れる電流の値を検出する電流検出部と、電流検出部により検出された電流の値に少なくとも基づいて算出したジャンクション温度暫定値とコンバータに接続される三相交流電源の不均衡率とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出するジャンクション温度推定部とを備える。

[0013] また、本開示の一態様によれば、コンバータシステムは、上記温度推定装置と、パワー半導体素子が設けられ、パワー半導体素子がオンオフ動作することにより三相交流電源側の交流電力と直流側における直流電力との間で電力変換を行うコンバータと、を備え、ジャンクション温度推定部は、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出する。

発明の効果

[0014] 本開示の一態様によれば、コンバータに接続される三相交流電源の電力品質が劣っている場合や三相交流電源に欠相などの異常が発生した場合など三相交流電源の不均衡率が高い場合においても、コンバータ内に設けられたパワー半導体素子のジャンクション温度推定値を高精度に算出することができる温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムを実現することができる。すなわち、本開示の一態様によれば、演算処理装置の演算処理においてジャンクション温度推定処理が占める割合（例えばCPU使用率）を軽減されるので、当該演算処理装置において温度推定処理以外の他の演算処理への影響を抑えることができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本開示の第1及び第4の実施形態による温度推定装置及びこれを備える

コンバータシステムを示す図である。

[図2]本開示の第1の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムにおける不平衡率算出部の変形例を示す図である。

[図3]温度補償係数の第2の算出方法により算出された不平衡率 k と温度補償係数 A との関係を例示する図である。

[図4]本開示の第1の実施形態による温度推定装置の動作フローを示すフローチャートである。

[図5]本開示の第2の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムを示す図である。

[図6]本開示の第2の実施形態による温度推定装置の動作フローを示すフローチャートである。

[図7]本開示の第3の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムを示す図である。

[図8]本開示の第4の実施形態による温度推定装置の動作フローを示すフローチャートである。

[図9]本開示の第4の実施形態による温度推定装置の動作フローを示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0016] 以下図面を参照して、温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムについて説明する。理解を容易にするために、図面は縮尺を適宜変更している。また、図面に示される形態は実施するための一つの例であり、図示された形態に限定されるものではない。

[0017] 本開示の実施形態による温度推定装置を備えるコンバータシステムの直流側の負荷としては、インバータと交流モータとからなる組、及び、直流モータなどがある。交流モータまたは直流モータが設けられる機械には、例えば、工作機械、鍛圧機械、射出成形機、産業機械、あるいは各種ロボットなどが含まれる。

[0018] 以下、一例として、本開示の実施形態による温度推定装置を備えるコンバ

ータシステムの直流側の負荷として、インバータ及び交流モータが設けられる例について説明する。交流モータの種類は特に限定されず、例えば誘導モータであっても同期モータであってもよい。また、交流モータの相数は本開示の実施形態を特に限定するものではなく、例えば三相であっても単相であってもよい。なお、本開示の実施形態による温度推定装置を備えるコンバータシステムの直流側の負荷として直流モータが設けられる場合についても、以下の説明は同様に適用可能である。

[0019] まず、本開示の第 1 の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムについて説明する。

[0020] 図 1 は、本開示の第 1 及び第 4 の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムを示す図である。図 1 に示す温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムにおける各要素の接続関係は、後述する第 4 の実施形態にも適用可能である。

[0021] コンバータシステム 100 は、本開示の第 1 の実施形態による温度推定装置 1 と、コンバータ 2 と、コンバータ制御装置 3 とを備える。コンバータ 2 の交流側には、例えば電磁接触器（MCC）及び三相交流リアクトルを介して、三相交流電源 4 が接続される。三相交流電源 4 の一例を挙げると、三相交流 400V 電源、三相交流 200V 電源、三相交流 600V 電源などがある。

[0022] コンバータシステム 100 内のコンバータ 2 は、三相ブリッジ回路 31 と、平滑コンデンサ 32 と、DC リンクコンデンサ 33 と、予備充電回路 34 と、温度検出素子 35 とを備える。

[0023] コンバータ 2 内の三相ブリッジ回路 31 は、交流電力を直流電力に変換することができるものであればよく、例えば、PWM スイッチング制御方式の整流回路、同期整流方式の整流回路、及びダイオード整流方式の整流回路などがある。図 1 に示す例では、一例として、三相ブリッジ回路 31 を、PWM スイッチング制御方式の整流回路または同期整流方式の整流回路としている。

- [0024] 三相ブリッジ回路31は、三相の各相に対応する3つのレグを有する。各レグは、上アーム及び下アームを有する。コンバータ2がPWMスイッチング制御方式の整流回路または同期整流方式の整流回路で構成される場合、三相ブリッジ回路31の各上アーム及び各下アームには、半導体スイッチング素子とこの半導体スイッチング素子に逆並列に接続されたダイオードとからなるパワー半導体素子が設けられる。半導体スイッチング素子の例としては、IGBT、FET、サイリスタ、GTO、及びトランジスタなどがある。コンバータ2がダイオード整流方式の整流回路で構成される場合、三相ブリッジ回路31の各上アーム及び各下アームには、ダイオードからなるパワー半導体素子が設けられる。
- [0025] 平滑コンデンサ32は、三相ブリッジ回路31の直流側に設けられ、三相ブリッジ回路31からの直流出力の脈動分を抑える機能を有する。平滑コンデンサ32の例としては、例えば電解コンデンサやフィルムコンデンサなどがある。
- [0026] DCリンクコンデンサ33は、平滑コンデンサ32とインバータ5の直流側との間に設けられ、直流電力を蓄積する機能を有する。DCリンクコンデンサ33の例としては、例えば電解コンデンサやフィルムコンデンサなどがある。
- [0027] インバータ5の動作開始前までにDCリンクコンデンサ33を予備充電（初期充電）するために、予備充電回路（初期充電回路）34が設けられる。予備充電回路34は、三相ブリッジ回路31とDCリンクコンデンサ33との間の電路を開閉するスイッチとスイッチに並列接続された充電抵抗とを有する。インバータ5の起動直後（電源投入直後）からインバータ5の通常動作開始前までの予備充電期間中、スイッチは開放（オフ）する。予備充電期間中は、スイッチは開状態を維持するので、三相ブリッジ回路31から出力される電流は充電抵抗を介して充電電流としてDCリンクコンデンサ33へ流れ込み、DCリンクコンデンサ33は充電（予備充電）される。予備充電期間中は、三相ブリッジ回路31から出力される電流は充電抵抗を流れるの

で、突入電流の発生を防ぐことができる。DCリンクコンデンサ33が所定の電圧まで充電されると、スイッチは開から閉に切り替えられ、予備充電回路34による予備充電を完了する。予備充電完了後は、三相ブリッジ回路31から出力される電流は、閉状態にあるスイッチを通じて、DCリンクに接続されたインバータ5及びDCリンクコンデンサ33へ向けて流れることになる。

[0028] 温度検出素子35は、パワー半導体素子の近傍に設けられ、温度検出素子35の温度変化に伴い出力が変化する素子である。温度検出素子35から出力された信号は、後述する温度推定装置1内の周囲温度検出部14に送られる。温度検出素子35の例としては、例えば、PTCサーミスタ、NTCサーミスタ、及び白金測温抵抗体などがある。

[0029] コンバータシステム100内のコンバータ制御装置3は、スイッチング制御部41とDCリンク部電圧検出部42とを備える。

[0030] DCリンク部電圧検出部42は、DCリンクコンデンサ33の両端の電位差であるDCリンクコンデンサ電圧値を検出する。このコンデンサ電圧値は、直流リンク電圧値に相当する。すなわち、三相ブリッジ回路31の直流出力側の正側端子に現れる正電位と三相ブリッジ回路31の直流出力側の負側端子に現れる負電位との間の電位差の値が、DCリンクコンデンサ電圧値である。DCリンク部電圧検出部42により検出されたDCリンクコンデンサ電圧値は、スイッチング制御部41に送られ、また、インバータ5を制御するための上位制御装置（図示せず）にも送られる。

[0031] スwitching制御部41は、上位制御装置（図示せず）から受信した駆動指令、DCリンク部電圧検出部42により検出されたDCリンクコンデンサ電圧値、後述する電流検出部11により検出されたコンバータ2に入力される電流の値（パワー半導体素子に流れる電流の値）、及び後述する電圧検出部13により検出されたコンバータ2の三相交流電源側の端子間電圧の値などに基づいて、三相ブリッジ回路31内の各パワー半導体素子の半導体スイッチング素子に対してオン及びオフを指令するスイッチング指令を生成する

。生成されたスイッチング指令は、半導体スイッチング素子のドライブ回路（図示せず）に送られる。ドライブ回路は、スイッチング指令の内容に応じて半導体スイッチング素子をオンオフするためのゲート電圧を各半導体スイッチング素子に印加する。

[0032] なお、図1に示す例では、電流検出部11及び電圧検出部13については、温度推定装置1とコンバータ制御装置3とで共用している。この代替例として、温度推定装置1とコンバータ制御装置3とで別々に電流検出部及び電圧検出部を設けてもよい。

[0033] コンバータ制御装置3内には演算処理装置（プロセッサ）が設けられる。この演算処理装置は、上述したスイッチング制御部41及びDCリンク部電圧検出部42を有する。演算処理装置が有するこれらの各部は、例えば、プロセッサ上で実行されるコンピュータプログラムにより実現される機能モジュールである。例えば、スイッチング制御部41及びDCリンク部電圧検出部42をコンピュータプログラム形式で構築する場合は、演算処理装置をこのコンピュータプログラムに従って動作させることで、各部の機能を実現することができる。スイッチング制御部41及びDCリンク部電圧検出部42の各処理を実行するためのコンピュータプログラムは、半導体メモリ、磁気記録媒体または光記録媒体といった、コンピュータ読取可能な記録媒体に記録された形で提供されてもよい。またあるいは、スイッチング制御部41及びDCリンク部電圧検出部42を、各部の機能を実現するコンピュータプログラムを書き込んだ半導体集積回路として実現してもよい。

[0034] コンバータ2の直流側には、インバータ5が接続される。インバータ5は、スイッチング素子及びこれに逆並列に接続されたダイオードのブリッジ回路からなる。スイッチング素子の例としては、IGBT、FET、サイリスタ、GTO、及びトランジスタなどがあるが、その他の半導体素子であってもよい。図1に示す例では、モータ6を三相交流モータとしたので、インバータ5は三相ブリッジ回路で構成される。モータ6が単相交流モータである場合は、インバータ5は単相ブリッジ回路で構成される。インバータ5は、

上位制御装置（図示せず）の指令に基づき内部のスイッチング素子のオンオフ動作がPWM制御されることで、DCリンクにおける直流電力を交流電力に変換して交流入出力側のモータ6へ供給するとともに、モータ6の減速により回生された交流電力を直流電力に変換してDCリンクへ戻す。モータ6は、インバータ5から供給される交流電力に基づいて、速度、トルクまたは回転子の位置が制御される。インバータ5を制御する上位制御装置は、アナログ回路と演算処理装置との組み合わせで構成されてもよく、あるいは演算処理装置のみで構成されてもよい。インバータ5を制御する上位制御装置を構成し得る演算処理装置には、例えばIC、LSI、CPU、MPU、DSPなどがある。

[0035] 本開示の第1の実施形態による温度推定装置1は、コンバータ2内の三相ブリッジ回路31に設けられたパワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出する。温度推定装置1は、電流検出部11と、ジャンクション温度推定部12と、電圧検出部13と、周囲温度検出部14と、温度比較部15と、アラーム出力部16とを備える。

[0036] 電流検出部11は、コンバータ2の三相ブリッジ回路31内に設けられたパワー半導体素子に流れる電流の値（コンバータ2に入力される電流の値）を検出する。電流検出部11により検出された電流の値は、ジャンクション温度推定部12内の暫定値算出部23及びコンバータ制御装置3内のスイッチング制御部41に送られる。なお、電流検出部11は、コンバータ制御装置3に設けられる電流検出部と共用であってもよい。

[0037] 電圧検出部13は、コンバータ2の三相交流電源4側の端子間電圧（線間電圧）の値を検出する。電圧検出部13によって検出された端子間電圧の値は、ジャンクション温度推定部12内の暫定値算出部23及び不平衡率算出部21並びにコンバータ制御装置3内のスイッチング制御部41に送られる。なお、電圧検出部13は、コンバータ制御装置3に設けられる電圧検出部と共用であってもよい。

[0038] 周囲温度検出部14は、パワー半導体素子の近傍に設けられた温度検出素

子 3 5 から送られてきた信号に基づいてパワー半導体素子の周囲温度を検出する。周囲温度検出部 1 4 によって検出されたパワー半導体素子の周囲温度は、ジャンクション温度推定部 1 2 内の暫定値算出部 2 3 に送られる。

[0039] ジャンクション温度推定部 1 2 は、電流検出部 1 1 により検出された電流の値に少なくとも基づいて算出したジャンクション温度暫定値とコンバータ 2 に接続される三相交流電源 4 の不平衡率とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出する。このため、ジャンクション温度推定部 1 2 は、不平衡率算出部 2 1 と、温度補償係数算出部 2 2 と、暫定値算出部 2 3 と、推定値算出部 2 4 と、を有する。

[0040] 暫定値算出部 2 3 は、電流検出部 1 1 により検出された電流の値と電圧検出部 1 3 によって検出された端子間電圧の値と周囲温度検出部 1 4 により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出する。ジャンクション温度暫定値は、三相交流電源 4 が平衡である状態において推定されるジャンクション温度の値であり、すなわち三相交流電源 4 の不平衡率については考慮せずに推定される値である。

[0041] パワー半導体素子のジャンクション温度暫定値 T_{j1} は、式 1 のように表すことができる。式 1 において、パワー半導体素子に電流が流れることにより生じる電力を W とする。また、式 1 において、予め規定されたパワー半導体素子の単位基準電力を W_0 とし、パワー半導体素子の単位基準電力 W_0 当たりの温度上昇率を「 $\Delta T / W_0$ 」（定数）と定義する。また、式 1 において、周囲温度検出部 1 4 により検出されたパワー半導体素子の周囲温度を T_a 、熱時定数を τ 、パワー半導体素子に電力が生じている時間（パワー半導体素子に電流が流れている時間）を t としている。

[0042] [数 1]

$$T_{j1} = \Delta T \times \frac{W}{W_0} \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + T_a \quad \cdots (1)$$

[0043] 式 1 において、パワー半導体素子に生じる電力 W は、電流検出部 1 1 によ

り検出された電流の値の二乗とパワー半導体素子の抵抗成分の値とを乗算することによって求めることができる。例えば、パワー半導体素子の抵抗を R 、パワー半導体素子に流れる電流を I としたとき、パワー半導体素子に生じる電力 W は、「 $W = R \times I^2$ 」となる。よって、暫定値算出部23は、式1に従って、電流検出部11により検出された電流の値と電圧検出部13によって検出された端子間電圧の値と周囲温度検出部14により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出する。なお、例えばコンバータ2の設置場所の温度がほぼ一定であるような場合には、式1においてパワー半導体素子の周囲温度 T_j を定数（すなわちコンバータ2の設置場所の温度）とすることで、周囲温度検出部14及び温度検出素子35を省略してもよい。

[0044] 不平衡率算出部21は、三相交流電源4の不平衡率を算出する。図1に示す例では、不平衡率算出部21は、電圧検出部13により検出された端子間電圧（線間電圧）の値に基づいて、三相交流電源4の電圧の不平衡率を算出する。

[0045] 三相交流電源4の電圧の不平衡率は、公知の式に従って算出することができる。ここで、三相交流電源4の電圧の不平衡率の算出方法について、一例として2つ列記する。2つの算出方法の出典元は、公益社団法人日本電気技術者協会のホームページ（<https://jeea.or.jp/course/contents/05102/>）である。

[0046] 三相交流電源4の電圧の不平衡率の第1の算出方法について説明すると次の通りである。

[0047] 電圧検出部13により検出された三相 RST の端子間電圧（線間電圧）の値を E_{RS} 、 E_{ST} 及び E_{TR} とすると、端子間電圧平均値 E_{avg} は式2のように表すことができる。

[0048] [数2]

$$E_{avg} = \frac{E_{RS} + E_{ST} + E_{TR}}{2} \quad \dots (2)$$

[0049] 正相電圧 E_1 は、式 3 のように表すことができる。

[0050] [数3]

$$E_1 = \sqrt{\frac{E_{RS}^2 + E_{ST}^2 + E_{TR}^2}{6} + \frac{2\sqrt{E_{avg}(E_{avg} - E_{RS})(E_{avg} - E_{ST})(E_{avg} - E_{TR})}}{\sqrt{3}}} \quad \cdots (3)$$

[0051] 逆相電圧 E_2 は、式 4 のように表すことができる。

[0052] [数4]

$$E_2 = \sqrt{\frac{E_{RS}^2 + E_{ST}^2 + E_{TR}^2}{6} - \frac{2\sqrt{E_{avg}(E_{avg} - E_{RS})(E_{avg} - E_{ST})(E_{avg} - E_{TR})}}{\sqrt{3}}} \quad \cdots (4)$$

[0053] よって、三相交流電源 4 の電圧の不均衡率の第 1 の算出方法によれば、式 3 に示す正相電圧 E_1 及び式 4 に示す逆相電圧 E_2 を用いて、三相交流電源 4 の電圧の不均衡率 k は、式 5 のように表すことができる。

[0054] [数5]

$$k = \frac{E_2}{E_1} \times 100[\%] \quad \cdots (5)$$

[0055] 三相交流電源 4 の電圧の不均衡率の第 2 の算出方法について説明すると次の通りである。

[0056] 電圧検出部 13 により検出された三相 R S T の端子間電圧（線間電圧）の値を E_{RS} 、 E_{ST} 、及び E_{TR} とすると、端子間電圧平均値 E_{avg} は上述の式 2 のように表すことができる。このとき、各端子間電圧 E_{RS} 、 E_{ST} 及び E_{TR} と端子間電圧平均値 E_{avg} との差の絶対値の最大値 $E_{diffmax}$ は式 6 のように表すことができる。

[0057] [数6]

$$E_{diffmax} = \max\{|E_{RS} - E_{avg}|, |E_{ST} - E_{avg}|, |E_{TR} - E_{avg}|\} \quad \cdots (6)$$

[0058] よって、三相交流電源 4 の電圧の不均衡率の第 2 の算出方法によれば、式 2 に示す端子間電圧平均値 E_{avg} 及び式 6 に示す $E_{diffmax}$ を用いて、三相交流電源

4の電圧の不均衡率 k は、式7のように表すことができる。

[0059] [数7]

$$k = \frac{E_{diffmax}}{E_{avg}} \times 100[\%] \quad \cdots (7)$$

[0060] 不均衡率算出部21は、例えば、上述した式5または式7に従って、電圧検出部13により検出された端子間電圧の値に基づいて、三相交流電源4の電圧の不均衡率を算出する。

[0061] なお、不均衡率算出部21は、三相交流電源4の不均衡率として、電流検出部11により検出された電流の値（コンバータ2に入力される電流の値）に基づいて、三相交流電源4の電流の不均衡率を算出してもよい。図2は、本開示の第1の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムにおける不均衡率算出部の変形例を示す図である。電流検出部11により検出された電流の値は、不均衡率算出部21に送られる。不均衡率算出部21は、電流検出部11により検出された電流の値に基づいて、三相交流電源4の電流の不均衡率を算出する。三相交流電源4の電流の不均衡率を算出にあたっては、例えば、上述した式5または式7の「電圧の値」を「電流の値」に置き換えた式を用いればよい。図2において、不均衡率算出部21以外の回路構成要素については図1に示す回路構成要素と同様であるので、同一の回路構成要素には同一符号を付して当該回路構成要素についての詳細な説明は省略する。

[0062] 不均衡率算出部21により算出された三相交流電源4の不均衡率は、温度補償係数算出部22に送られる。温度補償係数算出部22は、不均衡率に基づいて温度補償係数を算出する。温度補償係数算出部22により算出された温度補償係数は、推定値算出部24に送られる。推定値算出部24は、ジャンクション温度暫定値と温度補償係数とを乗算して得られる値を、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値として出力する。

[0063] ここで、ジャンクション温度暫定値、温度補償係数、及びジャンクション温度推定値について、より詳細に説明する。

[0064] 上述したように、式 1 に従って暫定値算出部 23 によって算出されたジャンクション温度暫定値は、三相交流電源 4 が平衡である（不平衡ではない）状況において推定されるジャンクション温度の値である。三相交流電源 4 が平衡である（不平衡ではない）状況の下で電流検出部 11 により検出された電流の値及び電圧検出部 13 により検出された電圧の値に基づいて式 1 に従って算出されたジャンクション温度暫定値は、ジャンクション温度の真値に近い値であるので、当該ジャンクション温度暫定値をそのままパワー半導体素子のジャンクション温度と推定しても（すなわちジャンクション温度推定値として用いても）誤差は少ない。

[0065] しかしながら、三相交流電源 4 の不平衡率が大きい状況の下で電流検出部 11 により検出された電流の値及び電圧検出部 13 により検出された電圧の値に基づいて式 1 に従って算出されたジャンクション温度暫定値は、複数のパワー半導体素子のいくつかについてのジャンクション温度の真値から大きく乖離したものとなる。そこで、本開示の第 1 の実施形態では、三相交流電源 4 の不平衡率が大きい状況の下で暫定値算出部 23 により算出されたジャンクション温度暫定値とジャンクション温度の真値との乖離を小さくするためのパラメータとして三相交流電源 4 の不平衡率を反映した温度補償係数を算出し、ジャンクション温度暫定値と温度補償係数とを乗算して得られる値を、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値として確定する。

[0066] ここで、温度補償係数の算出方法について、一例として 2 つ列記する。

[0067] 温度補償係数の第 1 の算出方法について説明すると次の通りである。

[0068] 例えば、上述した三相交流電源 4 の電圧の不平衡率の第 2 の算出方法にて不平衡率 k を算出する。このとき、式 6 において、端子間電圧 E_{RS} 、 E_{ST} 及び E_{TR} のうち、最小値が E_{RS} であると仮定すると、式 8 が成り立つ。

[0069] [数 8]

$$E_{diffmax} = |E_{RS} - E_{avg}| = E_{avg} - E_{RS} \quad \cdots (8)$$

[0070] 式 8 について式 7 を用いて変形すると、式 9 が得られる。

[0071] [数9]

$$E_{RS} = E_{avg} - E_{diffmax} = E_{avg} - \left(\frac{k}{100}\right) \times E_{avg} = \left(\frac{100-k}{100}\right) \times E_{avg} \quad \cdots(9)$$

[0072] 三相交流電源4の電圧の不均衡時においてR相とS相との間に電圧 E_{RS} が印加されるときにR相またはS相のパワー半導体素子に生じる電力 W_{RS} は、式10のように表すことができる。

[0073] [数10]

$$W_{RS} = \frac{E_{RS}^2}{R} = \left(\frac{100-k}{100}\right)^2 \times \frac{1}{R} \times E_{avg}^2 \quad \cdots(10)$$

[0074] 一方、三相交流電源4の電圧の平衡時においてR相とS相との間に電圧 E_{RS} が印加されるときにR相またはS相のパワー半導体素子に生じる電力 W_{RS} は、式11のように表すことができる。

[0075] [数11]

$$W_{RS} = \frac{E_{RS}^2}{R} = \frac{E_{avg}^2}{R} \quad \cdots(11)$$

[0076] 式11に示す三相交流電源4の電圧の平衡時の電力 W_{RS} に式12に示す係数Aを乗算すれば、式10に示す三相交流電源4の電圧の不均衡時の電力 W_{RS} が得られることが分かる。

[0077] [数12]

$$A = \left(\frac{100}{100-k}\right)^2 \quad \cdots(12)$$

[0078] 式12に示す係数Aを、三相交流電源4の不均衡率が高い状況の下で暫定値算出部23により算出されたジャンクション温度暫定値とジャンクション温度の真値との乖離を小さくするための温度補償係数として用いる。例えば不均衡率kが0%のときは温度補償係数Aは1となる。温度補償係数算出部22は、式12に従って、不均衡率算出部21によって算出された不均衡

率 k を用いて温度補償係数 A を算出し、この温度補償係数 A を推定値算出部 24 へ送る。推定値算出部 24 は、例えば、式 1 で示されるジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部 22 により算出された温度補償係数 A とを乗算して得られる値を、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値として出力する。

[0079] 温度補償係数の第 2 の算出方法について説明すると次の通りである。

[0080] 温度補償係数の第 2 の算出方法は、コンバータシステム 100 の実際の運用前の実験により、0%～100%の任意の不平衡率の線間電圧を出力することができる実験用三相交流電源を接続したコンバータシステム 100 を動作させて不平衡率と温度補償係数との関係式を求めるものである。実験では、実験用三相交流電源から 0%～100%のうちの特定の不平衡率の線間電圧を出力させて三相ブリッジ回路 31 内の各パワー半導体素子のジャンクション温度を実測し、実測したジャンクション温度のうちの最大値を、式 1 に示すジャンクション温度推定値で除算することで、当該特定の不平衡率のときの温度補償係数 A を算出する。図 3 は、温度補償係数の第 2 の算出方法により算出された不平衡率 k と温度補償係数 A との関係为例示する図である。図 3 では、実験により得られた 0%～30%の不平衡率 k に対応する温度補償係数 A を黒丸で示している。実験により得られた不平衡率 k と温度補償係数 A との値から、不平衡率 k と温度補償係数 A との関係を示す近似式を求める。図 3 では、一例として、不平衡率 k と温度補償係数 A との関係を直線近似（1 次関数）により求めたが、1 次関数以外の関数を近似式に用いてもよい。また、不平衡率 k と温度補償係数 A との関係を示す近似式は、不平衡率 0%から 100%までを一区間とするものを求めてもよい。あるいは、不平衡率 0%から 100%までの間を複数の区間に分割し、区間ごとに不平衡率 k と温度補償係数 A との関係を示す近似式を求めてもよい。実験により求められた不平衡率 k と温度補償係数 A との関係を示す近似式は、温度補償係数算出部 22 に予め格納される。温度補償係数算出部 22 は、不平衡率算出部 21 によって算出された不平衡率 k に対応する温度補償係数 A を当該近似式

に従って算出し、この温度補償係数Aを推定値算出部24へ送る。推定値算出部24は、例えば、式1で示されるジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部22により算出された温度補償係数Aとを乗算して得られる値を、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値として出力する。

[0081] このように、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値は、式1で示されるジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部22により算出された温度補償係数Aとを乗算して得られる。すなわち、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値 T_{j2} は、式13のように表すことができる。

[0082] [数13]

$$T_{j2} = A \times \Delta T \times \frac{W}{W_0} \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + T_a \quad \cdots (13)$$

[0083] なお、式1に従ってジャンクション温度暫定値を算出する際は、パワー半導体素子に生じる電力Wを、電流検出部11により検出された電流を二乗した値とパワー半導体素子の抵抗成分の値とを乗算することによって求めている。代替方法として、パワー半導体の順方向電圧 V_f やコレクタエミッタ間飽和電圧 $V_{ce(sat)}$ を電流検出部11により検出された電流値に乘算して求めてもよい。パワー半導体素子の抵抗をR、パワー半導体素子に流れる電流をIとしたとき、パワー半導体素子に生じる電力Wは、「 $W = R \times I^2$ 」であるので、式1は、式14のように変形することができる。

[0084] [数14]

$$T_{j1} = \Delta T \times \frac{R}{W_0} \times I^2 \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + T_a \quad \cdots (14)$$

[0085] 式14において、温度上昇率 ΔT 、パワー半導体素子の抵抗R、及びパワー半導体素子の基準電力 W_0 は演算の簡略化のために一定値とみなし、式15に示す定数Mを導入する。

[0086]

[数15]

$$M = \Delta T \times \frac{R}{W_0} \quad \cdots (15)$$

[0087] 式14に式15を代入すると、式16で示されるジャンクション温度暫定値 T_{j1} が得られる。

[0088] [数16]

$$T_{j1} = M \times I^2 \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + T_a \quad \cdots (16)$$

[0089] 暫定値算出部23は、式16に従って、電流検出部11により検出された電流の値と周囲温度検出部14により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出することができる。よって、ジャンクション温度推定値 T_{j2} は、式17のように表すことができる。

[0090] [数17]

$$T_{j2} = A \times M \times I^2 \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + T_a \quad \cdots (17)$$

[0091] 上述のように推定値算出部24により算出されたジャンクション温度推定値は、例えば表示部（図示せず）に表示される。表示部の例としては、単体のディスプレイ装置、上位制御部に付属のディスプレイ装置、温度推定装置1に付属のディスプレイ装置、コンバータシステム100に付属のディスプレイ装置、コンバータシステム100を備えるモータ駆動装置に付属のディスプレイ装置、並びに、パソコン及び携帯端末に付属のディスプレイ装置などがある。またあるいは、表示部に代えて、温度推定装置1により算出されたジャンクション温度推定値を、音響機器（図示せず）により音声にて出力させてもよい。これにより、三相交流電源4の電力品質が劣っている場合や三相交流電源4に欠相などの異常が発生した場合など三相交流電源4の不平

衡率が高い場合においても、作業者は、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値を正確かつに把握することができる。

[0092] また、上述のように推定値算出部 24 により算出されたジャンクション温度推定値は、温度比較部 15 へ送られる。

[0093] 温度比較部 15 は、ジャンクション温度推定部 12 内の推定値算出部 24 により算出されたジャンクション温度推定値と所定の温度閾値とを比較する。温度比較部 15 による比較結果は、アラーム出力部 16 に送られる。温度閾値は、例えば、パワー半導体素子が過熱により破壊される温度よりも数十%程度低い温度、パワー半導体素子の過熱によりコンバータシステム 100 が破壊される温度よりも数十%程度低い温度、または、パワー半導体素子もしくはコンバータシステムについて予め規定された定格温度よりも数十%程度高い温度などに設定すればよい。ここで挙げた数値はあくまでも一例であって、これ以外の数値であってもよい。また、例えば実験もしくは実際の運用によりコンバータシステム 100 を動作させたりまたはコンピュータによるシミュレーションにより、コンバータシステム 100 の適用環境やアラーム出力部 16 によるアラームの出力の有無との関係性などを事前に求めたうえで、温度閾値を設定してもよい。設定された温度閾値は、記憶部（図示せず）に記憶される。なお、温度閾値を記憶する記憶部（図示せず）は外部機器によって書き換え可能とすることで、温度閾値を一旦設定した後であっても必要に応じて適切な値に変更することができる。

[0094] アラーム出力部 16 は、温度比較部 15 による比較結果がジャンクション温度推定値が温度閾値以上であることを示す場合は、アラームを出力する。アラーム出力部 16 から出力されたアラームは、例えば表示部（図示せず）に送られ、表示部は、例えば「パワー半導体素子の過熱」を作業者に通知する表示を行う。表示部の例としては、単体のディスプレイ装置、上位制御部に付属のディスプレイ装置、温度推定装置 1 に付属のディスプレイ装置、コンバータシステム 100 に付属のディスプレイ装置、コンバータシステム 100 を備えるモータ駆動装置に付属のディスプレイ装置、並びに、パソコン

及び携帯端末に付属のディスプレイ装置などがある。またあるいは、アラーム出力部 16 から出力されたアラームは、例えば音響機器（図示せず）に送られる。また例えば、アラーム出力部 16 から出力されたアラームは、例えば LED やランプなどの発光機器（図示せず）に送られ、発光機器はアラーム受信時に発光することで、作業者に「パワー半導体素子の過熱」を通知する。また例えば、アラーム出力部 16 から出力されたアラームは、例えば音響機器（図示せず）に送られ、音響機器はアラーム受信時に例えば音声、スピーカ、ブザー、チャイムなどのような音を発することで、作業者に「パワー半導体素子の過熱」を通知する。これにより、作業者は、パワー半導体素子の過熱を、確実かつ容易に把握することができる。作業者は、例えば、コンバータシステム 100 を緊急停止させたり、パワー半導体素子を交換するといった対応をとることも容易となる。また、アラーム出力部 16 から出力されたアラームは、コンバータシステム 100 の保護動作に用いられてもよく、あるいはコンバータシステム 100 を備えるモータ駆動装置の保護動作に用いられてもよい。

[0095] 図 4 は、本開示の第 1 の実施形態による温度推定装置の動作フローを示すフローチャートである。

[0096] 本開示の第 1 の実施形態による温度推定装置 1 及びこれを備えるコンバータシステム 100 におけるパワー半導体素子の温度推定処理は、コンバータシステム 100 が三相交流電源 4 に接続されて実際に運用されているときに周期的に実行される。

[0097] ステップ S 101 において、電圧検出部 13 は、コンバータ 2 の三相交流電源 4 側の端子間電圧の値を検出する。また、図 4 では図示を省略したが、電流検出部 11 は、コンバータ 2 の三相ブリッジ回路 31 に設けられたパワー半導体素子に流れる電流の値（コンバータ 2 に入力される電流の値）を検出し、周囲温度検出部 14 は、温度検出素子 35 から送られてきた信号に基づいてパワー半導体素子の周囲温度を検出する。

[0098] ステップ S 102 において、不平衡率算出部 21 は、三相交流電源 4 の不

平衡率を算出する。算出する三相交流電源 4 の不平衡率は、電圧の不平衡率であっても電流の不平衡率であってもよい。

[0099] ステップ S 1 0 3 において、温度補償係数算出部 2 2 は、不平衡率算出部 2 1 によって算出された不平衡率を用いて温度補償係数を算出する。

[0100] ステップ S 1 0 4 において、暫定値算出部 2 3 は、電流検出部 1 1 により検出された電流の値と電圧検出部 1 3 によって検出された端子間電圧の値と周囲温度検出部 1 4 により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出する。

[0101] ステップ S 1 0 5 において、推定値算出部 2 4 は、暫定値算出部 2 3 により算出されたジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部 2 2 により算出された温度補償係数とを乗算して得られる値を、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値として出力する。推定値算出部 2 4 により算出されたジャンクション温度推定値は、温度比較部 1 5 へ送られる。また、推定値算出部 2 4 により算出されたジャンクション温度推定値については、例えば表示部（図示せず）に表示してもよく、音響機器（図示せず）により音声にて出力してもよい。

[0102] ステップ S 1 0 6 において、温度比較部 1 5 は、ジャンクション温度推定部 1 2 内の推定値算出部 2 4 により算出されたジャンクション温度推定値と所定の温度閾値とを比較する。ステップ S 1 0 6 において、ジャンクション温度推定値が温度閾値以上であると判定された場合はステップ S 1 0 7 へ進み、ジャンクション温度推定値が温度閾値未満であると判定された場合はステップ S 1 0 1 へ戻る。

[0103] ステップ S 1 0 7 において、アラーム出力部 1 6 は、アラームを出力する。

[0104] 上述したステップ S 1 0 1 ～ S 1 0 7 の処理は、ステップ S 1 0 7 においてアラーム出力部 1 6 によりアラームが出力されるまで、周期的に繰り返し実行される。

[0105] 続いて、本開示の第 2 の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコ

ンバータシステムについて説明する。

- [0106] 本開示の第2の実施形態は、パワー半導体素子に流れる電流の大きさに応じて、ジャンクション温度暫定値と温度補償係数とを乗算して得られる値をジャンクション温度推定値として出力するかあるいはジャンクション温度暫定値をそのままジャンクション温度推定値として出力するかを切り替えるものである。
- [0107] 図5は、本開示の第2の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムを示す図である。
- [0108] 本開示の第2の実施形態による温度推定装置1は、図1または図2に示す第1の実施形態による温度推定装置1内のジャンクション温度推定部12において電流比較部25を追加したものである。すなわち、ジャンクション温度推定部12は、電流比較部25をさらに有する。
- [0109] 電流検出部11により検出された電流の値は、ジャンクション温度推定部12内の暫定値算出部23及びコンバータ制御装置3内のスイッチング制御部41に加えて、電流比較部25にも送られる。
- [0110] 電流比較部25は、電流検出部11により検出された電流の値と所定の電流閾値とを比較する。電流比較部25による比較結果は、推定値算出部24に送られる。電流閾値は、例えばパワー半導体素子の定格電流の60%に設定されるが、ここで挙げた数値はあくまでも一例であって、これ以外の数値であってもよい。また、例えば実験もしくは実際の運用によりコンバータシステム100を動作させたりまたはコンピュータによるシミュレーションにより、コンバータシステム100の適用環境やアラーム出力部16によるアラームの出力の有無との関係性などを事前に求めたうえで、電流閾値を設定してもよい。設定された電流閾値は、記憶部（図示せず）に記憶される。なお、電流閾値を記憶する記憶部（図示せず）は外部機器によって書き換え可能とすることで、電流閾値を一旦設定した後であっても必要に応じて適切な値に変更することができる。
- [0111] パワー半導体素子に流れる電流が小さい場合は、三相交流電源4の不平衡

率が及ぼす影響は小さいので暫定値算出部 23 により算出されたジャンクション温度暫定値は真値に近いと考えられる。そこで、本開示の第 2 の実施形態では、パワー半導体素子に流れる電流が小さい場合は、不平衡率算出部 21 及び温度補償係数算出部 22 は動作させずジャンクション温度暫定値をジャンクション温度推定部として確定することで、不平衡率算出部 21 及び温度補償係数算出部 22 を構成する演算処理装置の計算負荷を軽減する。一方、パワー半導体素子に流れる電流が大きい場合は、三相交流電源 4 の不平衡率が及ぼす影響は大きいので、暫定値算出部 23 により算出されたジャンクション温度暫定値は真値から大きく乖離したものと考えられる。そこで、本開示の第 2 の実施形態では、パワー半導体素子に流れる電流が大きい場合は、暫定値算出部 23 により算出されたジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部 22 により算出された温度補償係数とを乗算して得られる値をジャンクション温度推定値として確定することで、計算負荷の軽減よりも温度推定処理の精度の向上を優先する。

[0112] 推定値算出部 24 は、電流比較部 25 による比較結果が電流検出部 11 により検出された電流の値が電流閾値以上であることを示す場合は、暫定値算出部 23 により算出されたジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部 22 により算出された温度補償係数とを乗算して得られる値をジャンクション温度推定値として出力する。また、推定値算出部 24 は、電流比較部 25 による比較結果が電流検出部 11 により検出された電流の値が電流閾値未満であることを示す場合は、暫定値算出部 23 により算出されたジャンクション温度暫定値をそのままジャンクション温度推定値として出力する。

[0113] 本開示の第 2 の実施形態による温度推定装置 1 及びこれを備えるコンバータシステム 100 において、電流検出部 11、推定値算出部 24 及び電流比較部 25 以外の構成及び動作は、図 1 を参照して説明した構成及び動作と同様であるので、説明は省略する。

[0114] 図 6 は、本開示の第 2 の実施形態による温度推定装置の動作フローを示すフローチャートである。

- [0115] 本開示の第2の実施形態による温度推定装置1及びこれを備えるコンバータシステム100におけるパワー半導体素子の温度推定処理は、コンバータシステム100が三相交流電源4に接続されて実際に運用されているときに周期的に実行される。
- [0116] ステップS201において、電圧検出部13は、コンバータ2の三相交流電源4側の端子間電圧の値を検出する。また、図6では図示を省略したが、周囲温度検出部14は、温度検出素子35から送られてきた信号に基づいてパワー半導体素子の周囲温度を検出する。
- [0117] ステップS202において、電流検出部11は、コンバータ2の三相ブリッジ回路31に設けられたパワー半導体素子に流れる電流の値（コンバータ2に入力される電流の値）を検出する。
- [0118] ステップS203において、電流比較部25は、電流検出部11により検出された電流の値と所定の電流閾値とを比較する。ステップS203において、電流検出部11により検出された電流の値が電流閾値以上であると判定された場合はステップS204へ進み、電流検出部11により検出された電流の値が電流閾値未満であると判定された場合はステップS208へ進む。
- [0119] ステップS204において、不平衡率算出部21は、三相交流電源4の不平衡率を算出する。算出する三相交流電源4の不平衡率は、電圧の不平衡率であっても電流の不平衡率であってもよい。
- [0120] ステップS205において、温度補償係数算出部22は、不平衡率算出部21によって算出された不平衡率を用いて温度補償係数を算出する。
- [0121] ステップS206において、暫定値算出部23は、電流検出部11により検出された電流の値とパワー半導体素子の抵抗成分の値と周囲温度検出部14により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出する。
- [0122] ステップS207において、推定値算出部24は、暫定値算出部23により算出されたジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部22により算出された温度補償係数とを乗算して得られる値を、パワー半導体素子のジャ

ンクション温度推定値として出力する。

[0123] 一方、ステップS 2 0 3において電流検出部 1 1により検出された電流の値が電流閾値未満であると判定された場合は、ステップS 2 0 8において、暫定値算出部 2 3は、電流検出部 1 1により検出された電流の値とパワー半導体素子の抵抗成分の値と周囲温度検出部 1 4により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出する。

[0124] ステップS 2 0 9において、推定値算出部 2 4は、暫定値算出部 2 3により算出されたジャンクション温度暫定値を、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値として出力する。

[0125] ステップS 2 0 7及びステップS 2 0 9において推定値算出部 2 4により算出されたジャンクション温度推定値は、温度比較部 1 5へ送られる。また、推定値算出部 2 4により算出されたジャンクション温度推定値については、例えば表示部（図示せず）に表示してもよく、音響機器（図示せず）により音声にて出力してもよい。

[0126] ステップS 2 1 0において、温度比較部 1 5は、ジャンクション温度推定部 1 2内の推定値算出部 2 4により算出されたジャンクション温度推定値と所定の温度閾値とを比較する。ステップS 2 1 0において、ジャンクション温度推定値が温度閾値以上であると判定された場合はステップS 2 1 1へ進み、ジャンクション温度推定値が温度閾値未満であると判定された場合はステップS 2 0 1へ戻る。

[0127] ステップS 2 1 1において、アラーム出力部 1 6は、アラームを出力する。

[0128] 上述したステップS 2 0 1～S 2 1 1の処理は、ステップS 2 1 1においてアラーム出力部 1 6によりアラームが出力されるまで、周期的に繰り返し実行される。

[0129] 上述のように、ステップS 2 0 3において電流検出部 1 1により検出された電流の値が電流閾値未満であると判定された場合は、不平衡率算出部 2 1

及び温度補償係数算出部 22 は動作せず、不平衡率算出部 21 及び温度補償係数算出部 22 を構成する演算処理装置の計算負荷が軽減される。したがって、本開示の第 2 の実施形態は第 1 の実施形態に比べ、演算処理装置の演算処理においてジャンクション温度推定処理が占める割合（例えば CPU 使用率）を軽減しつつ、ジャンクション温度推定値の精度を高めることができる。なお、ステップ S206 及びステップ S208 において、パワー半導体素子の抵抗成分として、パワー半導体の順方向電圧 V_f やコレクタエミッタ間飽和電圧 $V_{ce(sat)}$ に基づいてパワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出してもよい。

[0130] 続いて、本開示の第 3 の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムについて説明する。

[0131] 本開示の第 3 の実施形態は、パワー半導体素子に流れる電流の大きさ及び三相交流電源の不平衡率に応じて、ジャンクション温度暫定値と温度補償係数とを乗算して得られる値をジャンクション温度推定値として出力するかあるいはジャンクション温度暫定値をそのままジャンクション温度推定値として出力するかを切り替えるものである。

[0132] 図 7 は、本開示の第 3 の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムを示す図である。

[0133] 本開示の第 3 の実施形態による温度推定装置 1 は、図 1 または図 2 に示す第 1 の実施形態による温度推定装置 1 内のジャンクション温度推定部 12 において電流比較部 25 及び不平衡率比較部 26 を追加したものである。すなわち、ジャンクション温度推定部 12 は、電流比較部 25 及び不平衡率比較部 26 をさらに有する。

[0134] 電流検出部 11 により検出された電流の値は、ジャンクション温度推定部 12 内の暫定値算出部 23 及びコンバータ制御装置 3 内のスイッチング制御部 41 に加えて、電流比較部 25 にも送られる。

[0135] 電流比較部 25 は、電流検出部 11 により検出された電流の値と所定の電流閾値とを比較する。電流閾値は、例えばパワー半導体素子の定格電流の 6

0%に設定されるが、ここで挙げた数値はあくまでも一例であって、これ以外の数値であってもよい。電流比較部25による比較結果は、推定値算出部24に送られる。

[0136] 不平衡率算出部21により算出された不平衡率は、温度補償係数算出部22に加えて、不平衡率比較部26にも送られる。

[0137] 不平衡率比較部26は、不平衡率算出部21により算出された不平衡率と所定の不平衡率閾値とを比較する。不平衡率比較部26による比較結果は、推定値算出部24に送られる。不平衡率閾値は、例えば2%に設定されるが、ここで挙げた数値はあくまでも一例であって、これ以外の数値であってもよい。また、例えば実験もしくは実際の運用によりコンバータシステム100を動作させたりまたはコンピュータによるシミュレーションにより、コンバータシステム100の適用環境やアラーム出力部16によるアラームの出力の有無との関係性などを事前に求めたうえで、不平衡率閾値を設定してもよい。設定された不平衡率閾値は、記憶部（図示せず）に記憶される。なお、不平衡率閾値を記憶する記憶部（図示せず）は外部機器によって書き換え可能とすることで、不平衡率閾値を一旦設定した後であっても必要に応じて適切な値に変更することができる。

[0138] パワー半導体素子に流れる電流が小さい場合は、三相交流電源4の不平衡率が及ぼす影響は小さいので暫定値算出部23により算出されたジャンクション温度暫定値は真値に近いと考えられる。そこで、本開示の第3の実施形態では、パワー半導体素子に流れる電流が小さい場合は、不平衡率算出部21及び温度補償係数算出部22は動作させずジャンクション温度暫定値をそのままジャンクション温度推定値として確定することで、不平衡率算出部21及び温度補償係数算出部22を構成する演算処理装置の計算負荷を軽減する。また、パワー半導体素子に流れる電流が大きい場合であっても三相交流電源4の不平衡率が小さい場合は、三相交流電源4の不平衡率が及ぼす影響は小さいので暫定値算出部23により算出されたジャンクション温度暫定値は真値に近いと考えられる。そこで、本開示の第3の実施形態では、パワー

半導体素子に流れる電流が小さくかつ三相交流電源４の不均衡率が小さい場合は、温度補償係数算出部２２は動作させずジャンクション温度暫定値をそのままジャンクション温度推定値として確定することで、温度補償係数算出部２２を構成する演算処理装置の計算負荷を軽減する。また、パワー半導体素子に流れる電流が大きくかつ三相交流電源４の不均衡率が大きい場合は、三相交流電源４の不均衡率が及ぼす影響は大きいので、暫定値算出部２３により算出されたジャンクション温度暫定値は真値から大きく乖離したものと考えられる。そこで、本開示の第３の実施形態では、パワー半導体素子に流れる電流が大きい場合は、暫定値算出部２３により算出されたジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部２２により算出された温度補償係数とを乗算して得られる値をジャンクション温度推定値として確定することで、計算負荷の軽減よりも温度推定処理の精度の向上を優先する。

[0139] 推定値算出部２４は、電流比較部２５による比較結果が電流検出部１１により検出された電流の値が電流閾値以上であることを示しかつ不平衡率比較部２６による比較結果が不平衡率算出部により算出された不平衡率が不平衡率閾値以上であることを示す場合は、暫定値算出部２３により算出されたジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部２２により算出された温度補償係数とを乗算して得られる値をジャンクション温度推定値として出力する。また、推定値算出部２４は、電流比較部２５による比較結果が電流検出部１１により検出された電流の値が電流閾値未満であることを示す場合は、暫定値算出部２３により算出されたジャンクション温度暫定値をそのままジャンクション温度推定値として出力する。また、推定値算出部２４は、電流比較部２５による比較結果が電流検出部１１により検出された電流の値が電流閾値以上であることを示しかつ不平衡率比較部２６により算出された不平衡率が不平衡率閾値未満であることを示す場合は、暫定値算出部２３により算出されたジャンクション温度暫定値をそのままジャンクション温度推定値として出力する。

[0140] 本開示の第３の実施形態による温度推定装置１及びこれを備えるコンバー

タシステム１００において、電流検出部１１、不平衡率算出部２１、推定値算出部２４、電流比較部２５及び不平衡率比較部２６以外の構成及び動作は、図１を参照して説明した構成及び動作と同様であるので、説明は省略する。

[0141] 図８は、本開示の第３の実施形態による温度推定装置の動作フローを示すフローチャートである。

[0142] 本開示の第３の実施形態による温度推定装置１及びこれを備えるコンバータシステム１００におけるパワー半導体素子の温度推定処理は、コンバータシステム１００が三相交流電源４に接続されて実際に運用されているときに周期的に実行される。

[0143] ステップＳ３０１において、電圧検出部１３は、コンバータ２の三相交流電源４側の端子間電圧の値を検出する。また、図８では図示を省略したが、周囲温度検出部１４は、温度検出素子３５から送られてきた信号に基づいてパワー半導体素子の周囲温度を検出する。

[0144] ステップＳ３０２において、電流検出部１１は、コンバータ２の三相ブリッジ回路３１に設けられたパワー半導体素子に流れる電流の値（コンバータ２に入力される電流の値）を検出する。

[0145] ステップＳ３０３において、電流比較部２５は、電流検出部１１により検出された電流の値と所定の電流閾値とを比較する。ステップＳ３０３において、電流検出部１１により検出された電流の値が電流閾値以上であると判定された場合はステップＳ３０４へ進み、電流検出部１１により検出された電流の値が電流閾値未満であると判定された場合はステップＳ３０９へ進む。

[0146] ステップＳ３０４において、不平衡率算出部２１は、三相交流電源４の不平衡率を算出する。算出する三相交流電源４の不平衡率は、電圧の不平衡率であっても電流の不平衡率であってもよい。

[0147] ステップＳ３０５において、不平衡率比較部２６は、不平衡率算出部２１により算出された不平衡率と所定の不平衡率閾値とを比較する。ステップＳ３０５において、不平衡率算出部２１により算出された不平衡率が不平衡率

閾値以上であると判定された場合はステップS 3 0 6へ進み、不平衡率算出部2 1により算出された不平衡率が不平衡率閾値未満であると判定された場合はステップS 3 0 9へ進む。

[0148] ステップS 3 0 6において、温度補償係数算出部2 2は、不平衡率算出部2 1によって算出された不平衡率を用いて温度補償係数を算出する。

[0149] ステップS 3 0 7において、暫定値算出部2 3は、電流検出部1 1により検出された電流の値とパワー半導体素子の抵抗成分の値と周囲温度検出部1 4により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出する。

[0150] ステップS 3 0 8において、推定値算出部2 4は、暫定値算出部2 3により算出されたジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部2 2により算出された温度補償係数とを乗算して得られる値を、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値として出力する。

[0151] 一方、ステップS 3 0 3において電流検出部1 1により検出された電流の値が電流閾値未満であると判定された場合またはステップS 3 0 5において不平衡率算出部2 1により算出された不平衡率が不平衡率閾値未満であると判定された場合は、ステップS 3 0 9において、暫定値算出部2 3は、電流検出部1 1により検出された電流の値と電圧検出部1 3によって検出された端子間電圧の値と周囲温度検出部1 4により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、パワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出する。

[0152] ステップS 3 1 0において、推定値算出部2 4は、暫定値算出部2 3により算出されたジャンクション温度暫定値を、パワー半導体素子のジャンクション温度推定値として出力する。

[0153] ステップS 3 0 8及びステップS 3 1 0において推定値算出部2 4により算出されたジャンクション温度推定値は、温度比較部1 5へ送られる。また、推定値算出部2 4により算出されたジャンクション温度推定値については、例えば表示部（図示せず）に表示してもよく、音響機器（図示せず）によ

り音声にて出力してもよい。

[0154] ステップS 3 1 1において、温度比較部 1 5は、ジャンクション温度推定部 1 2内の推定値算出部 2 4により算出されたジャンクション温度推定値と所定の温度閾値とを比較する。ステップS 3 1 1において、ジャンクション温度推定値が温度閾値以上であると判定された場合はステップS 3 1 2へ進み、ジャンクション温度推定値が温度閾値未満であると判定された場合はステップS 3 0 1へ戻る。

[0155] ステップS 3 1 2において、アラーム出力部 1 6は、アラームを出力する。

[0156] 上述したステップS 3 0 1～S 3 1 2の処理は、ステップS 3 1 1においてアラーム出力部 1 6によりアラームが出力されるまで、周期的に繰り返し実行される。

[0157] 上述のように、ステップS 3 0 3において電流検出部 1 1により検出された電流の値が電流閾値未満であると判定された場合は、不平衡率算出部 2 1及び温度補償係数算出部 2 2は動作せず、不平衡率算出部 2 1及び温度補償係数算出部 2 2を構成する演算処理装置の計算負荷が軽減される。したがって、本開示の第3の実施形態は第1の実施形態に比べ、演算処理装置の演算処理においてジャンクション温度推定処理が占める割合（例えばCPU使用率）を軽減しつつ、ジャンクション温度推定値の精度を高めることができる。またステップS 3 0 5において不平衡率算出部 2 1により算出された不平衡率が不平衡率閾値未満であると判定された場合は、温度補償係数算出部 2 2は動作せず、温度補償係数算出部 2 2を構成する演算処理装置の計算負荷が軽減される。したがって、本開示の第3の実施形態は第2の実施形態に比べ、演算処理装置の演算処理においてジャンクション温度推定処理が占める割合（例えばCPU使用率）を軽減しつつ、ジャンクション温度推定値の精度を高めることができる。

[0158] 続いて、本開示の第4の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムについて説明する。

- [0159] 本開示の第4の実施形態は、パワー半導体素子に流れる電流の値をコンバータの各相ごとに検出し、最大値の電流が流れるパワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出するものである。
- [0160] 本開示の第4の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムにおける各要素の接続関係は、図1に示す第1の実施形態による温度推定装置及びこれを備えるコンバータシステムにおける各要素の接続関係と同じである。ただし、本開示の第4の実施形態における電流検出部11並びにジャンクション温度推定部12内の暫定値算出部23及び推定値算出部24の各動作は、第1の実施形態における電流検出部11並びにジャンクション温度推定部12内の暫定値算出部23及び推定値算出部24の各動作とは異なる。具体的には次の通りである。
- [0161] 電流検出部11は、コンバータ2の三相ブリッジ回路31のパワー半導体素子に流れる電流の値を、前記コンバータの各相ごとに検出する。すなわち、電流検出部11は、三相ブリッジ回路31の、R相のパワー半導体素子に流れる電流の値、S相のパワー半導体素子に流れる電流の値、及びT相のパワー半導体素子に流れる電流の値を検出する。電流検出部11により検出された各相の電流の値は、暫定値算出部23に送られる。
- [0162] ジャンクション温度推定部12は、電流検出部11により検出された各相の電流の値のうちの最大値に少なくとも基づいて算出したジャンクション温度暫定値と不平衡率とに基づいて、最大値となる電流が流れるパワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出する。ジャンクション温度推定部12内の暫定値算出部23及び推定値算出部24の動作をより詳細に説明すると次の通りである。
- [0163] 暫定値算出部23は、電流検出部11が検出した各相の電流の中から、最大値となる電流の値を特定し、当該最大値となる電流の値と電圧検出部13によって検出された端子間電圧の値と周囲温度検出部14により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、最大値となる電流が流れるパワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出する。

- [0164] 推定値算出部 24 は、暫定値算出部 23 により算出された最大値となる電流が流れるパワー半導体素子のジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部 22 により算出された温度補償係数とを乗算して得られる値を、最大値となる電流が流れるパワー半導体素子のジャンクション温度推定値として出力する。
- [0165] 本開示の第 4 の実施形態による温度推定装置 1 及びこれを備えるコンバータシステム 100 において、電流検出部 11 並びにジャンクション温度推定部 12 内の暫定値算出部 23 及び推定値算出部 24 以外の構成及び動作は、図 1 を参照して説明した構成及び動作と同様であるので、説明は省略する。
- [0166] 図 9 は、本開示の第 4 の実施形態による温度推定装置の動作フローを示すフローチャートである。
- [0167] 本開示の第 4 の実施形態による温度推定装置 1 及びこれを備えるコンバータシステム 100 におけるパワー半導体素子の温度推定処理は、コンバータシステム 100 が三相交流電源 4 に接続されて実際に運用されているときに周期的に実行される。
- [0168] ステップ S401 において、電圧検出部 13 は、コンバータ 2 の三相交流電源 4 側の端子間電圧の値を検出する。また、図 9 では図示を省略したが、周囲温度検出部 14 は、温度検出素子 35 から送られてきた信号に基づいてパワー半導体素子の周囲温度を検出する。
- [0169] ステップ S402 において、電流検出部 11 は、電流検出部 11 は、コンバータ 2 の三相ブリッジ回路 31 のパワー半導体素子に流れる電流の値（コンバータ 2 に入力される各相の電流の値）を、前記コンバータの各相ごとに検出する。電流検出部 11 により検出された各相の電流の値は、暫定値算出部 23 に送られる。
- [0170] ステップ S403 において、暫定値算出部 23 は、電流検出部 11 が検出した各相の電流の中から、最大値となる電流の値を特定する。
- [0171] ステップ S404 において、不平衡率算出部 21 は、三相交流電源 4 の不平衡率を算出する。算出する三相交流電源 4 の不平衡率は、電圧の不平衡率

であっても電流の不均衡率であってもよい。

[0172] ステップS 4 0 5において、温度補償係数算出部 2 2は、不平衡率算出部 2 1によって算出された不平衡率を用いて温度補償係数を算出する。

[0173] なお、ステップS 4 0 3における処理とステップS 4 0 4及びS 4 0 5における処理とは、順序を入れ替えて実行してもよい。

[0174] ステップS 4 0 6において、暫定値算出部 2 3は、ステップS 4 0 3で特定した最大値となる電流の値とパワー半導体素子の抵抗成分の値と周囲温度検出部 1 4により検出されたパワー半導体素子の周囲温度とに基づいて、最大値となる電流が流れるパワー半導体素子のジャンクション温度暫定値を算出する。

[0175] ステップS 4 0 7において、推定値算出部 2 4は、暫定値算出部 2 3により算出された最大値となる電流が流れるパワー半導体素子のジャンクション温度暫定値と温度補償係数算出部 2 2により算出された温度補償係数とを乗算して得られる値を、最大値となる電流が流れるパワー半導体素子のパワー半導体素子のジャンクション温度推定値として出力する。ステップS 4 0 7において推定値算出部 2 4により算出されたジャンクション温度推定値は、温度比較部 1 5へ送られる。また、推定値算出部 2 4により算出されたジャンクション温度推定値については、例えば表示部（図示せず）に表示してもよく、音響機器（図示せず）により音声にて出力してもよい。

[0176] ステップS 4 0 8において、温度比較部 1 5は、ジャンクション温度推定部 1 2内の推定値算出部 2 4により算出されたジャンクション温度推定値と所定の温度閾値とを比較する。ステップS 4 0 8において、ジャンクション温度推定値が温度閾値以上であると判定された場合はステップS 4 0 9へ進み、ジャンクション温度推定値が温度閾値未満であると判定された場合はステップS 4 0 1へ戻る。

[0177] ステップS 4 0 9において、アラーム出力部 1 6は、アラームを出力する。

[0178] 上述したステップS 4 0 1～S 4 0 9の処理は、ステップS 4 0 8におい

てアラーム出力部 16 によりアラームが出力されるまで、周期的に繰り返し実行される。

[0179] 三相ブリッジ回路 31 において、最大の電流が流れる相に設けられるパワー半導体素子は発熱が最も大きくなり破損の可能性が高く寿命も短縮される可能性が高い。本開示の第 4 の実施形態によれば、最大値となる電流流れるパワー半導体素子のジャンクション温度推定値に基づいてアラームの出力の有無が決定されるので、より確実にパワー半導体素子を過熱から保護することができ、パワー半導体素子の破損及び寿命短縮の可能性を低減することができる。

[0180] 第 1 ～第 4 の実施形態による温度推定装置 1 内には、演算処理装置（プロセッサ）が設けられる。この演算処理装置は、上述した電流検出部 11、ジャンクション温度推定部 12、電圧検出部 13、周囲温度検出部 14、温度比較部 15、及びアラーム出力部 16 を有する。演算処理装置が有するこれらの各部は、例えば、プロセッサ上で実行されるコンピュータプログラムにより実現される機能モジュールである。例えば、電流検出部 11、ジャンクション温度推定部 12、電圧検出部 13、周囲温度検出部 14、温度比較部 15、及びアラーム出力部 16 をコンピュータプログラム形式で構築する場合は、演算処理装置をこのコンピュータプログラムに従って動作させることで、各部の機能を実現することができる。電流検出部 11、ジャンクション温度推定部 12、電圧検出部 13、周囲温度検出部 14、温度比較部 15、及びアラーム出力部 16 の各処理を実行するためのコンピュータプログラムは、半導体メモリ、磁気記録媒体または光記録媒体といった、コンピュータ読取可能な記録媒体に記録された形で提供されてもよい。またあるいは、電流検出部 11、ジャンクション温度推定部 12、電圧検出部 13、周囲温度検出部 14、温度比較部 15、及びアラーム出力部 16 を、各部の機能を実現するコンピュータプログラムを書き込んだ半導体集積回路として実現してもよい。

符号の説明

- [0181]
- 1 温度推定装置
 - 2 コンバータ
 - 3 コンバータ制御装置
 - 4 三相交流電源
 - 5 インバータ
 - 6 モータ
 - 1 1 電流検出部
 - 1 2 ジャンクション温度推定部
 - 1 3 電圧検出部
 - 1 4 周囲温度検出部
 - 1 5 温度比較部
 - 1 6 アラーム出力部
 - 2 1 不平衡率算出部
 - 2 2 温度補償係数算出部
 - 2 3 暫定値算出部
 - 2 4 推定値算出部
 - 2 5 電流比較部
 - 2 6 不平衡率比較部
 - 3 1 三相ブリッジ回路
 - 3 2 平滑コンデンサ
 - 3 3 DCリンクコンデンサ
 - 3 4 予備充電回路
 - 3 5 温度検出素子
 - 4 1 スイッチング制御部
 - 4 2 DCリンク部電圧検出部

請求の範囲

- [請求項1] 三相交流電源側の交流電力と直流側における直流電力との間で電力変換を行うコンバータに設けられたパワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出する温度推定装置であって、
- 前記パワー半導体素子に流れる電流の値を検出する電流検出部と、
- 前記電流検出部により検出された前記電流の値に少なくとも基づいて算出したジャンクション温度暫定値と前記コンバータに接続される前記三相交流電源の不均衡率とに基づいて、前記パワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出するジャンクション温度推定部と、
- を備える、温度推定装置。
- [請求項2] 前記ジャンクション温度推定部は、
- 前記不均衡率を算出する不均衡率算出部と、
- 前記不均衡率に基づいて温度補償係数を算出する温度補償係数算出部と、
- 前記ジャンクション温度暫定値を算出する暫定値算出部と、
- 前記ジャンクション温度暫定値と前記温度補償係数とを乗算して得られる値を、前記ジャンクション温度推定値として出力する推定値算出部と、
- を有する、請求項1に記載の温度推定装置。
- [請求項3] 前記暫定値算出部は、前記電流検出部により検出された前記電流の値と前記パワー半導体素子の抵抗成分の値とに少なくとも基づいて、前記ジャンクション温度暫定値を算出する、請求項2に記載の温度推定装置。
- [請求項4] 前記パワー半導体素子の周囲温度を検出する周囲温度検出部をさらに備え、
- 前記暫定値算出部は、前記電流検出部により検出された前記電流の値と前記周囲温度とに少なくとも基づいて、前記ジャンクション温度暫定値を算出する、請求項2または3に記載の温度推定装置。

[請求項5] 前記コンバータの三相交流電源側の端子間電圧の値を検出する電圧検出部をさらに備え、

前記不平衡率算出部は、前記電圧検出部によって検出された前記端子間電圧の値に基づいて前記不平衡率を算出する、請求項2に記載の温度推定装置。

[請求項6] 前記不平衡率算出部は、前記電流検出部によって検出された前記電流の値に基づいて前記不平衡率を算出する、請求項2に記載の温度推定装置。

[請求項7] 前記ジャンクション温度推定部は、前記電流検出部によって検出された前記電流の値と所定の電流閾値とを比較する電流比較部をさらに有し、

前記推定値算出部は、前記電流検出部により検出された前記電流の値が前記電流閾値以上である場合は、前記ジャンクション温度暫定値と前記温度補償係数とを乗算して得られる値を前記ジャンクション温度推定値として出力し、前記電流検出部により検出された前記電流の値が前記電流閾値未満である場合は、前記ジャンクション温度暫定値を前記ジャンクション温度推定値として出力する、請求項2～6のいずれか一項に記載の温度推定装置。

[請求項8] 前記ジャンクション温度推定部は、前記電流検出部によって検出された前記電流の値と所定の電流閾値とを比較する電流比較部と、前記不平衡率と所定の不平衡率閾値とを比較する不平衡率電流比較部と、をさらに有し、

前記推定値算出部は、前記電流検出部により検出された前記電流の値が前記電流閾値以上かつ前記不平衡率が前記不平衡率閾値以上である場合は、前記ジャンクション温度暫定値と前記温度補償係数とを乗算して得られる値を前記ジャンクション温度推定値として出力し、前記電流検出部により検出された前記電流の値が前記電流閾値未満である場合または前記電流検出部により検出された前記電流の値が前記電

流閾値以上かつ前記不平衡率が前記不平衡率閾値未満である場合は、前記ジャンクション温度暫定値を前記ジャンクション温度推定値として出力する、請求項 2 ～ 6 のいずれか一項に記載の温度推定装置。

[請求項9] 前記電流検出部は、前記パワー半導体素子に流れる電流の値を、前記コンバータの各相ごとに検出し、

前記ジャンクション温度推定部は、前記電流検出部により検出された各相の前記電流の値のうちの最大値に少なくとも基づいて算出したジャンクション温度暫定値と前記不平衡率とに基づいて、前記最大値となる電流が流れる前記パワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出する、請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載の温度推定装置。

[請求項10] 前記ジャンクション温度推定部により算出された前記ジャンクション温度推定値と所定の温度閾値とを比較する温度比較部と、

前記ジャンクション温度推定値が前記温度閾値以上である場合、アラームを出力するアラーム出力部と、
をさらに備える、請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の温度推定装置。

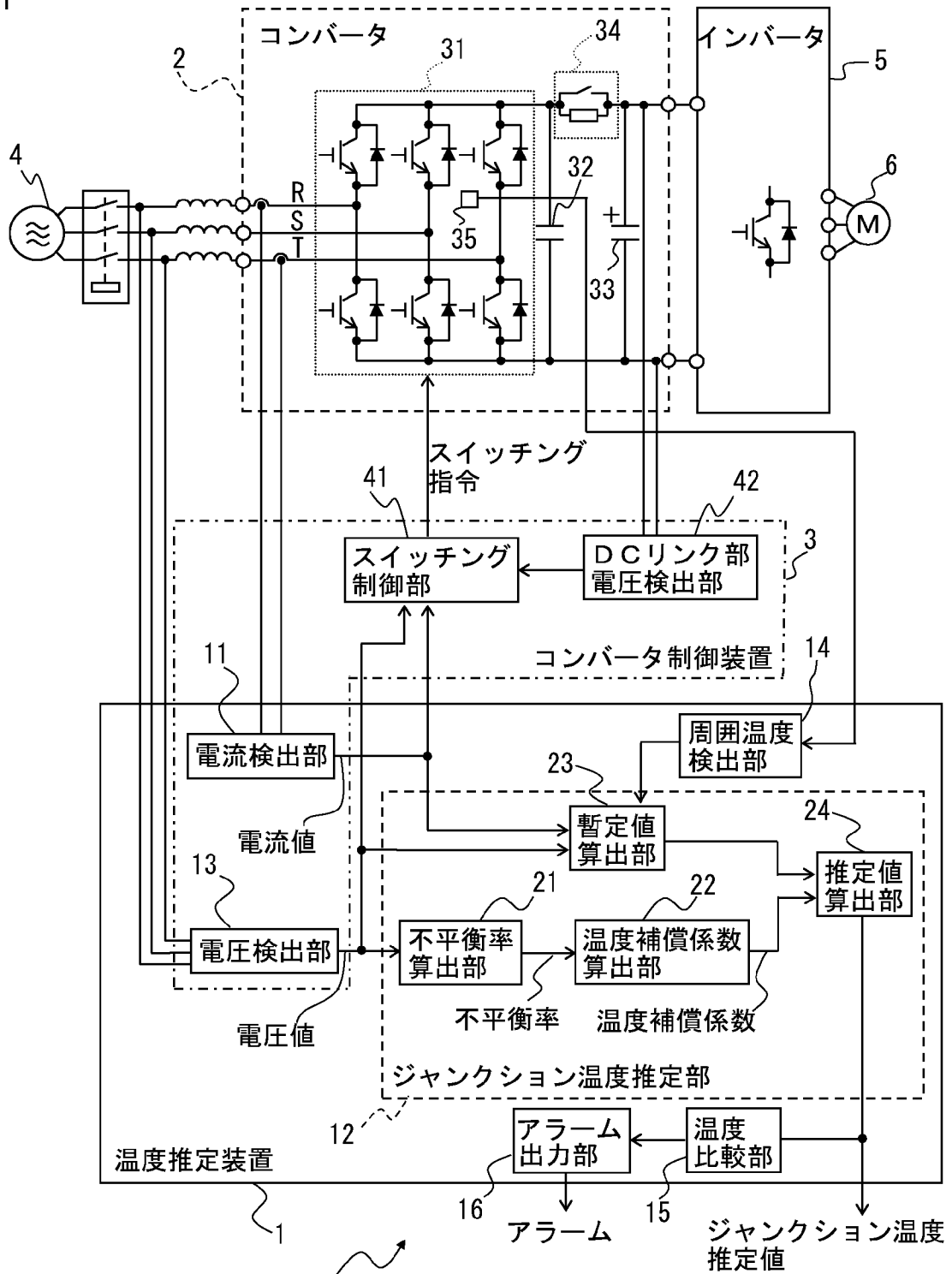
[請求項11] 請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の温度推定装置と、

前記パワー半導体素子が設けられ、前記パワー半導体素子がオンオフ動作することにより三相交流電源側の交流電力と直流側における直流電力との間で電力変換を行う前記コンバータと、
を備え、

前記ジャンクション温度推定部は、前記パワー半導体素子のジャンクション温度推定値を算出する、コンバータシステム。

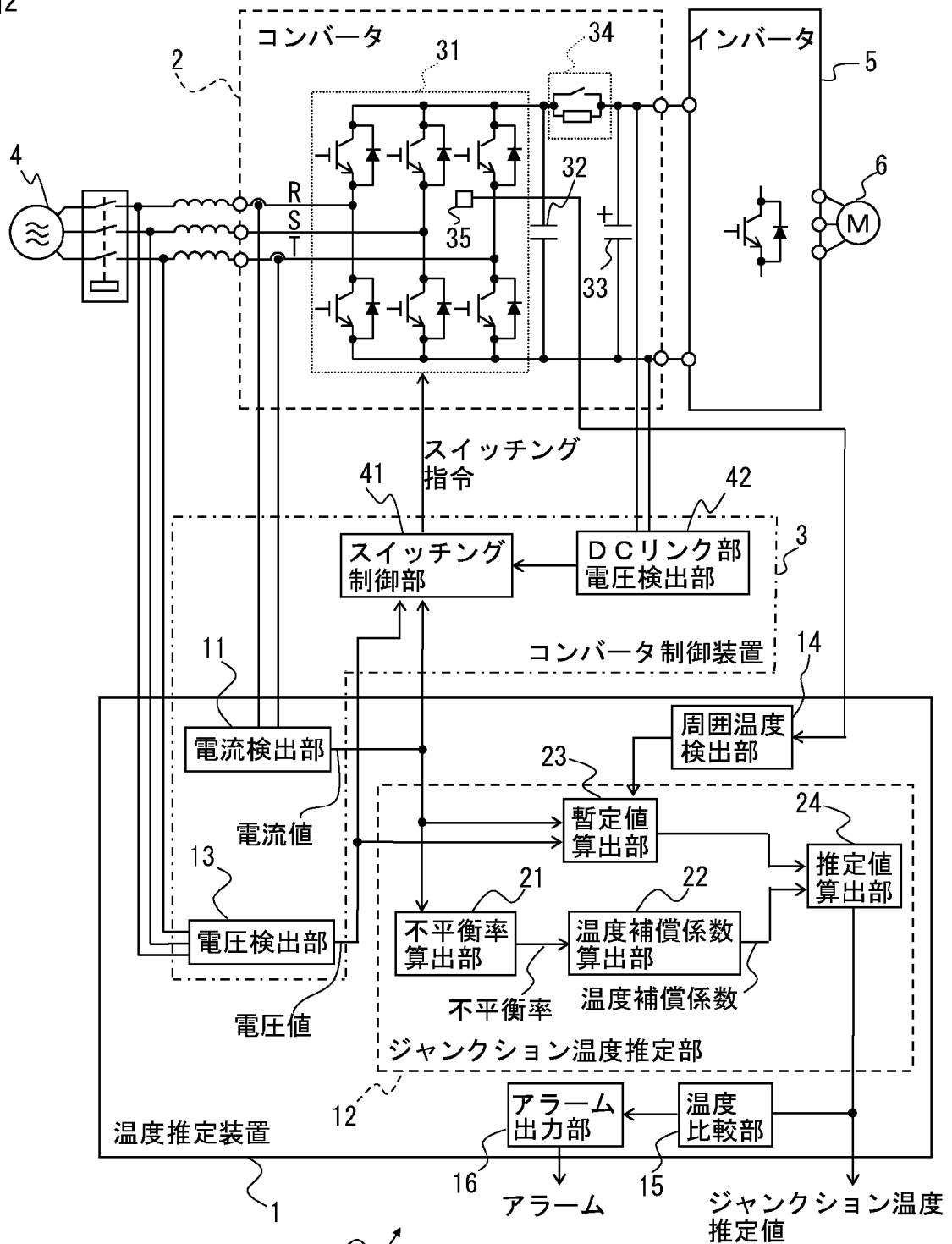
[図1]

図1



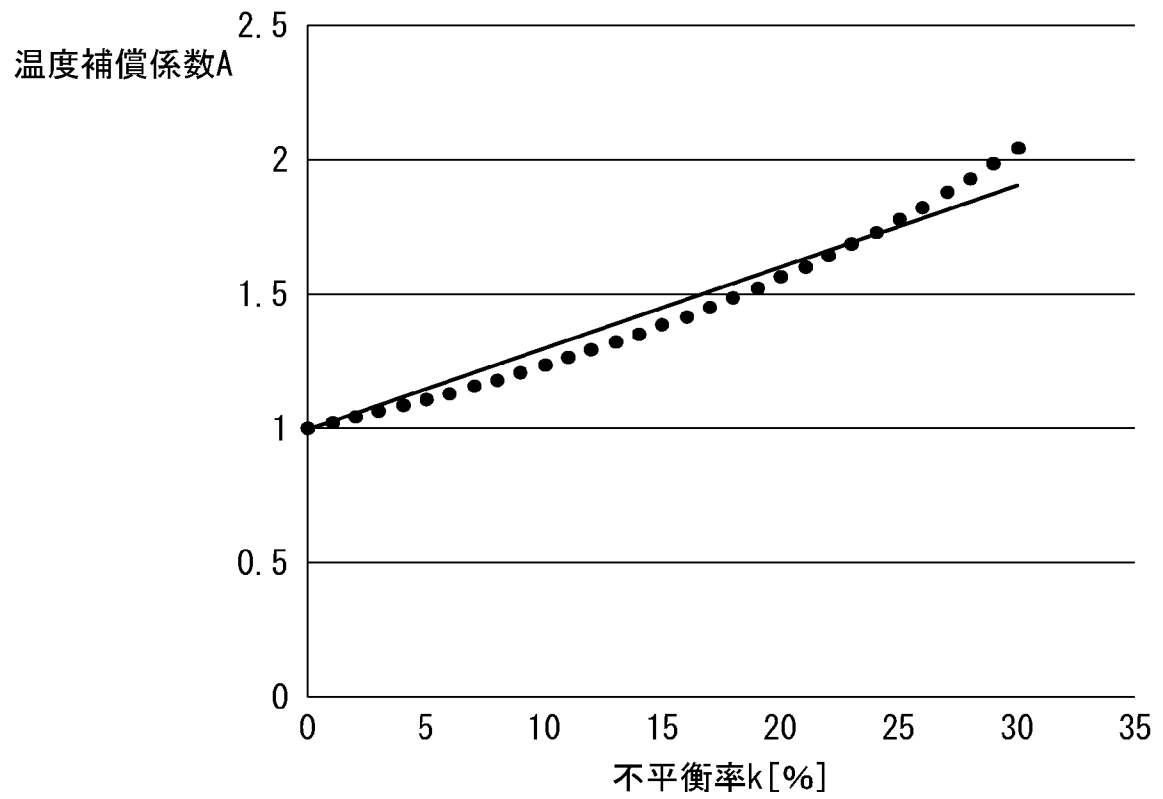
[図2]

図2



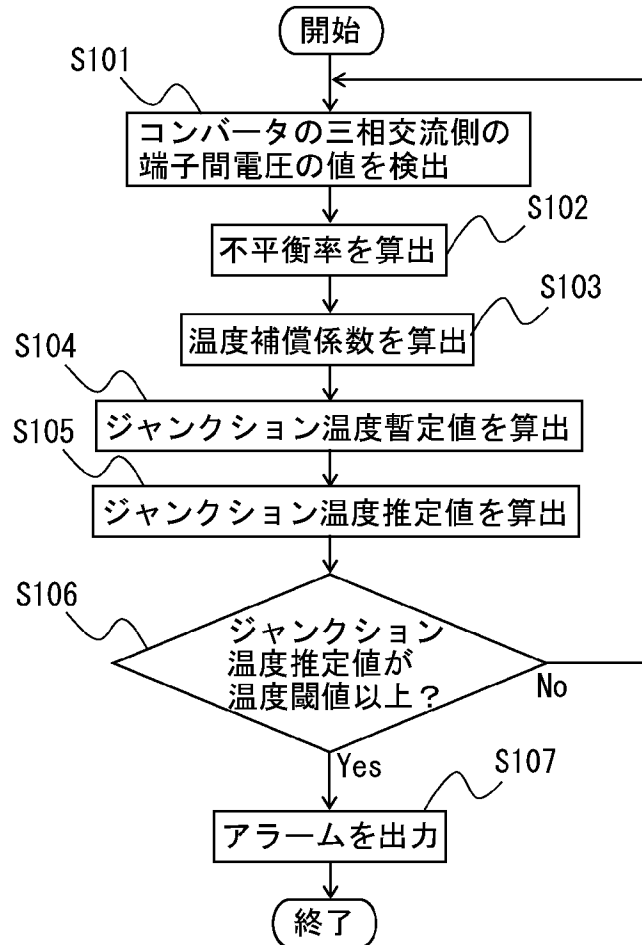
[図3]

図3



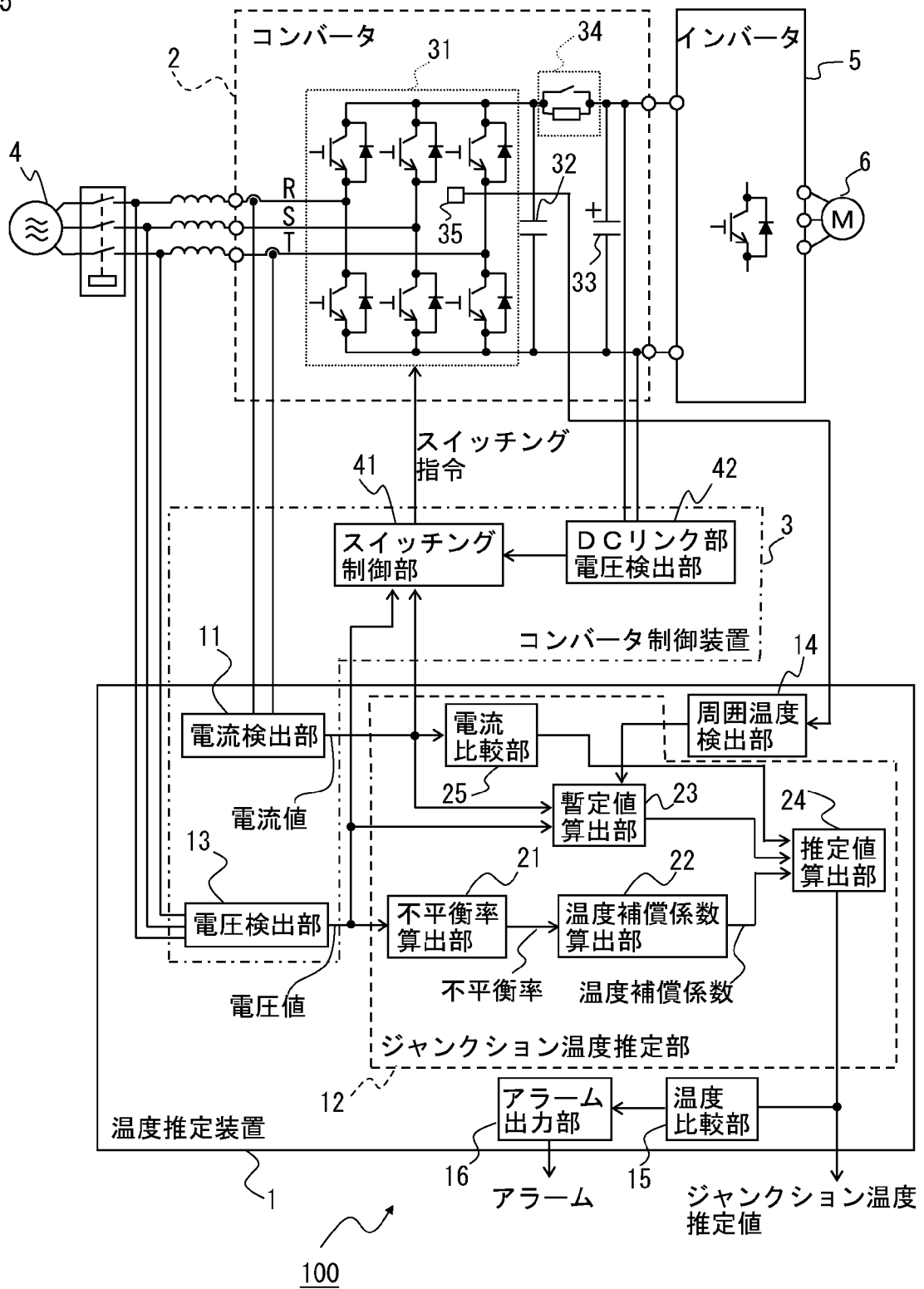
[図4]

図4



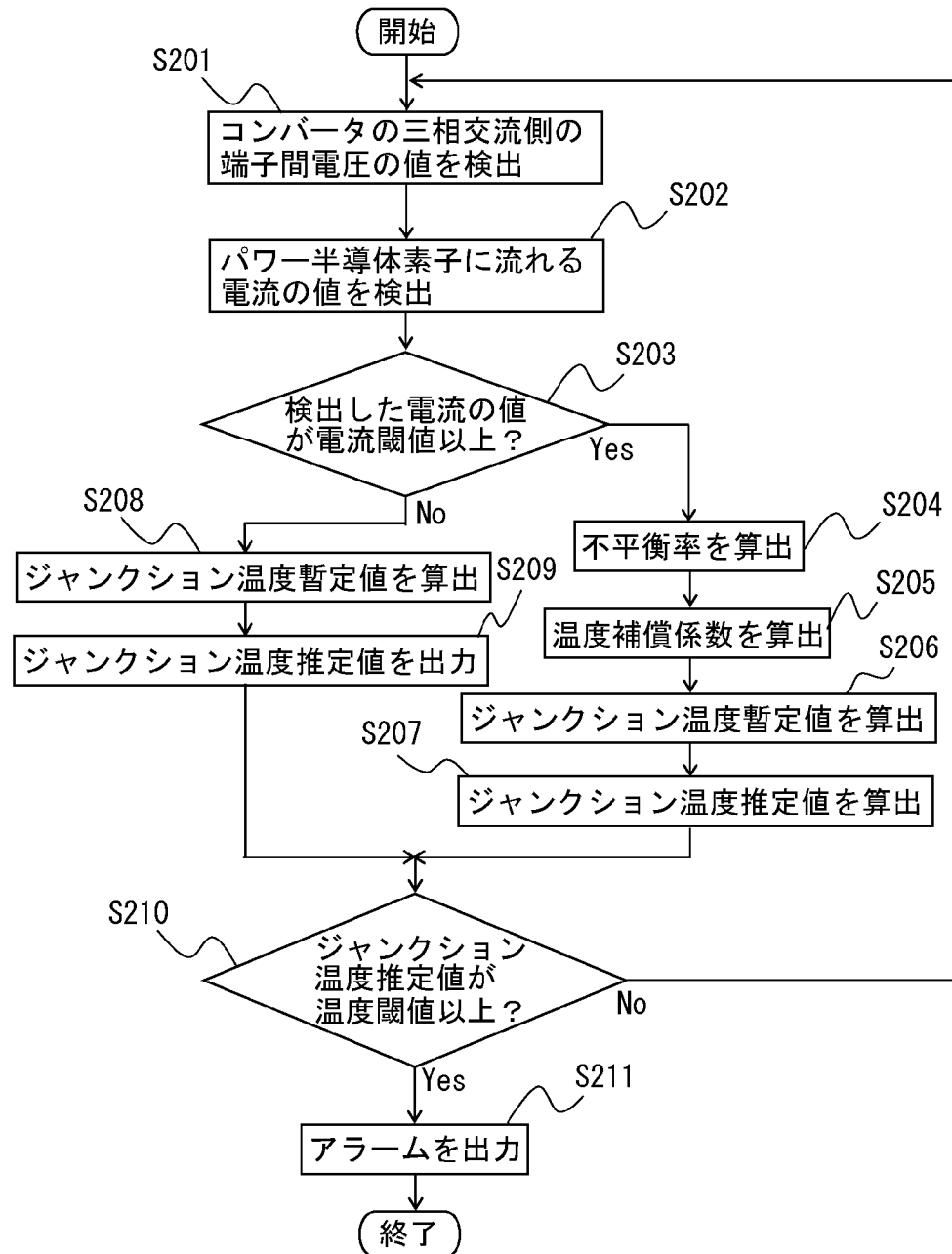
[図5]

図5



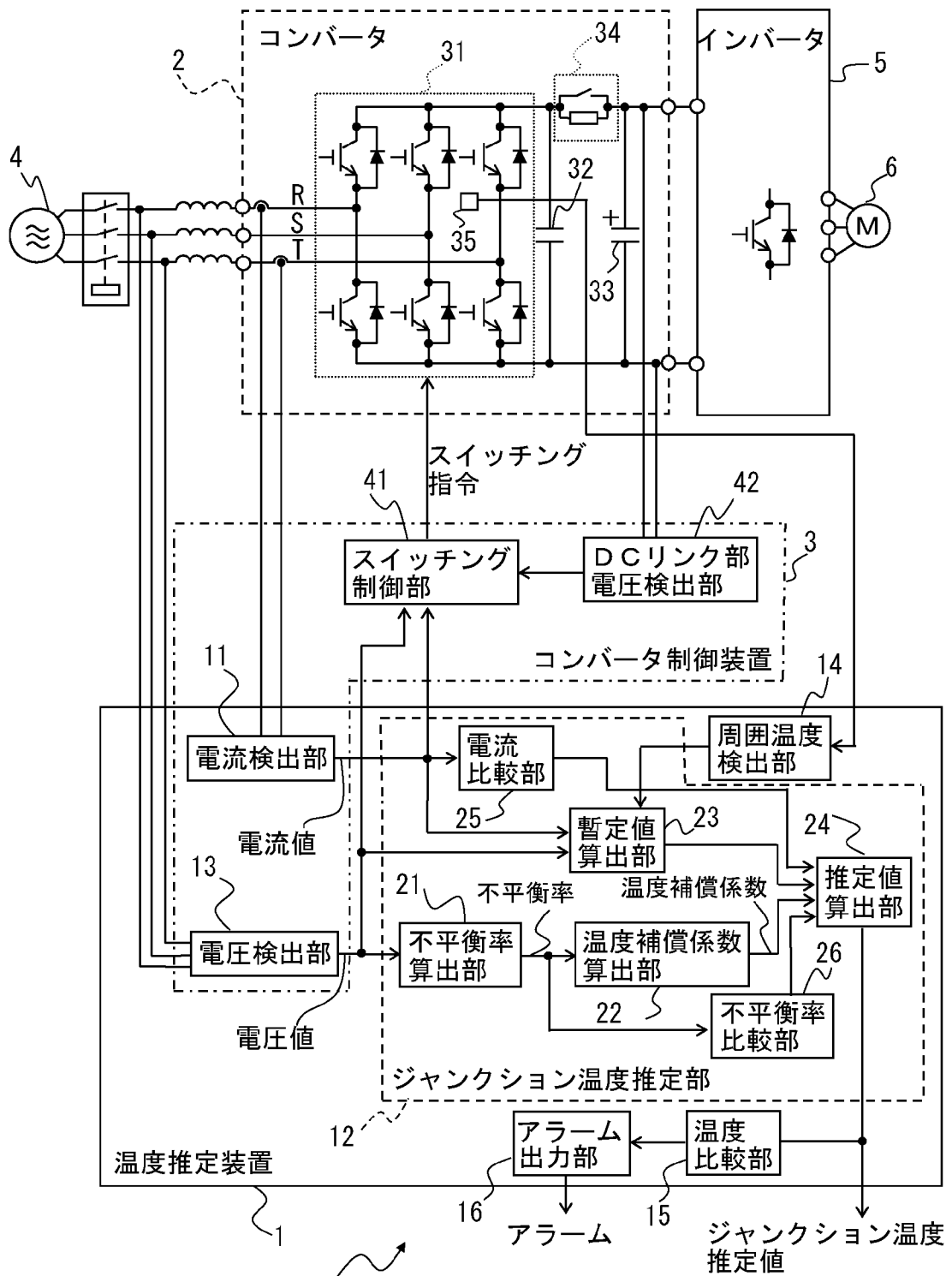
[図6]

図6



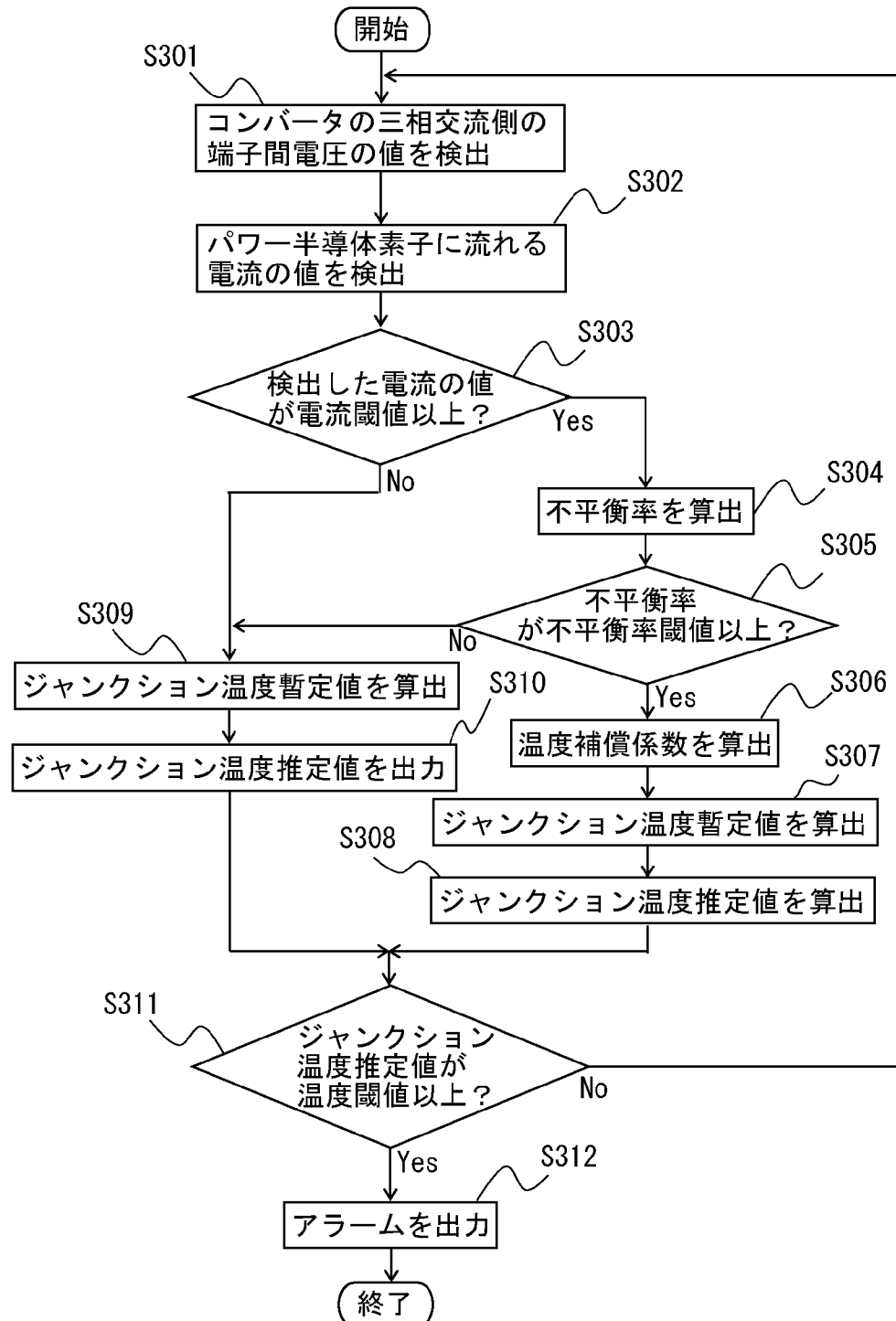
[図7]

図7



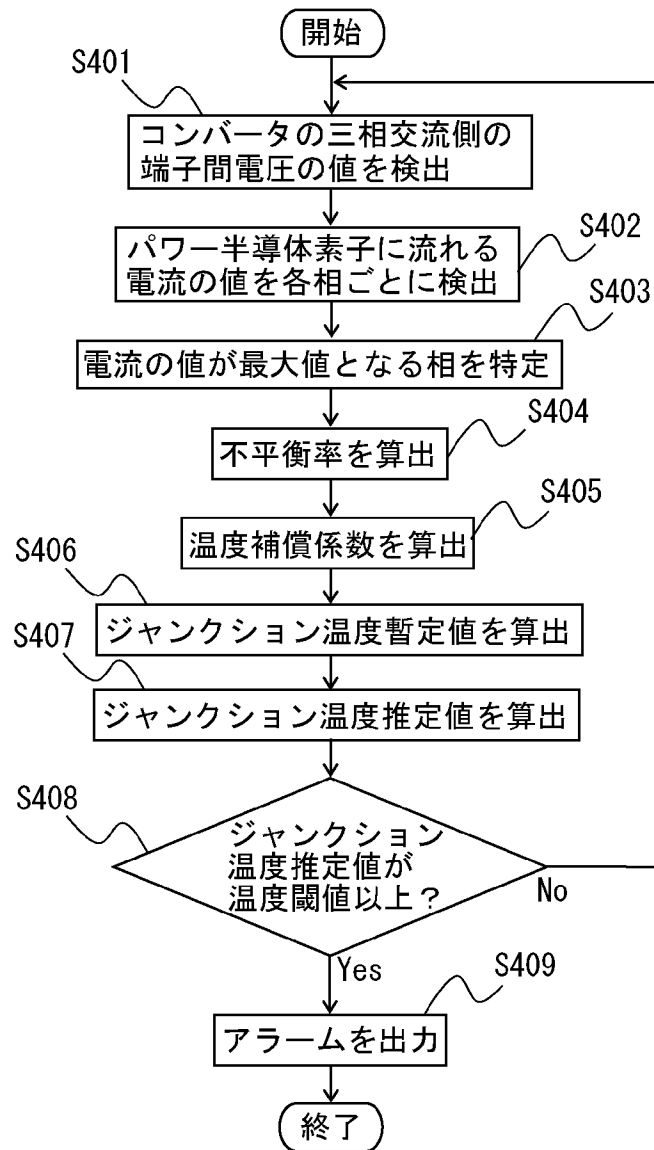
[図8]

図8



[図9]

図9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/019067

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M 7/12(2006.01)i

FI: H02M7/12 Z

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02M7/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2016/170584 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 27 October 2016 (2016-10-27) paragraphs [0012]-[0015], fig. 2-3	1-11
A	JP 2013-201870 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 03 October 2013 (2013-10-03) paragraphs [0015]-[0016], [0028], [0041]-[0053], fig. 1, 5	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 July 2021 (14.07.2021)

Date of mailing of the international search report

27 July 2021 (27.07.2021)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/019067

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2016/170584 A1	27 Oct. 2016	(Family: none)	
JP 2013-201870 A	03 Oct. 2013	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02M 7/12(2006.01)i FI: H02M7/12 Z														
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H02M7/12 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2021年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年													
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	WO 2016/170584 A1（三菱電機株式会社）27.10.2016（2016 - 10 - 27） 段落 [0012] - [0015]，図2 - 3	1-11												
A	JP 2013-201870 A（三菱電機株式会社）03.10.2013（2013 - 10 - 03） 段落 [0015] - [0016]，[0028]，[0041] - [0053]，図1，5	1-11												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 14.07.2021	国際調査報告の発送日 27.07.2021													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 宮本 秀一 5G 3357 電話番号 03-3581-1101 内線 3568													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/019067

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2016/170584	A1	27.10.2016	(ファミリーなし)	
JP	2013-201870	A	03.10.2013	(ファミリーなし)	