(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2017-123750
(P2017-123750A)
(43)公開日　平成29年7月13日(2017.7.13)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H02M	***7/48***	***(2007.01)***	H02M	7/48	M	5H730
H02M	***3/155***	***(2006.01)***	H02M	3/155	Y	5H770
			H02M	3/155	C	

審査請求 未請求　請求項の数 13　ＯＬ　（全 17 頁）

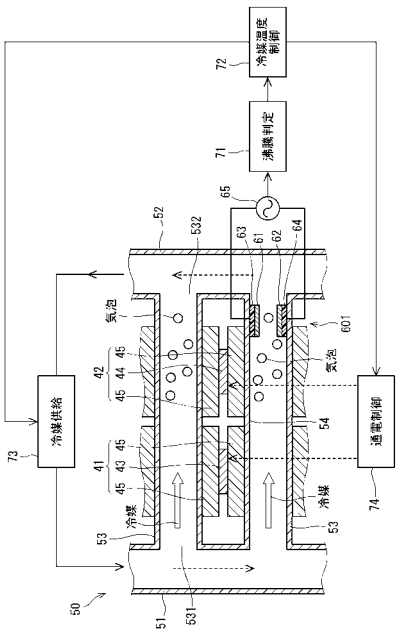
(21)出願番号　特願2016-2383(P2016-2383)
(22)出願日　平成28年1月8日(2016.1.8)

(71)出願人　000004260
株式会社デンソー
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地
(74)代理人　100093779
弁理士　服部　雅紀
(72)発明者　本田　智之
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地　株式会社デンソー内
(72)発明者　杉浦　崇之
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地　株式会社デンソー内
(72)発明者　渡辺　直樹
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地　株式会社デンソー内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】電力変換装置

(57)【要約】
【課題】　冷却管を流れる冷媒の冷却能力を適確に把握可能な電力変換装置を提供する。
【解決手段】　電力変換装置は、複数のパワー素子のスイッチング動作により電力を変換して出力する電力変換器の他に、冷却器５０、相検出手段６０１、及び沸騰判定部７１を備える。冷却器５０は、複数のパワー素子４３、４４の通電により発熱した電力変換器を冷媒の循環により冷却する。相検出手段６０１は、冷却器５０の冷却管５３を流れる冷媒の「液相状態と気相状態との差異が反映される所定の物理量」として、一対の電極６１、６２間の電位差を検出する。沸騰判定部７１は、相検出手段６０１が検出した電位差に基づいて、冷却管５３を流れる冷媒が沸騰していることを判定する。冷媒の温度ではなく、液相状態から気相状態への変化によって冷媒の冷却能力を把握することにより、冷却管５３を流れる冷媒の冷却能力を適確に把握することができる。
【選択図】図４



【特許請求の範囲】
【請求項１】
複数のパワー素子（４３、４４）のスイッチング動作により電力を変換して出力する一つ以上の電力変換器（３０、３１、３２）と、
前記複数のパワー素子の通電により発熱した前記電力変換器を冷媒の循環により冷却する冷却器（５０、５６）と、
前記冷却器の冷却管（５３、５７）を流れる冷媒の液相状態と気相状態との差異が反映される所定の物理量を検出する相検出手段（６０１、６０２、６０３）と、
前記相検出手段が検出した物理量に基づいて、前記冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定する沸騰判定部（７１）と、
を備える電力変換装置。
【請求項２】
前記相検出手段は、前記冷却管の流入口（５３１）側と流出口（５３２）側との中心に対し流出口（５３２）側に配置されている請求項１に記載の電力変換装置。
【請求項３】
前記パワー素子は、熱伝導性を有するヒートスプレッダ（４５）が少なくとも一方の面に当接したパワーモジュール（４１、４２、４７、４８）の形態で構成されており、
前記相検出手段は、前記冷却管における前記パワーモジュールの流出口側の端部に対応する領域に配置されている請求項２に記載の電力変換装置。
【請求項４】
前記パワー素子は、熱伝導性を有するヒートスプレッダ（４５）が両面に当接したパワーモジュール（４１、４２）の形態で構成されており、
前記冷却器（５０）は、
複数の前記パワーモジュールと交互に積層配置された複数の前記冷却管（５３）と、
積層方向の一方である導入側から他方である反導入側に向かって冷媒が流れ、複数の前記冷却管の流入口に冷媒を導入する冷媒導入管（５１）と、
複数の前記冷却管の流出口から冷媒を導出する冷媒導出管（５２）と、
を有する請求項１～３のいずれか一項に記載の電力変換装置。
【請求項５】
前記相検出手段は、前記電力変換器毎に、積層方向における前記冷媒導入管の導入側と反導入側との中心に対し反導入側に配置されている請求項４に記載の電力変換装置。
【請求項６】
前記電力変換器は、
直流電源（１５）に入出力される電圧を変圧するコンバータ（３０）、発電機（８１）が発電した交流電力を直流電力に変換し前記コンバータを介して前記直流電源に回生する回生用インバータ（３１）、及び、前記コンバータが出力した直流電力を交流電力に変換し負荷（８２）に供給する力行用インバータ（３２）を含み、
前記相検出手段は、前記コンバータ、前記回生用インバータ及び前記力行用インバータに対して各一つ以上設けられている請求項１～５のいずれか一項に記載の電力変換装置。
【請求項７】
前記相検出手段（６０１）は、前記冷却管内部で対向する一対の電極（６１、６２）間の電位差を検出し、
前記沸騰判定部は、電位差から算出した電気容量、又は、当該電気容量に反比例するインピーダンスに基づいて、前記冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定する請求項１～６のいずれか一項に記載の電力変換装置。
【請求項８】
前記一対の電極は、前記冷却管内部の互いに対向する流路壁（５４、５８）に、一対の絶縁板（６３、６４）を介して設けられている請求項７に記載の電力変換装置。
【請求項９】
前記相検出手段（６０２）は、超音波発生装置（６７）により冷媒中に発生させた超音

波の反射波を検出し、
前記沸騰判定部は、超音波の発信から反射波の受信までの時間に基づいて、前記冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定する請求項１～６のいずれか一項に記載の電力変換装置。
【請求項１０】
前記相検出手段（６０３）は、光ファイバプローブ（６８）から冷媒中に放射した光の反射波を検出し、
前記沸騰判定部は、放射された光の屈折率に基づいて、前記冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定する請求項１～６のいずれか一項に記載の電力変換装置。
【請求項１１】
前記沸騰判定部により冷媒が沸騰していると判定されたとき、前記冷却管を流れる冷媒の温度を低下させる降温制御を実行する冷媒温度制御部（７２）をさらに備える請求項１～１０のいずれか一項に記載の電力変換装置。
【請求項１２】
前記冷媒温度制御部は、
前記降温制御において、前記冷媒を供給する冷媒供給部（７３）に対して冷媒の流量を増加するように、或いは、前記パワー素子に通電する電流を制御する通電制御部（７４）に対して電流を制限するように降温指令を出力する請求項１１に記載の電力変換装置。
【請求項１３】
前記相検出手段（６０１）は、冷媒中に設けた対向する一対の電極間（６１、６２）の電位差を検出し、前記沸騰判定部は、電位差から算出した電気容量に反比例するインピーダンスに基づいて沸騰を判定するものであり、
前記冷媒温度制御部は、
前記沸騰判定部によりインピーダンスが第１閾値を超えていると判定された状態が所定時間にわたって継続したとき、前記降温制御を開始し、
インピーダンスが前記第１閾値よりも低い第２閾値以下に低下したとき前記降温制御を終了する請求項１１または１２に記載の電力変換装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、冷却器を備え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器を備えた電力変換装置において、パワー電流の導通又は遮断を切り替える半導体スイッチング素子（以下、「パワー素子」）等の素子を過熱から保護する技術が知られている。例えば特許文献１には、発熱部品であるパワー素子のジャンクション温度を推定し、推定温度が許容上限値を超えないように電流を制限する過熱保護装置が開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２０１４－６４４３５号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
特許文献１の過熱保護制御装置では、ヒートシンクの温度を検出してパワー素子の温度を推定している。例えば内部に冷媒が流れる液冷ヒートシンクを用いる構成では、冷媒の温度を検出することも想定される。
しかし、冷媒温度センサは、スペースや配線の制約のため、電力変換装置の筐体外部の流路等に設置される場合が通常であり、パワー素子の直近における冷媒の最高温度を直接

検出することは困難である。したがって、離れた箇所での検出温度から冷媒の最高温度を推定することになるため、推定誤差が生じる。そして、過熱保護の観点から誤差を安全側で吸収しようとすると、温度マージンを大きく設定せざるを得ない。

【０００５】

その結果、実際には許容範囲である場合にもパワー素子が過熱していると判断し、不要な冷媒流量増加や電流制限等による降温制御を実施することとなる。不要な降温制御の実施は、冷媒流量を増加させるための冷却システムの大型化や電力効率の低下を招くという問題がある。この問題は、そもそも、冷媒の冷却能力を温度によって把握しようとする思想に起因するものと考えられる。

【０００６】

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、冷却管を流れる冷媒の冷却能力を適確に把握可能な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、一つ以上の電力変換器（３０、３１、３２）、冷却器（５０、５６）、相検出手段（６０１、６０２、６０３）、及び、沸騰判定部（７１）を備える。

電力変換器は、複数のパワー素子（４３、４４）のスイッチング動作により電力を変換して出力する。電力変換器は、例えば、コンバータ、回生用インバータ及び力行用インバータを含む。

冷却器は、複数のパワー素子の通電により発熱した電力変換器を冷媒の循環により冷却する。

相検出手段は、冷却器の冷却管（５３、５７）を流れる冷媒の液相状態と気相状態との差異が反映される所定の物理量を検出する。

沸騰判定部は、相検出手段が検出した物理量に基づいて、冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定する。

【０００８】

一般に物質が液相状態から気相状態に相変化すると熱伝導率が急激に小さくなるため、冷媒の冷却能力は著しく低下する。本発明は、この点に着目し、冷媒の温度ではなく、液相状態から気相状態への変化によって冷媒の冷却能力を把握することを特徴とし、その手段として、相検出手段及び沸騰判定部を備える。相検出手段は、「冷却管を流れる冷媒の液相状態と気相状態との差異が反映される所定の物理量」を検出する。沸騰判定部は、相検出手段が検出した物理量に基づいて、冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定する。これにより、冷却管を流れる冷媒の冷却能力を適確に把握することができる。

【０００９】

相検出手段及び沸騰判定部として、具体的には次の構成等を採用可能である。

（ａ）相検出手段（６０１）は、冷却管内部で対向する一対の電極（６１、６２）間の電位差を検出する。沸騰判定部は、電位差から算出した冷媒の電気容量、又は、当該電気容量に反比例するインピーダンスに基づいて、冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定する。

（ｂ）相検出手段（６０２）は、超音波発生装置（６７）により冷媒中に発生させた超音波の反射波を検出する。沸騰判定部は、超音波の発信から反射波の受信までの時間に基づいて、冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定する。

（ｃ）相検出手段（６０３）は、光ファイバプローブ（６８）から冷媒中に放射した光の反射波を検出する。沸騰判定部は、放射された光の屈折率に基づいて、冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定する。

【００１０】

本発明の電力変換装置は、沸騰判定部により冷媒が沸騰していると判定されたとき、冷媒の温度を低下させる「降温制御」を実行する冷媒温度制御部（７２）をさらに備えることが好ましい。冷媒温度制御部は、降温制御において、例えば、冷媒を供給する冷媒供給

部（７３）に対して冷媒の流量を増加するように、或いは、パワー素子に通電する電流を制御する通電制御部（７４）に対して電流を制限するように降温指令を出力する。

【００１１】

冷媒温度により冷媒の冷却能力を把握する従来技術では、推定誤差を考慮した温度マージンの設定により、実際の冷媒温度が閾値より低いときでも不要な降温制御を行う場合がある。そのため、冷却システムの大型化や電力効率の低下を招くという問題がある。

それに対し本発明では、冷媒が実際に相変化した状態で検出された物理量に基づいて、冷却管を流れる冷媒が沸騰していることを判定し、その判定タイミングで初めて降温制御を開始する。したがって、液冷が可能な温度の限界まで、冷媒流量を増加させたり電流を制限したりすることなく、通常の制御を継続することができる。よって、冷却システムの小型化や効率の向上に貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】第１実施形態の電力変換装置の平面図。

【図２】（ａ）図１のＩＩ－ＩＩ線断面図。（ｂ）冷媒温度の変化を示す図。

【図３】第１実施形態の電力変換装置の回路図。

【図４】第１実施形態の冷却器の模式断面図。

【図５】第１実施形態の降温制御によるインピーダンス変化を示すタイムチャート。

【図６】第１実施形態の降温制御処理を示すフローチャート。

【図７】第２、第３実施形態の冷却器の模式断面図。

【図８】第４実施形態の冷却器の（ａ）平面図、（ｂ）模式断面図。

【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において高圧バッテリとモータジェネレータとの間で電力を変換する電力システムに適用される。複数の実施形態において実質的に同一の構成には、同一の符号を付して説明を省略する。

【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。

図１及び図２（ａ）に、第１実施形態の電力変換装置を構成する冷却器５０を示す。

冷却器５０は、略平行に配置された冷媒導入管５１及び冷媒導出管５２と、冷媒導入管５１及び冷媒導出管５２に交差する方向に配置された複数の冷却管５３とから構成されている。アルミニウム等の熱伝導性材料で扁平筒状に形成された複数の冷却管５３は、複数のパワーモジュール４１、４２と交互に積層配置されている。

なお、冷却器５０の筐体、バスバー、端子等の図示は、一部を除いて省略する。

【００１５】

冷媒導入管５１は、積層方向の一方である導入側（すなわち図１の上側）から他方である反導入側（すなわち図１の下側）に向かって冷媒が流れ、複数の冷却管５３の流入口に冷媒を導入する。

冷媒導出管５２は、複数の冷却管５３の流出口から冷媒を導出する。

図１の紙面上の向きで説明すると、冷媒は、図１の左上から冷媒導入管５１を下向きに流れ、複数の冷却管５３に分岐して、左から右に流れ、冷媒導出管５２に合流する。そして、図１の右上に向かって冷媒導出管５２を上向きに流れる。

【００１６】

本明細書では、負荷の駆動等に用いられるパワー電流が通電されるＩＧＢＴ等の半導体スイッチング素子を「パワー素子」という。また、パワー素子の半導体チップの両面又は片面に熱伝導性を有するヒートスプレッダ４５（図４参照）が当接した形態のモジュールを「パワーモジュール」という。

パワー素子及びパワーモジュールの符号は、電力変換器の上アームを構成するものと、

下アームを構成するものとで区別する。上アームのパワー素子の符号を「４３」、下アームのパワー素子の符号を「４４」とする。また、上アームのパワー素子４３を含むパワーモジュールの符号を「４１」、下アームのパワー素子４４を含むパワーモジュールの符号を「４２」とする。これらの符号は、電力変換器の種類及び相によらず共通に用いる。

【００１７】

上下アームのパワーモジュール４１及びパワーモジュール４２は、二つで一組となり、冷却器５０において積層構造の一層を構成する。上アームのパワーモジュール４１は、冷媒導入管５１側に配置され、下アームのパワーモジュール４２は、冷媒導出管５２側に配置される。したがって、冷媒は、上アームのパワーモジュール４１を先に冷却した後、下アームのパワーモジュール４２を冷却するように流れる。

【００１８】

図２（ａ）にて、積層方向から視たとき、パワーモジュール４１、４２と冷却管５３とが重なる領域を「モジュール領域Ｒｍ」と表す。また、モジュール領域Ｒｍに対し冷媒導入管５１側の領域を「流入口領域Ｒｉｎ」、モジュール領域Ｒｍに対し冷媒導出管５２側の領域を「流出口領域Ｒｏｕｔ」と表す。流入口領域Ｒｉｎ及び流出口領域Ｒｏｕｔは、積層方向から視たとき、パワーモジュール４１、４２と冷却管５３とが重ならない領域である。

【００１９】

図２（ｂ）に、冷媒の流れ方向における冷却管５３の位置と冷媒温度との関係を示す。

冷媒温度は、冷却管５３の流入口５３１（図４参照）側で相対的に低く、流出口５３２（図４参照）側で相対的に高い。つまり、パワーモジュール４１、４２からの熱を受熱するモジュール領域Ｒｍで温度が次第に上昇し、モジュール領域Ｒｍと流出口領域Ｒｏｕｔとの境界領域付近で最高温度となる。

第１実施形態では、この「モジュール領域Ｒｍと流出口領域Ｒｏｕｔとの境界領域」、言い換えれば「下アームのパワーモジュール４２の流出口側の端部に対応する領域」に、冷媒の相状態を検出する相検出手段６０１が配置されていることを特徴とする。相検出手段６０１の詳細については後述する。

【００２０】

図１に戻り、第１実施形態では、パワーモジュール４１、４２が計十一段、積層された形態が例示される。この十一段のパワーモジュール４１、４２は、冷媒導入管５１の導入側から順に、力行用インバータ３２、回生用インバータ３１、コンバータ３０の三種類の電力変換器を構成するものである。

【００２１】

ここで、第１実施形態の電力変換装置が備える電力変換器の回路構成について、図３を参照する。

電力変換装置２０は、「直流電源」としてのバッテリ１５と、二つのモータジェネレータ８１、８２との間に設けられ、コンバータ３０、回生用インバータ３１及び力行用インバータ３２の三種類の電力変換器を含む。

【００２２】

二つのモータジェネレータ８１、８２は、例えば、永久磁石同期型の三相交流電動機であり、シリーズパラレル式ハイブリッド自動車等に搭載される。第１モータジェネレータ（図中、「ＭＧ１」）８１は、主に、エンジンや駆動輪から伝達されるトルクによって発電する発電機として機能する。第２モータジェネレータ（図中、「ＭＧ２」）８２は、主に、力行動作により駆動輪を駆動するトルクを発生する電動機として機能する。

第１モータジェネレータ８１及び第２モータジェネレータ８２は、特許請求の範囲に記載の「発電機」及び「負荷」に相当する。

【００２３】

コンバータ３０は、上下アームのパワー素子４３、４４、及び、バッテリ１５とパワー素子４３、４４の中間点との間に接続されたリアクトル２１を含む。リアクトル２１は、電流の変化に伴って発生する誘起電圧による電気エネルギーを蓄積及び放出可能である。

バッテリ１５からコンバータ３０への入力部には、バッテリ１５からの電源ノイズを除去するフィルタコンデンサ２２が設けられている。
コンバータ３０は、パワー素子４３、４４の相補的スイッチング動作によって、力行時には、バッテリ１５の直流電圧を昇圧して力行用インバータ３２に出力し、回生時には、回生用インバータ３１の電圧を降圧してバッテリ１５に回生する。
【００２４】
回生用インバータ３１及び力行用インバータ３２は、それぞれ、ブリッジ接続された三相（すなわちＵ相、Ｖ相、Ｗ相）の上下アームの複数のパワー素子４３、４４により構成されている。インバータ３１、３２の入力部には、入力電圧を平滑化する平滑コンデンサ２３が設けられている。
回生用インバータ３１は、第１モータジェネレータ８１が生成した交流電力を直流電力に変換し、コンバータ３０を介してバッテリ１５に回生する。
力行用インバータ３２は、バッテリ１５からコンバータ３０を介して入力された直流電力を交流電力に変換し、第２モータジェネレータ８２に供給する。
【００２５】
図３の例では、回生用インバータ３１は、一組のパワー素子４３、４４で各相の上下アームが構成されているのに対し、コンバータ３０及び力行用インバータ３２は、並列接続された二組のパワー素子４３、４４で各相の上下アームが構成されている。なお、各パワー素子４３、４４には、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。
【００２６】
一般に、力行時の通電量が回生用インバータ３１よりも大きいコンバータ３０及び力行用インバータ３２では、相対的に定格の大きいパワー素子が必要となる。しかし、回生用インバータ３１と、コンバータ３０及び力行用インバータ３２とで別部品を使うことは、設計標準化の観点から好ましくない。また、コンバータ３０や力行用インバータ３２用の定格に合わせたパワー素子を回生用インバータ３１に使用すると、過剰スペックとなり、ムダが生じる。
【００２７】
そこで、回生用インバータ３１用のパワー素子を標準品とし、コンバータ３０及び力行用インバータ３２では、標準品のパワー素子を複数並列に接続して用いることが効率的である。そのため、図３の電力変換装置２０は、コンバータ３０で二組、回生用インバータ３１で三組、力行用インバータ３２で六組、計十一組の上下アームのパワー素子４３、４４の組を備えている。この回路構成に対応し、図１に示すように、十一段のパワーモジュール４１、４２の積層構造が形成される。特に図１の例では、通電量の大きい力行用インバータ３２が積層方向における最も導入側に配置されている。
ただし、他の実施形態では、図３の回路構成に限らず、各電力変換器の各相上下アームのパワー素子４３、４４は、すべて一組で構成されてもよいし、三組以上が並列接続されて構成されてもよい。また、積層方向における電力変換器の配置順も適宜変更してよい。
【００２８】
電力変換装置２０において、コンバータ３０のリアクトル２１とパワー素子４３、４４の中間点とを結ぶ経路は、バスバー３５で接続されている。また、回生用インバータ３１の各相出力端子と第１モータジェネレータ８１の各相巻線とを結ぶ経路、及び、力行用インバータ３２の各相出力端子と第２モータジェネレータ８２の各相巻線とを結ぶ経路は、それぞれ、バスバー３６、３７で接続されている。
【００２９】
その他、電力変換装置２０には、相電流を検出する電流センサや、バッテリ電圧、インバータ入力電圧を検出する電圧センサが設けられる。そして、上位の制御回路から出力されるトルク指令、及び、電流センサ、電圧センサ、モータジェネレータ８１、８２に設けられた回転角センサ等からのフィードバック情報に基づき、各電力変換器の通電が制御される。このような通電制御に関する構成のうち、図４に通電制御部７４のみを図示する。

その他、電流センサ等の構成については、本発明の実施形態における特徴ではないため、図示及び詳細な説明を省略する。

【００３０】

コンバータ３０、回生用インバータ３１及び力行用インバータ３２の各電力変換器は、それぞれに対応する通電制御部７４からの駆動信号に従ってパワー素子４３、４４がスイッチング動作することにより電力変換を実行する。通電制御部７４による駆動信号は、例えば、電流指令に基づく電流フィードバック制御やＰＷＭ制御を用いて生成される。このようなコンバータ、インバータの制御は周知の技術であるため、詳細な説明を省略する。

【００３１】

続いて、第１実施形態の特徴構成について、図１の積層方向における部分断面を模式的に示した図４を主に参照して説明する。図４では、積層方向に直交する方向、すなわち冷却管５３の方向の長さに対し、積層方向の厚さを誇張して示している。

パワーモジュール４１、４２は、パワー素子４３、４４の半導体チップの両面にヒートスプレッダ４５が当接した形態で設けられている。銅板等の熱伝導性材質で形成されたヒートスプレッダ４５は、パワー素子４３、４４とは反対側の面が冷却管５３の壁に当接しており、パワー素子４３、４４の通電により発生した熱を両面から発散させる。本明細書では、このような構成のパワーモジュール４１、４２を「両面放熱型パワーモジュール」と呼ぶ。

【００３２】

冷媒は、冷媒供給部７３のポンプ機能により、冷媒導入管５１から冷却管５３、冷媒導出管５２を経由して循環する。そのため、冷却管５３内部の冷媒は、ブロック矢印で示すように、冷媒導入管５１に接続する流入口５３１から、冷媒導出管５２に接続する流出口５３２に向かって流れる。このとき、冷却管５３内部の冷媒は、パワーモジュール４１、４２から受熱することにより温度上昇し、沸騰による気泡が生成される場合がある。

仮に冷媒の沸騰を放置すると、液冷機能が低下し、パワー素子４３、４４の冷却が十分に行われなくなるため、パワー素子４３、４４や回路基板上の他の電子素子が過熱により破壊するおそれがある。

【００３３】

従来、素子の過熱破壊を防止するため、電力変換装置の筐体外部の流路等に設置された冷媒温度センサで冷媒温度を検出し、検出温度が所定値を超えたとき、冷媒の流量を増加させたり、電流を制限したりすることで、素子を過熱から保護する技術が知られている。つまり、従来の技術は、冷媒の状態を温度によって把握しようとするものである。

しかし、パワー素子から離れた箇所での検出温度から、パワー素子直近の冷却管を流れる冷媒の温度を推定することになるため、推定誤差が生じる。そして、過熱保護の観点から誤差を安全側で吸収しようとすると、温度マージンを大きく設定せざるを得ない。

【００３４】

その結果、実際には許容範囲である場合にもパワー素子が過熱していると判断し、不要な冷媒流量増加や電流制限等による降温制御を実施することとなる。不要な降温制御の実施は、冷媒流量を増加させるための冷却システムの大型化や電力効率の低下を招くという問題がある。

そこで、本発明の実施形態の電力変換装置２０は、「冷却管５３を流れる冷媒の液相状態と気相状態との差異が反映される所定の物理量を検出する相検出手段６０１」を冷却器５０に備え、また、制御構成として、沸騰判定部７１及び冷媒温度制御部７２を備えることを特徴とする。

【００３５】

沸騰判定部７１は、相検出手段６０１が検出した物理量に基づいて、「冷却管５３を流れる冷媒」が沸騰していることを判定する。

冷媒温度制御部７２は、沸騰判定部７１により冷媒が沸騰していると判定されたとき、「冷却管５３を流れる冷媒」の温度を低下させる「降温制御」を実行する。この降温制御により、冷媒温度制御部７２は、沸騰して気相状態になった冷媒を液相状態に戻すように

制御する。
ここで、冷媒の温度や相状態は、冷媒導入管５１、冷却管５３、冷媒導出管５２のどの位置の冷媒であるかによって異なる。本明細書では、検出対象又は温度制御対象の冷媒を特定するため、「冷却管５３を流れる冷媒」と記載する。「冷却管５３を流れる冷媒」とは、特に、「冷却管５３のモジュール領域Ｒｍと流出口領域Ｒｏｕｔとの境界領域の冷媒」を意味する。
【００３６】
また、文言上の定義では、降温制御は、「冷却管５３を流れる冷媒」の温度を低下させるものであるが、降温制御において実質的に冷却する対象は、パワー素子４３、４４、又は「冷却管５３を流れる冷媒」のいずれでもよい。すなわち、冷媒の冷却能力を向上させることによりパワー素子４３、４４の冷却を促進してもよいし、逆に、パワー素子４３、４４の発熱を抑制することにより冷媒の受熱を抑制してもよい。
いずれの場合も、相互作用によって、結果的にパワー素子４３、４４、及び「冷却管５３を流れる冷媒」の両方の温度が低下すると考えられる。
【００３７】
第１実施形態の相検出手段６０１は、「気体の誘電率は液体の誘電率より小さいため、気体中に設置された一対の電極間の電気容量は、液体中に設置された一対の電極間の電気容量よりも小さい。逆に、電気容量に反比例するインピーダンスは、液体よりも気体の方が大きい。」という電気容量式ボイド率計の原理を応用するものである。
具体的に、相検出手段６０１は、一対の電極６１、６２、一対の絶縁板６３、６４、及び電位差検出器６５を含む。一対の電極６１、６２は、冷却管５３内部の互いに対向する流路壁５４に、一対の絶縁板６３、６４を介して設けられている。電位差検出器６５は、一対の電極６１、６２間の電位差を検出する。
【００３８】
ここで、電位差Ｖ［Ｖ］は、電荷Ｑ［Ｃ］、電気容量（静電容量）Ｃ［Ｆ］、真空の誘電率ε_0［Ｆ・m^{-1}］、比誘電率ε_r［－］、電極の面積Ｓ［m^2］、電極間距離ｄ［ｍ］を用いて、式（１）により表される。
【数１】

$$V=\frac{Q}{C}=\frac{Q}{\varepsilon_0\varepsilon_r\frac{S}{d}} \qquad \cdots (1)$$

【００３９】
気体の比誘電率は液体の比誘電率より小さいため、「冷却管５３を流れる冷媒」が沸騰し、気泡が発生すると、相検出手段６０１によって検出される電位差Ｖは大きくなる。
沸騰判定部７１は、相検出手段６０１が検出した電位差Ｖから、式（１）により、電気容量、又は、電気容量に反比例するインピーダンスを算出する。そして、電気容量又はインピーダンスを判定閾値と比較することにより、「冷却管５３を流れる冷媒」が沸騰していることを判定する。なお、「冷却管５３を流れる冷媒」が沸騰すると、電気容量は小さくなり、インピーダンスは大きくなる。
【００４０】
沸騰判定部７１により冷媒が沸騰していると判定されたとき、冷媒温度制御部７２は、降温制御として、冷媒供給部７３又は通電制御部７４に対して降温指令を出力する。
例えば冷媒供給部７３に対しては、冷媒の流量を増加するように指令する。その結果、冷却管５３内部の冷媒温度が上昇するよりも早く、冷たい冷媒が新たに供給されるため、「冷却管５３を流れる冷媒」の温度が低下する。
また、通電制御部７４に対しては、パワー素子に通電する電流を制限するように指令する。その結果、パワー素子４３、４４の発熱を抑制し、冷媒の受熱量を低減することがで

きるため、「冷却管５３を流れる冷媒」の温度が低下する。

【００４１】

また、第１実施形態では、相検出手段６０１を最適な位置に配置する点を特徴とする。図２（ｂ）を参照して上述した通り、「冷却管５３を流れる冷媒」の温度は、モジュール領域Ｒｍと流出口領域Ｒｏｕｔとの境界領域で最高温度となる。

そこで、相検出手段６０１は、最高温度となる位置での相状態を検出すべく、少なくとも、「冷却管５３の流入口５３１側と流出口５３２側との中心に対し流出口５３２側」に配置されることが好ましい。特に、「下アームのパワーモジュール４２の流出口５３２側の端部に対応する領域」に配置されることがより好ましい。

「端部に対応する領域に配置される」とは、図１、図２、図４に示すように、相検出手段６０１が、モジュール領域Ｒｍと流出口領域Ｒｏｕｔとに跨がって配置されてもよい。或いは、相検出手段６０１が、モジュール領域Ｒｍ側、又は流出口領域Ｒｏｕｔ側のいずれかで、境界線に近接した位置に配置されてもよい。

【００４２】

また、図１に示すように、相検出手段６０１は、通電が個別に制御されるコンバータ３０、回生用インバータ３１及び力行用インバータ３２に対して各一つ以上設けられることが好ましい。

また、積層方向については、冷媒導入管５１の導入側から反導入側に向かうに連れて冷媒温度が上昇する。そこで、相検出手段６０１は、電力変換器３０、３１、３２毎に、少なくとも、「積層方向における冷媒導入管５１の導入側と反導入側との中心に対し反導入側」に配置されることが好ましい。特に、「導入側から最も遠い下アームのパワーモジュール４２の付近」に配置されることがより好ましい。

【００４３】

次に、冷媒温度制御部７２による降温制限処理について、図５のタイムチャートを参照して説明する。図５の縦軸は、冷却管５３において相検出手段６０１が設けられた箇所での電極間のインピーダンスを示す。

また、二つのインピーダンス閾値Ｚ１、Ｚ２が設定される。第１閾値Ｚ１は、液相中に検出可能な量の気泡がわずかに存在する状態でのインピーダンス値に相当する。第１閾値Ｚ１よりも低い第２閾値Ｚ２は、冷媒が確実に液化した状態でのインピーダンス値に相当する。第１閾値Ｚ１と第２閾値Ｚ２との間のインピーダンス領域は、例えば、液相と気相との境界を変動している状態や、液相中に検出限界量未満の微量な気泡が存在する状態のイメージに相当する。これらの閾値は、一対の電極６１、６２で構成されるキャパシタの電気的特性や冷媒の物性によって決められる。

【００４４】

図５の初期ｔ０から時刻ｔ１まで、インピーダンスは第１閾値Ｚ１以下であり、このとき、電力変換器の通電は通常に制御される。時刻ｔ１でインピーダンスが第１閾値Ｚ１を超えると、沸騰判定部７１は、冷媒が沸騰していると判定する。

その後、インピーダンスが第１閾値Ｚ１を超えた状態が時刻ｔ２まで、所定時間Ｔｃにわたって継続したとき、冷媒温度制御部７２は、降温制御を開始する。ここで、所定時間Ｔｃは、パワー素子４３、４４のチップが破壊に達する時間以内に設定される。

【００４５】

冷媒温度制御部７２は、降温制御において、冷媒供給部７３に対して冷媒の流量を増加するように、又は、通電制御部７４に対して電流を制限するように降温指令を出力する。

降温制御により「冷却管５３を流れる冷媒」の温度が低下すると、インピーダンスは低下する。なお、降温制御を開始した時刻ｔ２の直後、インピーダンスは、応答遅れによって多少オーバーシュートした後、低下に転じる。

冷媒温度制御部７２は、例えば、逐次インピーダンスの現在値を取得し、目標値である第２閾値Ｚ２との偏差に基づくＰＩ制御演算等により降温指令出力をフィードバック制御してもよい。これにより、インピーダンス実値の変化に応答して、冷媒流量や電流制限値を細かく調整することができる。

【００４６】
その後、インピーダンスは、時刻ｔ３で第１閾値Ｚ１を下回るが、冷媒温度制御部７２は、降温指令の出力を継続する。そして、時刻ｔ４でインピーダンスが第２閾値Ｚ２まで低下すると、冷媒温度制御部７２は降温指令の出力を中止し、降温制御を終了する。
降温制御が終了し通常の通電制御に戻ると、再びパワー素子４３、４４の発熱により、冷媒の温度は上昇し、それに伴って、インピーダンスが上昇する。このときにも、インピーダンスは、応答遅れによって多少アンダーシュートした後、上昇に転じる。
以上のように、通常制御中のインピーダンスの上昇と、降温制御中のインピーダンスの低下とが交互に繰り返される。
【００４７】
続いて、降温制限処理のルーチンについて、図６のフローチャートを参照する。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、電力変換装置２０の動作中、繰り返し実行される。
Ｓ１で、相検出手段６０１は、電極６１、６２間の電位差を検出する。沸騰判定部７１は、式（１）により、電位差Ｖから、電極間のインピーダンスを算出する。
【００４８】
Ｓ２で、沸騰判定部７１は、インピーダンスが第１閾値Ｚ１を超えているか否か判断する。インピーダンスが第１閾値Ｚ１以下のとき（Ｓ２：ＮＯ）、処理を終了する。
一方、インピーダンスが第１閾値Ｚ１を超えているとき（Ｓ２：ＹＥＳ）、沸騰判定部７１は、冷媒が沸騰していると判定する。
そして、冷媒温度制御部７２は、Ｓ３で、継続時間、すなわち、沸騰判定部７１によりインピーダンスが第１閾値Ｚ１を超えていると判定された状態が継続する時間のカウントを開始する。
【００４９】
その後、冷媒温度制御部７２は、Ｓ４で、継続時間が所定時間Ｔｃに到達したと判断されるまで、継続時間のカウントを繰り返す。
継続時間が所定時間Ｔｃに到達する（Ｓ４：ＹＥＳ）と、冷媒温度制御部７２は、Ｓ５で、冷媒流量増加、又は、電流制限の降温指令を出力する。降温指令の出力は、Ｓ６で、インピーダンスが第２閾値Ｚ２以下に低下したと判定されるまで続けられる。
インピーダンスが第２閾値Ｚ２以下に低下したと判定される（Ｓ６：ＹＥＳ）と、冷媒温度制御部７２は、降温制御を終了する（Ｓ７）。
【００５０】
（効果）
第１実施形態の効果について説明する。
（１）従来技術では、冷媒の温度によって冷媒の冷却能力を把握するのに対し、第１実施形態の電力変換装置２０は、液相状態から気相状態への変化によって冷媒の冷却能力を把握するための手段として、相検出手段６０１及び沸騰判定部７１を備える。
相検出手段６０１は、「冷却管５３を流れる冷媒の液相状態と気相状態との差異が反映される所定の物理量」として、一対の電極６１、６２間の電位差を検出する。沸騰判定部７１は、相検出手段６０１が検出した電位差に基づいて、「冷却管５３を流れる冷媒」が沸騰していることを判定する。
これにより、「冷却管５３を流れる冷媒」の冷却能力を適確に把握することができる。
【００５１】
（２）電力変換装置２０は、沸騰判定部７１により冷媒が沸騰していると判定されたとき、冷媒の温度を低下させる降温制御を実行する冷媒温度制御部７２をさらに備える。
冷媒温度により冷媒の冷却能力を把握する従来技術では、推定誤差を考慮した温度マージンの設定により、実際の冷媒温度が閾値より低いときでも不要な降温制御を行う場合がある。そのため、冷却システムの大型化や電力効率の低下を招くという問題がある。
【００５２】
それに対し第１実施形態では、冷媒が実際に相変化した状態で検出された電位差に基づ

いて、「冷却管５３を流れる冷媒」が沸騰していることを判定し、その判定タイミングで初めて降温制御を開始する。したがって、液冷が可能な温度の限界まで、冷媒流量を増加させたり電流を制限したりすることなく、通常の制御を継続することができる。よって、冷却システムの小型化や効率の向上に貢献することができる。

【００５３】

（３）相検出手段６０１は、「冷却管５３の流入口５３１側と流出口５３２側との中心に対し流出口５３２側」であって、「下アームのパワーモジュール４２の流出口５３２側の端部に対応する領域」に配置されている。これにより、「冷却管５３を流れる冷媒」が最高温度となる位置での相状態を検出することができる。

【００５４】

（４）冷却器５０は、複数の両面放熱型のパワーモジュール４１、４２と、複数の冷却管５３とが積層配置されている。これにより、パワー素子４３、４４の発熱を両面から放出することができるため、冷却効率が向上する。

（５）積層構造の冷却器５０において、相検出手段６０１は、電力変換器３０、３１、３２毎に、「積層方向における冷媒導入管５１の導入側と反導入側との中心に対し反導入側」であって、さらに「反導入側の下アームのパワーモジュール４２の付近」に配置されている。これにより、積層方向において「冷却管５３を流れる冷媒」が最高温度となる位置での相状態を検出することができる。

【００５５】

（６）第１実施形態の相検出手段６０１は、電気容量式ボイド率計の原理を応用し、冷却管５３内部に設けた対向する一対の電極６１、６２間の電位差を検出する。これにより、「冷却管５３を流れる冷媒」の相状態を簡易な構成で精度良く検出することができる。

（７）冷媒温度制御部７２は、沸騰判定部７１によりインピーダンスが第１閾値Ｚ１を超えていると判定された状態が所定時間にわたって継続したとき、降温制御を開始し、インピーダンスが第１閾値Ｚ１よりも低い第２閾値Ｚ２以下に低下したとき降温制御を終了する。降温制御を開始する第１閾値Ｚ１と降温制御を終了する第２閾値Ｚ２とを別に設定することで、閾値付近のインピーダンスで制御のオンオフが頻繁に繰り返されるハンチング現象を防止することができる。

【００５６】

（第２、第３実施形態）

第２、第３実施形態の電力変換装置について、共通の模式的構成図である図７を参照して説明する。第２、第３実施形態は、第１実施形態に対し、相検出手段の構成が異なる。

第２実施形態の相検出手段６０２は、「液体中に気体が存在すると超音波の伝わる速度が変化する。」という原理を応用し、超音波発生装置６７により冷媒中に発生させた超音波の反射波を検出する。沸騰判定部７１は、相検出手段６０２の検出信号を取得し、超音波の発信から反射波の受信までの時間に基づいて、冷媒が沸騰していることを判定する。

【００５７】

第３実施形態の相検出手段６０３は、「放射された光が液体中では屈折し、気体に到達すると反射する。」という原理を応用し、光ファイバプローブ６８から冷媒中に放射した光の反射波を検出する。沸騰判定部７１は、相検出手段６０３の検出信号を取得し、放射した光の屈折率に基づいて、冷媒が沸騰していることを判定する。

第２、第３実施形態は、相検出手段が検出する物理量に関する事項を読み替えた上で、第１実施形態の効果（１）～（５）を共通に奏する。

【００５８】

（第４実施形態）

第４実施形態の電力変換装置について、図８を参照して説明する。図８（ｂ）は、図８（ａ）のＶＩＩＩｂ－ＶＩＩＩｂ線模式断面図である。上記第１～第３実施形態の冷却器５０は、複数の両面放熱型パワーモジュール４１、４２と複数の冷却管５３とが交互に積層配置された積層型冷却器であるのに対し、第４実施形態の冷却器５６は、片面放熱型の冷却器として構成されている。

上下アームのパワー素子４３、４４は、それぞれ、ヒートスプレッダ４５が一方の面に当接した片面放熱型のパワーモジュール４７、４８の形態で構成されている。図８には、三相の各相が一組のパワーモジュール４７、４８からなる電力変換器を例示する。

【００５９】

各相上アームのパワーモジュール４７は冷媒導入管５１側に配置され、各相下アームのパワーモジュール４８は冷媒導出管５２側に配置される。流入口側で冷媒導入管５１から三本に分岐した冷却管５７は、各相のパワーモジュール４７、４８の直下を通り、流出口側で冷媒導出管５２に合流する。パワー素子４３、４４の発熱は、片面に当接したヒートスプレッダ４５を介して冷却管５７に放熱される。

【００６０】

相検出手段６０１は、「冷却管５７の流入口側と流出口側との中心に対し流出口側」であって、例えばW相の「下アームのパワーモジュール４８の流出口側の端部に対応する領域」に配置されている。また、第１実施形態と同様の電気容量式の相検出手段６０１を用いる構成では、一対の電極６１、６２は、冷却管５７内部の互いに対向する流路壁５８に一対の絶縁板６３、６４を介して設けられている。

上記構成の第４実施形態は、第１実施形態の効果（１）～（３）を共通に奏する。

なお、第４実施形態の変形例として、片面放熱型の冷却器５６において、第２実施形態又は第３実施形態の相検出手段６０２、６０３を組み合わせてもよい。

【００６１】

（その他の実施形態）

（ａ）図１に示す冷却器５０では、コンバータ３０、回生用インバータ３１及び力行用インバータ３２の三種類の電力変換器が並んで配置されている。その他の実施形態では、一つの冷却器に対し、どの種類の電力変換器が、いくつ、どの順に配置されてもよい。

また、各電力変換器において、同じスイッチング動作をするパワー素子は、各一つでもよいし、いくつ並列接続されてもよい。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。

【００６２】

（ｂ）本発明の相検出手段の構成は、第１～第３実施形態に例示したものに限らず、冷却管を流れる冷媒の液相状態と気相状態との差異が反映される物理量を検出するいかなるものであってもよい。その中には、本願の出願時以後の科学技術の進歩により新たに創出され、或いは実用化される新規な手法や技術が含まれる。

（ｃ）冷媒温度制御部による降温制御の方法として、冷媒流量増加又は電流制限の他、ファンを駆動して冷却器を強制空冷する方法や、チラーにより供給する冷媒自体の温度を低下させる方法等を採用してもよい。

【００６３】

（ｄ）電力変換装置は、冷媒温度制御部を備えず、沸騰判定部による沸騰判定までを行うようにしてもよい。例えば、通常のパワー素子の発熱に対して冷却器の冷却能力が十分に設定されており、「冷媒供給が完全停止」というような重度の故障時以外には沸騰判定される可能性があり得ない場合を想定する。このような前提で、万一、沸騰判定部により「冷却管を流れる冷媒」が沸騰していると判定された場合には、電力変換装置は、重度の故障が発生したと判定し、直ちに電力変換装置の動作を停止するようにしてもよい。

【００６４】

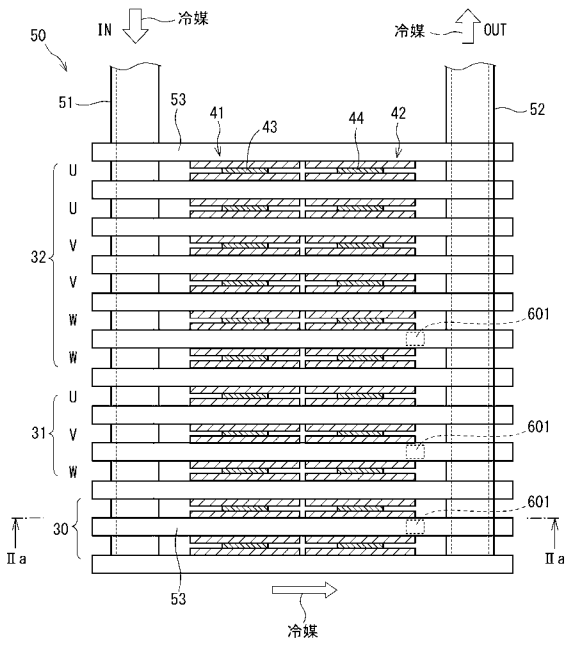
（ｅ）本発明の電力変換装置は、ハイブリッド自動車や電気自動車において高圧バッテリとモータジェネレータとの間で電力を変換する電力システムに限らず、どのようなシステムに適用されてもよい。また、力行用インバータ３２が交流電力を供給する負荷は、モータジェネレータ等の回転機に限らない。パワー素子の通電により発熱した電力変換器を冷媒の循環により冷却する電力変換装置であれば、本発明の効果が有効に発揮される。

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。

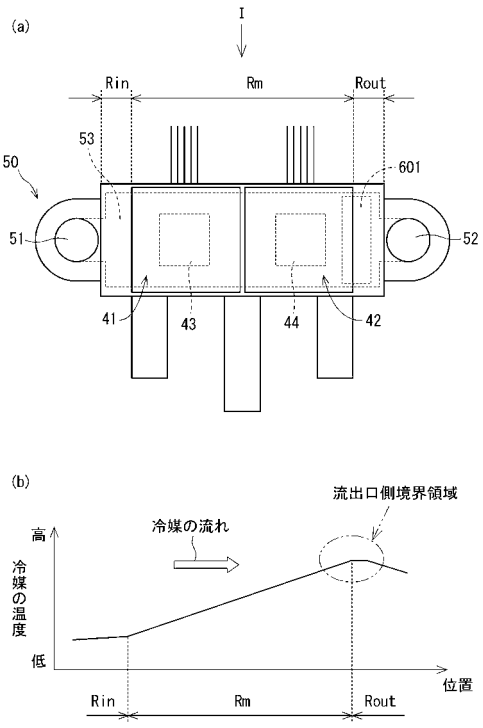
【符号の説明】

【００６５】
２０・・・電力変換装置、
３０・・・コンバータ（電力変換器）、
３１・・・回生用インバータ（電力変換器）、
３２・・・力行用インバータ（電力変換器）、
４１、４２、４７、４８・・・パワーモジュール、
４３、４４・・・パワー素子、
４５・・・ヒートスプレッダ、
５０、５６・・・冷却器、
５３、５７・・・冷却管、
６０１、６０２、６０３・・・相検出手段、
７１・・・沸騰判定部、
７２・・・冷媒温度制御部。

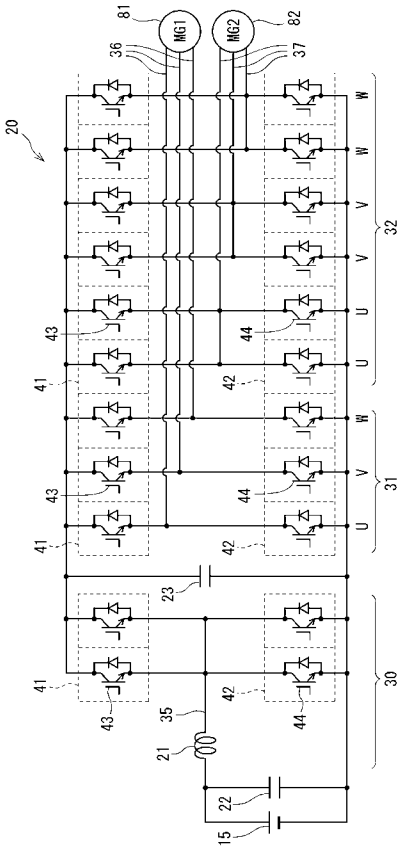
【図１】



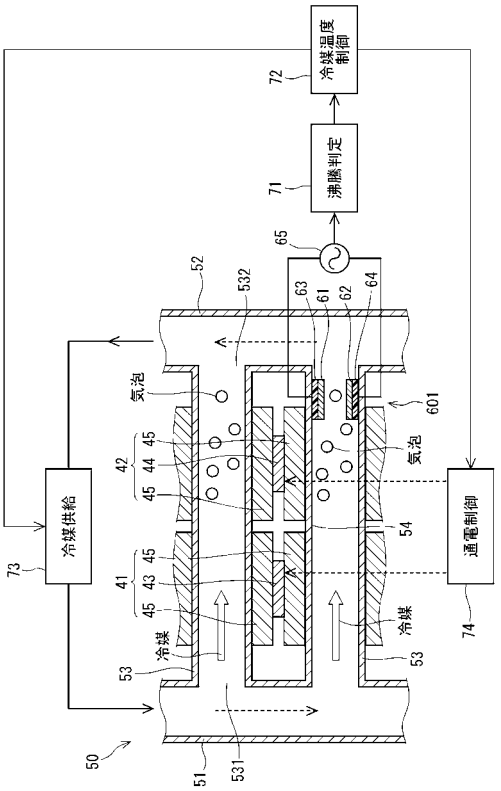
【図２】



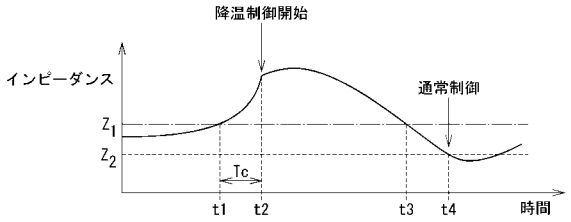
【図３】


MG1
MG2
81
82
36
37
20
32
31
30
41
42
43
44
23
35
21
22
15
U
V
W

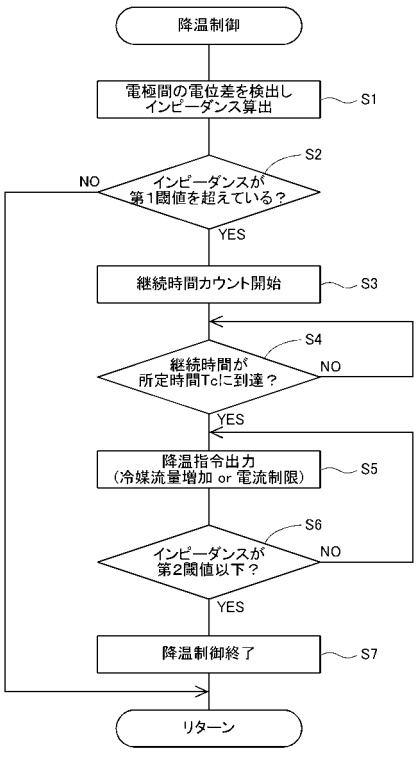
【図４】


冷媒温度制御
72
沸騰判定
71
65
52
532
63
61
62
64
気泡
601
42
44
45
54
冷媒供給
73
通電制御
74
41
43
53
冷媒
50
51
531

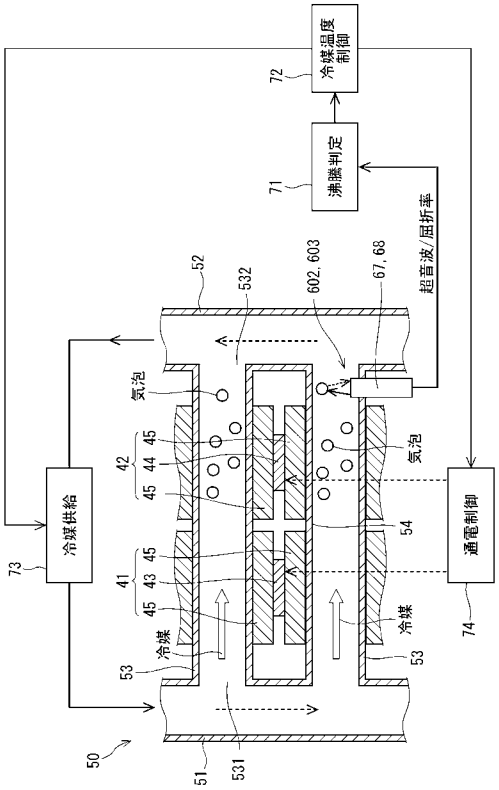
【図５】


降温制御開始
インピーダンス
通常制御
Z1
Z2
Tc
t1
t2
t3
t4
時間

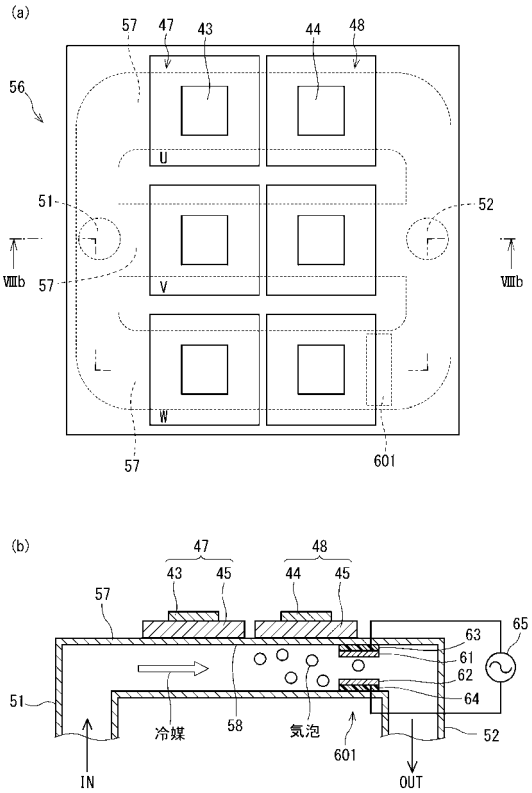
【図６】


降温制御
電極間の電位差を検出し
インピーダンス算出
S1
S2
インピーダンスが
第1閾値を超えている？
NO
YES
継続時間カウント開始
S3
S4
継続時間が
所定時間Tcに到達？
NO
YES
降温指令出力
（冷媒流量増加 or 電流制限）
S5
S6
インピーダンスが
第2閾値以下？
NO
YES
降温制御終了
S7
リターン

【図７】


冷媒温度制御
72
沸騰判定
71
超音波/屈折率
52
532
602, 603
67, 68
A
気泡
42
44
45
41
43
冷媒供給
73
通電制御
74
54
53
冷媒
50
51
531

【図８】


(a)
57
47
43
44
48
56
U
V
W
51
52
VIIIb
601
(b)
63
65
61
62
64
58
IN
OUT

フロントページの続き

(72)発明者　石川　智一
愛知県刈谷市昭和町１丁目１番地　株式会社デンソー内

Ｆターム(参考) 5H730 AA20 AS04 AS05 AS13 BB13 BB14 DD03 DD13 DD41 FD61
FG05 XX04 XX19 XX26 XX38
5H770 BA02 CA01 CA06 DA03 DA10 DA22 DA30 DA41 EA01 GA20
HA01Z HA03Z KA01W LA04X LB09 PA02 PA14 PA15 PA28 PA42
QA06 QA10