

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2024-63854

(P2024-63854A)

(43)公開日 令和6年5月14日(2024.5.14)

(51)国際特許分類

H 0 2 M 7/48 (2007.01)

F I

H 0 2 M 7/48

M

テーマコード(参考)

5 H 7 7 0

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全33頁)

(21)出願番号 特願2022-172001(P2022-172001)

(22)出願日 令和4年10月27日(2022.10.27)

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号

(74)代理人 110002941

弁理士法人ばるも特許事務所

(72)発明者 篠原 亮

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 5H770 CA06 DA03 DA10 DA41
EA01 HA02Y HA03W H
A06X
HA06Z HA07Z HA12X J
A10X
JA19X LA04X LB07 PA1
1

最終頁に続く

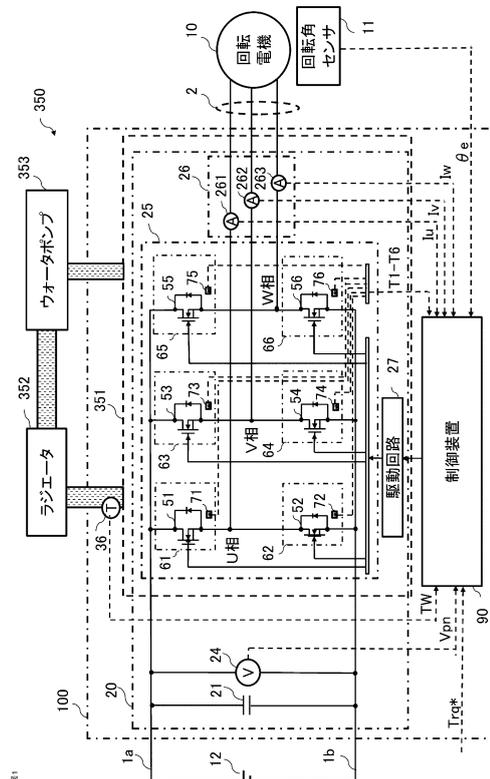
(54)【発明の名称】 電力変換装置

(57)【要約】

【課題】半導体スイッチング素子の過熱をより適切に防止しつつ、過剰に電力変換装置の出力を制限することを抑制し効率的な電力変換装置を提供することを目的とする。

【解決手段】電流を通電、遮断するスイッチング素子、スイッチング素子の温度を検出する素子温度検出器、スイッチング素子を冷却する冷却器、冷却器を通過する冷却媒体の状態を検出する冷却媒体状態検出器、および、スイッチング素子を制御して電力変換を行うとともに、スイッチング素子の過熱防止制御を行う制御装置、を備えた電力変換装置において、制御装置は、冷却媒体状態検出器によって検出された冷却媒体の状態に基づいて過熱防止制御の要否を判定するための温度閾値を決定し、素子温度検出器によって検出された温度が温度閾値よりも高い場合にスイッチング素子の作動を制限して過熱防止制御を行う電力変換装置。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

電流を通電、遮断するスイッチング素子、
前記スイッチング素子の温度を検出する素子温度検出器、
前記スイッチング素子を冷却する冷却器、
前記冷却器を通過する冷却媒体の状態を検出する冷却媒体状態検出器、および、
前記スイッチング素子を制御して電力変換を行うとともに、前記スイッチング素子の過熱防止制御を行う制御装置、を備えた電力変換装置において、
前記制御装置は、前記冷却媒体状態検出器によって検出された前記冷却媒体の状態に基づいて過熱防止制御の要否を判定するための温度閾値を決定し、前記素子温度検出器によって検出された温度が前記温度閾値よりも高い場合に前記スイッチング素子の作動を制限して過熱防止制御を行う電力変換装置。

10

【請求項 2】

前記冷却媒体状態検出器は、前記冷却媒体の温度を検出する冷却媒体温度検出器である請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 3】

前記冷却媒体状態検出器は、前記冷却器の温度を検出する冷却器温度検出器である請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 4】

前記制御装置は、前記冷却媒体状態検出器によって検出された温度が高くなるに従って、前記温度閾値を高く設定する請求項 2 または 3 に記載の電力変換装置。

20

【請求項 5】

前記制御装置は、前記素子温度検出器によって検出された温度が前記温度閾値よりも高い場合は、前記素子温度検出器によって検出された温度と前記温度閾値との差が大きくなるに従って前記スイッチング素子の作動を制限する制限率を高くする請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 6】

前記冷却媒体状態検出器は、前記冷却媒体の流量を検出する冷却媒体流量検出器である請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 7】

前記制御装置は、前記冷却媒体流量検出器によって検出した冷却媒体の流量が多くなるに従って、前記温度閾値を高く設定する請求項 6 に記載の電力変換装置。

30

【請求項 8】

前記冷却媒体状態検出器として、前記冷却媒体の温度を検出する冷却媒体温度検出器、および、前記冷却媒体の流量を検出する冷却媒体流量検出器、を備え、

前記制御装置は、前記冷却媒体温度検出器によって検出された前記冷却媒体の温度と、前記冷却媒体流量検出器によって検出された前記冷却媒体の流量と、に基づいて前記温度閾値を決定する請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 9】

前記制御装置は、前記冷却媒体流量検出器によって検出した冷却媒体の流量が多くなるに従って前記温度閾値を高く設定し、かつ、前記冷却媒体状態検出器によって検出された温度が高くなるに従って、前記温度閾値を高く設定する請求項 8 に記載の電力変換装置。

40

【請求項 10】

前記スイッチング素子は並列に複数設けられ、

前記素子温度検出器の数は、前記スイッチング素子の数よりも少ない請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 11】

直流電源の正極側に接続された正極側スイッチング素子と、前記直流電源の負極側に接続された負極側スイッチング素子と、前記正極側スイッチング素子および前記負極側スイッチング素子を直列に接続するとともに外部に電流を供給する外部接続点と、が夫々設け

50

られた複数相のアーム、

前記正極側スイッチング素子の温度を検出する正極側素子温度検出器、および

前記負極側スイッチング素子の温度を検出する負極側素子温度検出器、を備え、

前記制御装置は、前記正極側素子温度検出器または前記負極側素子温度検出器によって検出された温度が前記温度閾値よりも大きい場合に前記スイッチング素子の作動を制限する請求項 10 に記載の電力変換装置。

【請求項 12】

前記素子温度検出器はサーミスタである請求項 1 に記載の電力変換装置。

【請求項 13】

前記スイッチング素子はワイドバンドギャップ半導体で形成された請求項 1 に記載の電力変換装置。 10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、電力変換装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電力の出力形態を変換するために電力変換装置が用いられる。電力変換装置として、交流電力を直流電力へ変換する AC / DC コンバータ (Alternate Current / Direct Current Converter)、直流電力から交流電力へ変換するインバータ (Inverter)、直流電力の入力電圧と出力電圧のレベルを変化させる DC / DC コンバータ (Direct Current / Direct Current Converter)、等が存在する。これらの電力変換装置は、半導体スイッチング素子を備えた構成であることが多い。 20

【0003】

電力変換装置は、半導体スイッチング素子のスイッチング動作によって流れる電流を制御する。そして、このスイッチング動作によって入力電力を変換して出力電力を得る。半導体スイッチング素子は、半導体スイッチング素子に流れる電流により電力損失が発生する。電力損失のほとんどが熱となって、半導体スイッチング素子の温度を上昇させる。半導体スイッチング素子は動作上限温度 T_{jmax} が定まっており、この動作上限温度 T_{jmax} を超えてもなお駆動し続けると、半導体スイッチング素子が過熱により性能劣化し、または破損する可能性がある。そのため、電力変換装置は、半導体スイッチング素子の過熱を防止するために発熱部を冷却する冷却器を備える場合がある。(動作上限温度 T_{jmax} は不図示) 30

【0004】

電力変換装置の半導体スイッチング素子の過熱を防止するために、半導体スイッチング素子の温度を検出可能な温度検出器を備え、検出温度が所定の閾値を超過した場合に電力変換装置の出力を低減する技術が開示されている。電力変換装置の出力を低減することで、半導体スイッチング素子の温度が動作上限温度 T_{jmax} を超過しないように保護することができる(例えば、特許文献 1)。

【先行技術文献】 40

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2001 - 169401 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献 1 の技術では、一部の半導体スイッチング素子の温度検出器による検出温度が所定の閾値を超過した場合に、一律に電力変換装置の出力を制限する。しかし、半導体スイッチング素子を冷却する冷却器の状態に応じて、半導体スイッチング素子の接合部の温度上昇の挙動が変化する事態に対応できない。このため、冷却器の状態によっては、半導 50

体スイッチング素子の接合部の温度上昇の挙動がまだ許容される状態であるにもかかわらず、検出温度が所定の閾値を超過し過剰に出力を制限する場合があった。このような場合には、電力変換装置は半導体スイッチング素子の能力を必要以上に制限することとなり、性能を十分発揮できないこととなる。

【0007】

本願は、上記のような課題を解決するための技術を開示するものである。冷却器を有する電力変換装置において、冷却器を流れる冷却媒体の状態に基づいて電力変換装置の出力の制限を判定する検出温度の閾値を変更する。これにより、半導体スイッチング素子の過熱をより適切に防止しつつ、過剰に電力変換装置の出力を制限することを抑制し効率的な電力変換装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

本願に係る電力変換装置は、
電流を通電、遮断するスイッチング素子、
スイッチング素子の温度を検出する素子温度検出器、
スイッチング素子を冷却する冷却器、
冷却器を通過する冷却媒体の状態を検出する冷却媒体状態検出器、および、
スイッチング素子を制御して電力変換を行うとともに、スイッチング素子の過熱防止制御を行う制御装置、を備えた電力変換装置において、

制御装置は、冷却媒体状態検出器によって検出された冷却媒体の状態に基づいて過熱防止制御の要否を判定するための温度閾値を決定し、素子温度検出器によって検出された温度が温度閾値よりも高い場合にスイッチング素子の作動を制限して過熱防止制御を行うものである。

20

【発明の効果】

【0009】

本願によれば、冷却器を有する電力変換装置において、冷却器を流れる冷却媒体の状態に基づいて電力変換装置の出力の制限を判定する検出温度の閾値を変更する。半導体スイッチング素子の温度検出器による検出温度がこの温度閾値より高い場合に電力変換装置の出力を制限する構成とすることができる。これによって、半導体スイッチング素子の過熱をより適切に防止しつつ、過剰に電力変換装置の出力を制限することを抑制し効率的な電力変換装置を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施の形態1に係る電力変換装置の構成図である。

【図2】実施の形態1に係る電力変換装置の制御装置のハードウェア構成図である。

【図3】実施の形態1に係る電力変換装置の制御装置の機能ブロック図である。

【図4】実施の形態1に係る電力変換装置の固定された温度閾値と素子温度の関係を説明する第一の図である。

【図5】実施の形態1に係る電力変換装置の固定された温度閾値と素子温度の関係を説明する第二の図である。

40

【図6】実施の形態1に係る電力変換装置の冷却媒体温度と可変に設定された温度閾値の関係を説明する図である。

【図7】実施の形態1に係る電力変換装置の固定された温度閾値による過熱防止時の温度の推移を示す第一のタイムチャートである。

【図8】実施の形態1に係る電力変換装置の固定された温度閾値による過熱防止時の温度の推移を示す第二のタイムチャートである。

【図9】実施の形態1に係る電力変換装置の可変に設定された温度閾値による過熱防止時の温度の推移を示す第一のタイムチャートである。

【図10】実施の形態1に係る電力変換装置の可変に設定された温度閾値による過熱防止時の温度の推移を示す第二のタイムチャートである。

50

【図 1 1】実施の形態 1 に係る電力変換装置の固定された温度閾値による過熱防止時の冷却媒体温度と素子温度の関係を示す図である。

【図 1 2】実施の形態 1 に係る電力変換装置の可変に設定された温度閾値による過熱防止時の冷却媒体温度と素子温度の関係を示す図である。

【図 1 3】実施の形態 1 に係る電力変換装置の第二の実施例の構成図である。

【図 1 4】実施の形態 1 に係る電力変換装置の第三の実施例の構成図である。

【図 1 5】実施の形態 1 に係る電力変換装置の第四の実施例の構成図である。

【図 1 6】実施の形態 1 に係る電力変換装置の第五の実施例の構成図である。

【図 1 7】実施の形態 1 に係る電力変換装置の第六の実施例の構成図である。

【図 1 8】実施の形態 2 に係る電力変換装置の構成図である。

10

【図 1 9】実施の形態 2 に係る電力変換装置の制御装置の機能ブロック図である。

【図 2 0】実施の形態 2 に係る電力変換装置の固定された温度閾値と素子温度の関係を説明する第一の図である。

【図 2 1】実施の形態 2 に係る電力変換装置の固定された温度閾値と素子温度の関係を説明する第二の図である。

【図 2 2】実施の形態 2 に係る電力変換装置の冷却媒体流量と可変に設定された温度閾値の関係を説明する図である。

【図 2 3】実施の形態 2 に係る電力変換装置の固定された温度閾値による過熱防止時の温度の推移を示す第一のタイムチャートである。

【図 2 4】実施の形態 2 に係る電力変換装置の固定された温度閾値による過熱防止時の温度の推移を示す第二のタイムチャートである。

20

【図 2 5】実施の形態 2 に係る電力変換装置の可変に設定された温度閾値による過熱防止時の温度の推移を示す第一のタイムチャートである。

【図 2 6】実施の形態 2 に係る電力変換装置の可変に設定された温度閾値による過熱防止時の温度の推移を示す第二のタイムチャートである。

【図 2 7】実施の形態 2 に係る電力変換装置の固定された温度閾値による過熱防止時の冷却媒体流量と素子温度の関係を示す図である。

【図 2 8】実施の形態 2 に係る電力変換装置の可変に設定された温度閾値による過熱防止時の冷却媒体流量と素子温度の関係を示す図である。

【図 2 9】実施の形態 3 に係る電力変換装置の構成図である。

30

【図 3 0】実施の形態 3 に係る電力変換装置の制御装置の機能ブロック図である。

【図 3 1】実施の形態 3 に係る電力変換装置の冷却能力と可変に設定された温度閾値の関係を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本願に係る電力変換装置の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0012】

1. 実施の形態 1

< 電力変換装置の構成 >

図 1 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置 100 の構成図である。電力変換装置 100 は、電気自動車、プラグインハイブリッド自動車などの電動車両で使用されてもよい。高電圧バッテリーの電力で動力となるモータを駆動するための電力変換装置を想定することができる。

40

【0013】

電力変換装置 100 は、スイッチング動作により電力を変換する半導体スイッチング素子 51 から 56、冷却器 351、制御装置 90、および、素子温度検出器 71 から 76、を備える。冷却器 351 は、半導体スイッチング素子 51 から 56 を冷却する。制御装置 90 は、半導体スイッチング素子 51 から 56 を制御する。素子温度検出器 71 から 76 は、半導体スイッチング素子 51 から 56 の温度を検出する。

【0014】

50

制御装置 90 は、素子温度検出器 71 から 76 の温度検出値 T_1 から T_6 が所定の温度閾値 OT より高い場合に半導体スイッチング素子 51 から 56 の温度上昇を抑制するように半導体スイッチング素子 51 から 56 の駆動を制限する。半導体スイッチング素子 51 から 56 の過熱を防止する制御は、一般に過熱保護制御とも称される。

【0015】

冷却器 351 には、冷却器 351 を流れる冷却媒体の状態を検出する冷却媒体状態検出手段が設けられている。図 1 では、冷却媒体状態検出手段として、冷却器 351 に流入する冷却水の温度を検出する水温センサ 36 が設けられている。制御装置 90 は、水温センサ 36 によって検出された冷却媒体の温度 T_W に基づいて温度閾値を設定する。

【0016】

図 1 には、電力変換装置 100 に直流電力を供給するとともに回生電力で充電されるバッテリー等の直流電源 12、および制御対象の回転電機 10 を含んで示している。制御対象は、回転電機 10 に限るものではなく、回転電機 10 以外であってもよい。

【0017】

図 1 において、電力変換装置 100 は、正極側の直流母線 1a と負極側の直流母線 1b とによって直流電源 12 と接続され、駆動電力および回生電力を直流電源 12 と授受する。また、電力変換装置 100 は、交流母線 2 により回転電機 10 と接続され、駆動電力および回生電力を回転電機 10 と授受する。

【0018】

回転電機 10 には、回転電機 10 の回転角 θ を検出する回転角センサ 11 が設けられている。回転電機 10 は、負荷を回転駆動するとともに、負荷の回転エネルギーを電気エネルギーとして回生可能であり、例えば永久磁石三相交流同期モータ、三相ブラシレスモータが使用されてもよい。(回転角 θ は不図示)

【0019】

電力変換装置 100 は、電力変換部 20 を備え、電力変換部 20 の発熱部を冷却する冷却器 351 が組付けられている。電力変換部 20 は、直流電源 12 に接続された正極側の直流母線 1a と負極側の直流母線 1b を有し、この間に接続されたコンデンサ 21 と、電力変換部 20 の直流母線電圧を検出する電圧検出部 24 とを備える。電力変換部 20 は、複数の半導体スイッチング素子 51 から 56 で構成され、直流/交流の電力変換を行うインバータ回路 25 と、交流母線 2 に流れる回転電機 10 の電流を検出する電流検出部 26 とを備える。そして、電力変換部 20 は、半導体スイッチング素子 51 から 56 のオンおよびオフを切り替えるための駆動回路 27 を備えている。電力変換部 20 は、制御装置 90 によって制御される。

【0020】

コンデンサ 21 は、直流母線電圧のリップルを抑制する機能、電力変換部 20 の電源インピーダンスを低下させて電力変換部 20 の交流電流駆動能力を向上させる機能、サージ電圧を吸収する機能等を有している。また、電圧検出部 24 は、直流母線電圧を分圧抵抗等により制御装置 90 で読み込める電圧に分圧し、制御装置 90 に直流母線電圧情報を出力する。

【0021】

インバータ回路 25 は、一般的によく知られている 6 つの半導体スイッチング素子 51 から 56 をフルブリッジ接続したインバータである。すなわち、図 1 に示されるように、半導体スイッチング素子 51、52、半導体スイッチング素子 53、54、半導体スイッチング素子 55、56 は、それぞれ上段側の半導体スイッチング素子と下段側の半導体スイッチング素子である。上段側の半導体スイッチング素子と下段側の半導体スイッチング素子が直列に接続され、直流電源 12 に対して並列に接続されている。

【0022】

また、半導体スイッチング素子 51、52 の中点は回転電機 10 の U 相の入力と接続されている。半導体スイッチング素子 53、54 の中点は回転電機 10 の V 相の入力と接続されている。そして、半導体スイッチング素子 55、56 の中点は回転電機 10 の W 相の

10

20

30

40

50

入力と接続されている。半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 は、それぞれ半導体モジュール 6 1 から 6 6 に内蔵されている。

【 0 0 2 3 】

<半導体スイッチング素子>

半導体スイッチング素子には、一方向のみに電流を流すダイオード、大電流を扱うことに適したサイリスタ、高いスイッチング周波数で動作可能なパワー半導体スイッチング素子としてのパワートランジスタが用いられる。パワートランジスタは、自動車、冷蔵庫、エアコンディショナ等の幅広い分野に用いられている。パワートランジスタの中には、I G B T (Insulated Gate Bipolar Transistor)、M O S - F E T (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor) が存在し、これらのパワートランジスタは様々な用途により使い分けられている。

10

【 0 0 2 4 】

半導体スイッチング素子の材料として、近年、炭化ケイ素 (S i C : Silicon Carbide)、窒化ガリウム (G a N : Gallium Nitride) が注目されている。これらの材料により形成された半導体スイッチング素子は、従来のシリコン (S i : Silicon) を用いた半導体スイッチング素子に比べ、オン状態における半導体スイッチング素子の抵抗値が低く、電力損失を低減することができる。また、電子飽和速度が高く、オンおよびオフの状態の切り替えを高速化することで、電力損失を低減することができる。さらに、シリコンと比較し、炭化ケイ素もしくは窒化ガリウムを用いた半導体スイッチング素子は、より高温の環境下で駆動することが可能である。

20

【 0 0 2 5 】

半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 は、例えば図 1 に示すようなソース・ドレイン間にダイオードが内蔵された M O S - F E T である。なお、半導体スイッチング素子の種類、個数はこれに限定されたものでない。半導体スイッチング素子は、例えば I G B T および S i C による M O S F E T 等の半導体スイッチング素子でもよい。

【 0 0 2 6 】

さらに、インバータ回路 2 5 には、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の温度を検出するために、半導体モジュール 6 1 から 6 6 の内部または近傍に素子温度検出器 7 1 から 7 6 がそれぞれ設置されている。素子温度検出器 7 1 から 7 6 によって検出された温度検出値 T 1 から T 6 は、制御装置 9 0 に入力される。素子温度検出器 7 1 から 7 6 は、実施の形態 1 における素子温度検出器である。

30

【 0 0 2 7 】

なお、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の温度を検出する素子温度検出器 7 1 から 7 6 は、半導体モジュール 6 1 から 6 6 の内部に設置されてもよい。素子温度検出器 7 1 から 7 6 は、半導体モジュール 6 1 から 6 6 が設置される基板上に、半導体モジュール 6 1 から 6 6 の近傍に設置されてもよい。素子温度検出器 7 1 から 7 6 はサーミスタを想定している。なお、温度検出器はサーミスタに限定されるものではなく、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の半導体基板上に配置された温度検出用ダイオード等によって温度を検出する構成としてもよい。

【 0 0 2 8 】

電流検出部 2 6 は、U 相電流検出部 2 6 1、V 相電流検出部 2 6 2 および W 相電流検出部 2 6 3 により構成されている。U 相電流検出部 2 6 1、V 相電流検出部 2 6 2 および W 相電流検出部 2 6 3 は、例えば、シャント抵抗を用いて構成される。U 相電流検出部 2 6 1 は、U 相電流 I_u に対応する U 相電流検出値を制御装置 9 0 に出力する。V 相電流検出部 2 6 2 は、V 相電流 I_v に対応する V 相電流検出値を制御装置 9 0 に出力する。W 相電流検出部 2 6 3 は、W 相電流 I_w に対応する W 相電流検出値を制御装置 9 0 に出力する。なお、以下の説明では、U 相電流検出値、V 相電流検出値、W 相電流検出値を総称して電流検出値と称することがある。また、電流検出部 2 6 は、ホール素子等を用いた電流センサとしてもよい。

40

【 0 0 2 9 】

50

駆動回路 27 は、制御装置 90 から入力される PWM 信号に基づいて制御される。駆動回路 27 は、半導体スイッチング素子 51 から 56 のオンおよびオフを切り替える機能を有している。

【0030】

回転角センサ 11 は、レゾルバ、エンコーダ等により回転電機 10 のロータ回転角 m を検出するものである。回転角センサ 11 で検出されたロータ回転角 m は、制御装置 90 に出力される。ロータ回転角 m は、回転電機 10 の極対数に基づいて電気角 e に換算される。

【0031】

冷却装置 350 の冷却器 351 は、半導体スイッチング素子 51 から 56 を冷却する。冷却装置 350 は、例えば、水冷式冷却装置である。具体的には、冷却装置 350 は、水冷式の冷却器 351、ラジエータ 352、ウォータポンプ 353 等をホース等の冷却水配管で接続する構成である。ウォータポンプ 353 からラジエータ 352 を介し、冷却器 351 に、水、オイル、もしくは LLC (Long Life Coolant) 等の冷却媒体を流入させる。冷却媒体の流れの向きは、ラジエータ 352 からウォータポンプ 353 を介し冷却器 351 に流れることとしてもよい。

10

【0032】

水温センサ 36 は、実施の形態 1 における冷却媒体状態検出手段であり、冷却水配管の内部を流れる冷却媒体の温度 TW を検出し、制御装置 90 に出力する。水温センサ 36 は、たとえば、半導体モジュール直下の冷却器内に配置される。なお、水温センサ 36 は、冷却器内に配置される構成に限定される必要はなく、冷却水配管内に配置される構成でもよい。

20

【0033】

< 制御装置のハードウェア構成 >

図 2 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置 100 の制御装置 90 のハードウェア構成図である。図 2 は、制御装置 90 A、90 B にも適用できるが、ここでは代表させて制御装置 90 について説明する。本実施の形態では、制御装置 90 は、電力変換装置 100 を制御する制御装置である。制御装置 90 の各機能は、制御装置 90 が備えた処理回路により実現される。具体的には、制御装置 90 は、処理回路として、CPU (Central Processing Unit) 等の演算処理装置 80 (コンピュータ)、演算処理装置 80 とデータのやり取りをする記憶装置 81、演算処理装置 80 に外部の信号を入力する入力回路 82、及び演算処理装置 80 から外部に信号を出力する出力回路 83 等を備えている。

30

【0034】

演算処理装置 80 として、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、IC (Integrated Circuit)、DSP (Digital Signal Processor)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、各種の論理回路、及び各種の信号処理回路等が備えられてもよい。また、演算処理装置 80 として、同じ種類のものまたは異なる種類のものが複数備えられ、各処理が分担して実行されてもよい。記憶装置 81 として、演算処理装置 80 からデータを読み出し及び書き込みが可能に構成された RAM (Random Access Memory)、演算処理装置 80 からデータを読み出し可能に構成された ROM (Read only Memory) 等が備えられている。入力回路 82 は、回転角センサ 11、電圧検出部 24、電流検出部 26、素子温度検出器 71 から 76、水温センサ 36 を含み、各種のセンサ及びスイッチが接続され、これらセンサ及びスイッチの出力信号を演算処理装置 80 に入力する AD 変換部、入力回路等のインターフェース回路を備えている。出力回路 83 は、駆動回路 27 を含み、スイッチング素子、アクチュエータ等の電気負荷が接続され、これら電気負荷に演算処理装置 80 からの出力信号を変換して出力する駆動回路、通信回路等のインターフェース回路を備えている。

40

【0035】

制御装置 90 が備える各機能は、演算処理装置 80 が、ROM 等の記憶装置 81 に記憶されたソフトウェア (プログラム) を実行し、記憶装置 81、入力回路 82、及び出力回

50

路 8 3 等の制御装置 9 0 の他のハードウェアと協働することにより実現される。なお、制御装置 9 0 が用いる閾値、判定値等の設定データは、ソフトウェア（プログラム）の一部として、ROM 等の記憶装置 8 1 に記憶されている。

【 0 0 3 6 】

制御装置 9 0 の内部に搭載された各機能は、それぞれソフトウェアのモジュールで構成されるものであってもよい。しかし、制御装置 9 0 の内部に搭載された各機能は、ソフトウェアとハードウェアの組み合わせによって構成されるものであってもよい。

【 0 0 3 7 】

< 制御装置の機能ブロック >

図 3 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置 1 0 0 の制御装置 9 0 の機能ブロック図である。図 3 において、制御装置 9 0 は、温度閾値設定部 9 1、過熱保護制御部 9 2、電流指令生成部 9 3、三相・二相変換部 9 4、電圧指令生成部 9 5、二相・三相変換部 9 6、デューティ変換部 9 7 および PWM 信号生成部 9 8 を有する。

10

【 0 0 3 8 】

電流指令生成部 9 3 には、上位のシステム（不図示）からトルク指令値 T_{rq}^* が入力される。なお、回転電機 1 0 を制御するための制御指令としては、例えば、トルク指令、電流指令、電圧指令、等が挙げられる。実施の形態 1 では、制御指令としてトルク指令値 T_{rq}^* を採用する場合を例示する。電流指令生成部 9 3 は、このトルク指令値 T_{rq}^* に基づいて、d 軸電流指令値 I_d^* および q 軸電流指令値 I_q^* を生成する。

【 0 0 3 9 】

ここで、d 軸は、回転電機 1 0 の磁極位置、すなわち磁束の方向を示し、q 軸は、電氣的に d 軸と直交する方向を示しており、d - q 軸座標系を構成する。d - q 軸座標系は回転座標系であり磁石を有する回転電機 1 0 のロータが回転すると、d - q 軸座標系も回転する。

20

【 0 0 4 0 】

温度閾値設定部 9 1 は、本願の特徴である、冷却媒体の状態に基づいて過熱保護制御を実施する温度閾値を算出する機能を有する。

【 0 0 4 1 】

温度閾値設定部 9 1 は、水温センサ 3 6 から冷却媒体の温度 T_W が入力され、この冷却媒体の温度 T_W に基づいて、過熱保護制御を実施する温度閾値 O_T を算出する。そして、温度閾値 O_T を過熱保護制御部 9 2 に出力する。温度閾値設定部 9 1 のより詳細な構成については、後述する。

30

【 0 0 4 2 】

過熱保護制御部 9 2 は、本願の特徴である、冷却媒体の温度 T_W に基づいて算出された温度閾値 O_T に基づいて電流を制限するようにスイッチング素子の作動を制御する機能を有する。過熱保護制御部 9 2 は、d 軸電流指令値 I_d^* 、q 軸電流指令値 I_q^* 、温度閾値 O_T 、および素子温度検出器 7 1 から 7 6 から温度検出値 T_1 から T_6 が入力され、温度検出値 T_1 から T_6 の最大値が温度閾値 O_T より大きい場合に、d 軸電流指令値 I_d^* 、q 軸電流指令値 I_q^* を所定の電流指令値に制限して、d 軸電流指令値 I_{dc} 、q 軸電流指令値 I_{qc} を生成する。温度検出値 T_1 から T_6 の最大値が温度閾値 O_T より小さい場合には、d 軸電流指令値 I_d^* 、q 軸電流指令値 I_q^* を d 軸電流指令値 I_{dc} 、q 軸電流指令値 I_{qc} として生成する。

40

【 0 0 4 3 】

三相・二相変換部 9 4 は、電流検出部 2 6 の電流検出値と、回転角センサ 1 1 が検出した電気角 e に対応する角度検出値とから、d 軸電流検出値 I_d および q 軸電流検出値 I_q を算出する。ここで、電流検出部 2 6 の電流検出値は、U 相電流検出部 2 6 1 が検出した U 相電流 I_u に対応する U 相電流検出値と、V 相電流検出部 2 6 2 が検出した V 相電流 I_v に対応する V 相電流検出値と、W 相電流検出部 2 6 3 が検出した W 相電流 I_w に対応する W 相電流検出値とにより構成されている。

【 0 0 4 4 】

50

電圧指令生成部 95 は、d 軸電流指令値 I_{dc} および q 軸電流指令値 I_{qc} と、d 軸電流検出値 I_d および q 軸電流検出値 I_q とから、電流フィードバック演算を行うことで、d 軸電圧指令 V_{dc} および q 軸電圧指令 V_{qc} を算出する。具体的には、例えば、電圧指令生成部 95 は、d 軸電流指令値 I_{dc} と d 軸電流検出値 I_d との偏差である電流偏差 I_d と、q 軸電流指令値 I_{qc} と q 軸電流検出値 I_q との偏差である電流偏差 I_q とがそれぞれ「0」に収束するように、d 軸電圧指令 V_{dc} および q 軸電圧指令 V_{qc} を算出するように構成されている。(I_d 、 I_q は不図示)

【0045】

二相・三相変換部 96 は、電圧指令生成部 95 から取得した d 軸電圧指令 V_{dc} および q 軸電圧指令 V_{qc} と、回転角センサ 11 から取得した電気角 e とから、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} を算出する。なお、三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} は、電力変換部 20 に入力される直流電源電圧、すなわち、電圧検出部 24 により検出される入力電圧 V_{pn} 以下となるように設定されることが好ましい。

10

【0046】

デューティ変換部 97 は、二相・三相変換部 96 から取得した三相電圧指令 V_{uc} 、 V_{vc} 、 V_{wc} と、入力電圧 V_{pn} とから、三相の各相のデューティ指令 D_u 、 D_v 、 D_w を生成する。デューティ変換部 97 は、最適補正制御指令に対応したデューティ指令 D_u 、 D_v 、 D_w を生成して出力する。

【0047】

PWM 信号生成部 98 は、PWM 信号を生成する。PWM 信号生成部 98 は、デューティ変換部 97 から取得した各相のデューティ指令 D_u 、 D_v 、 D_w とから、半導体スイッチング素子 51 から 56 のそれぞれをオンおよびオフに切り替え制御するための PWM 信号を生成する。

20

【0048】

具体的には、PWM 信号生成部 98 は、各相のデューティ指令 D_u 、 D_v 、 D_w と、搬送波を比較することで、PWM 信号を生成する。PWM 信号生成部 98 は、例えば、上昇速度と下降速度とが互いに等しい 2 等辺三角形の形状を有する三角波をキャリアとする三角波比較方式、鋸波比較方式等を採用して PWM 信号を生成するように構成されている。

【0049】

なお、図 3 では、PWM 信号生成部 98 により生成された PWM 信号として、U 相上アームの半導体スイッチング素子 51 に与える PWM 信号 U_H_SW 、V 相上アームのスイッチング素子 53 に与える PWM 信号 V_H_SW 、W 相上アームのスイッチング素子 55 に与える PWM 信号 W_H_SW をそれぞれ示している。そして、同じく PWM 信号生成部 98 により生成された PWM 信号として、U 相下アームのスイッチング素子 52 に与える PWM 信号 U_L_SW 、V 相下アームのスイッチング素子 54 に与える PWM 信号 V_L_SW 、W 相下アームのスイッチング素子 56 に与える PWM 信号 W_L_SW 、をそれぞれ示している。

30

【0050】

PWM 信号生成部 98 により生成された PWM 信号は、制御装置 90 から電力変換部 20 の駆動回路 27 に入力される。駆動回路 27 により、PWM 信号に基づいて半導体スイッチング素子 51 から 56 のオンオフ動作されることで、直流電力を交流電力に変換し回転電機 10 に供給するとともに、回転電機 10 が回生状態において発生する回生電力を直流電源 12 に充電する。

40

【0051】

ここで、実施の形態 1 に係る電力変換装置 100 の特徴とする点は、制御装置 90 に温度閾値設定部 91、および過熱保護制御部 92 を設けた点である。そして、温度閾値設定部 91 において冷却媒体の温度 T_W に基づいて温度閾値 O_T を設定し、過熱保護制御部 92 において温度検出値 T_1 から T_6 と温度閾値 O_T とに基づいて d 軸電流指令値および q 軸電流指令値を所定の電流指令値に制限する。さらに、実施の形態 1 に係る電力変換装置の特徴とする点は、温度閾値設定部 91 は、冷却媒体の温度 T_W が高いほど温度閾値 O_T

50

を高く設定する点である。

【0052】

< 温度閾値OTが固定値である場合 >

ここで、実施の形態1に係る電力変換装置100の特徴である冷却媒体の温度TWに基づいて温度閾値OTを設定する効果を説明するために、温度閾値OTが固定値である場合について説明する。温度閾値OTが固定値である場合は冷却媒体の状態によっては半導体スイッチング素子51から56の温度上昇がまだ許容される状態にもかかわらず過剰に出力を制限するが発生する。この場合について、図4、5を用いて説明する。

【0053】

図4は、実施の形態1に係る電力変換装置100の固定された温度閾値OTと素子接合部温度TJの関係を説明する第一の図である。図5は、温度閾値OTと素子接合部温度TJの関係を説明する第二の図である。なお、冷却媒体は、水、オイル、もしくはLLC等の液体である。

10

【0054】

図4は、冷却媒体の温度TWが低い場合において、電力変換装置100を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合の半導体スイッチング素子51から56の接合部温度TJと素子温度検出器71から76による検出温度TDのタイムチャートを模式的に示した図である。ここで、接合部温度TJは特殊な試験装置、もしくは付加的な温度センサなどによって計測もしくは推定した半導体スイッチング素子の接合部温度であり、市場に適用される製品では計測が困難である。素子温度検出器71から76による温度検出値T1からT6は、以下では検出温度TDと総称して説明する。

20

【0055】

図5は、冷却媒体の温度TWが高い場合において、電力変換装置を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合の半導体スイッチング素子51から56の実際の接合部温度TJと素子温度検出器71から76による検出温度TDのタイムチャートを模式的に示した図である。なお、素子接合部温度TJと検出温度TDのタイムチャートに関して、冷却媒体の温度TWの高低による温度上昇の差異を判りやすく示すため、図4、5では過熱保護が実施されていない場合の温度のタイムチャートを示している。図4、5ともに、グラフの始点では、検出温度TD、接合部温度TJとも、冷却媒体の温度TWと等しくなっている。

【0056】

半導体スイッチング素子51から56の発熱体を冷却する冷却器351を備えた電力変換装置100において、冷却媒体の温度TWが低い場合には、冷却媒体の温度と半導体スイッチング素子の動作限界温度OTJの差は大きくなる。言い換えると、冷却媒体の温度を基準として許容される半導体スイッチング素子の温度上昇量は大きくなる。そのため、冷却媒体の温度が低い場合には、冷却媒体の温度が高い場合と比べて冷却性能（冷却能力）を低下させることが可能であり、冷却媒体を循環させるウォータポンプ353等のポンプ補機の電力抑制を目的に冷却媒体の流量を低下させることが一般的に行われる。また、冷却媒体である液体は、温度が低くなるにつれ粘度が高くなり流れにくくなる特性があり、そのため冷却媒体の流量低下が発生する場合もある。

30

【0057】

このような状態においては、冷却媒体の温度が高い場合と比べて、冷却媒体の流量が小さく冷却性能が低くなっている。そのため、図4に示すように、半導体スイッチング素子51から56の損失が同じとなる駆動を実施した場合に、冷却媒体の温度が高い場合と比べて、半導体スイッチング素子の温度上昇はより低い温度から開始され、温度上昇の傾きは急峻となる。

40

【0058】

半導体スイッチング素子51から56の温度を検出する素子温度検出器71から76には、前述したようにサーミスタ、温度検出用ダイオード等の温度センサが半導体モジュールの内部、半導体モジュール外の近傍に配置される。しかし、半導体スイッチング素子の温度が最も高くなる接合部温度（ジャンクション温度）TJを直接測定することは難しく

50

、検出温度 T_D は半導体スイッチング素子の接合部温度 T_J と乖離がある。

【 0 0 5 9 】

また、素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 T_D が測定対象の温度と一致するまでには時間的な遅れ（応答遅れ）も生じる。そのため、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の温度上昇が急である場合には、温度上昇が緩やかである場合に比べて、図 4 に示すように、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の正味の素子接合部温度 T_J と、素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 T_D の乖離が大きくなる。そのため、冷却媒体の温度 T_W が低い場合は高い場合と比べて、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} に達するときの素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 T_D は、図 4 に示すように充分低い値とする必要がある。

10

【 0 0 6 0 】

すなわち、検出温度 T_D が固定値である温度閾値 O_T を超過した場合に電力変換装置の出力を低減することで半導体スイッチング素子の過熱を防止する比較例では、図 4 に示す冷却媒体の温度 T_W が低い状態（冷却性能が低い状態）の場合に合わせて、半導体スイッチング素子の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} に達するときの素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 T_D から、温度閾値 O_T を十分に低い値に設定する必要がある。この場合、図 5 に示すように、冷却媒体の温度 T_W が高い状態（冷却性能が高い状態）では、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} にまだ達しておらず温度上昇がまだ許容される状態にもかかわらず、素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 T_D が所定の温度閾値 O_T を超過するため、過剰に過熱保護が実施される動作となる。

20

【 0 0 6 1 】

< 温度閾値 O_T を可変値とした場合 >

そこで、実施の形態 1 に係る電力変換装置 1 0 0 では、温度閾値設定部 9 1 において冷却媒体の温度 T_W に基づいて温度閾値 O_T を設定する構成とする。そして、冷却媒体の温度 T_W が高いほど温度閾値 O_T を高く設定する。

【 0 0 6 2 】

図 6 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置 1 0 0 の冷却媒体温度 T_W と可変に設定された温度閾値 O_T の関係を説明する図である。以下に、実施の形態 1 に係る電力変換装置 1 0 0 の特徴である温度閾値設定部 9 1 および過熱保護制御部 9 2 の動作について説明する。

30

【 0 0 6 3 】

温度閾値設定部 9 1 は、水温センサ 3 6 からの冷却媒体の温度 T_W を入力として、過熱保護制御を実施する温度閾値 O_T を出力する。温度閾値設定部 9 1 は、冷却媒体の温度 T_W に対する温度閾値 O_T の閾値設定マップを予め備えている。冷却媒体の温度 T_W に対する温度閾値 O_T は、半導体スイッチング素子の熱破壊を防止するため、最も厳しい駆動条件でも半導体スイッチング素子の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} を超えないように設定する必要がある。

【 0 0 6 4 】

冷却媒体の温度 T_W に対して温度閾値 O_T を決定する。冷却媒体の温度 T_W の各状態において、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 での電力損失が最も大きくなる駆動条件で電力変換装置 1 0 0 を駆動した場合に、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} に到達する時点の素子温度検出器 7 1 から 7 6 の検出温度 T_D から所定のマージン分だけ低い温度に温度閾値 O_T を設定する。

40

【 0 0 6 5 】

ここで、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} に到達する時点の素子温度検出器の検出温度 T_D は、図 4、5 を用いて説明したように、冷却媒体の温度が低い場合は高い場合と比べて、低い値となる。したがって、冷却媒体の温度 T_W に対する温度閾値 O_T の閾値設定マップは、図 6 に示すように、冷却媒体の温度 T_W が高いほど温度閾値 O_T が高くなる傾向として設定する。

50

【 0 0 6 6 】

過熱保護制御部 9 2 は、冷却媒体の温度 T_W に基づいて算出された温度閾値 O_T に基づいて電流を制限するように半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の作動を制御する機能を有する。過熱保護制御部 9 2 は、電流指令生成部 9 3 から d 軸電流指令値 I_d^* および q 軸電流指令値 I_q^* が入力され、温度閾値設定部 9 1 から温度閾値 O_T が入力され、素子温度検出器 7 1 から 7 6 から温度検出値 T_1 から T_6 が入力される。

【 0 0 6 7 】

過熱保護制御部 9 2 において、温度検出値 T_1 から T_6 の最大温度 T_{max} と温度閾値 O_T を比較し、最大温度 T_{max} が温度閾値 O_T より大きい場合に、d 軸電流指令値 I_d^* 、q 軸電流指令値 I_q^* に 1 より小さい割合（過熱保護ゲイン G ）を掛けた指令値を d 軸電流指令値 I_{dc} 、q 軸電流指令値 I_{qc} として生成し、電圧指令生成部 9 5 に出力する。この過熱保護ゲイン G は、最大温度 T_{max} が大きいほど小さい値となるように設定する。なお、過熱保護ゲイン G の設定はこの限りではなく、1 より小さい所定の値として設定しても良い。（ T_{max} は不図示）

10

【 0 0 6 8 】

温度検出値 T_1 から T_6 の最大温度 T_{max} が温度閾値 O_T より小さい場合には、d 軸電流指令値 I_d^* 、q 軸電流指令値 I_q^* を d 軸電流指令値 I_{dc} 、q 軸電流指令値 I_{qc} としてそのまま生成する。そして、これらを電圧指令生成部 9 5 に出力する。なお、最大温度 T_{max} と温度閾値 O_T との比較においては、所定のヒステリシスを設けて過熱保護制御の切替による発振を避けることとしてもよい。

20

【 0 0 6 9 】

また、過熱保護制御部 9 2 は、過熱保護制限を解除するための温度閾値として、温度閾値 O_T よりも低い温度である制限解除温度閾値 T_{rst} を設定し、最大温度 T_{max} が温度閾値 O_T より大きくなった場合には、最大温度 T_{max} が制限解除温度閾値 T_{rst} よりも低い温度となるまで前述の電流指令値の制限処理を継続する。（制限解除温度閾値 T_{rst} は不図示）

【 0 0 7 0 】

これにより、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の素子接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{TJ} を超過する恐れがある場合に、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 に流れる電流を減少させるように作動を制限する動作となり、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の損失が低減されることにより半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の温度上昇が抑制され、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{TJ} を超過して熱破壊することを防止することができる。

30

【 0 0 7 1 】

なお、過熱保護制御部 9 2 は、温度検出値 T_1 から T_6 の最大温度 T_{max} が温度閾値 O_T より大きい場合に、d 軸電流指令値 I_d^* 、q 軸電流指令値 I_q^* に 1 より小さい割合（過熱保護ゲイン G ）を掛けた指令値を d 軸電流指令値 I_{dc} 、q 軸電流指令値 I_{qc} として生成するとしたが、電流指令値を制限する方法はこれに限るものではない。例えば、d 軸電流指令値 I_d^* 、q 軸電流指令値 I_q^* を所定の電流指令値に制限して、d 軸電流指令値 I_{dc} 、q 軸電流指令値 I_{qc} として生成するようにしても良い。

40

【 0 0 7 2 】

< 効果の比較 >

ここで、図 7 から図 10 を用いて、以上の制御を適用した場合に、比較例と比べた効果について説明する。電力変換装置 100 によって、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の熱破壊を確実に防止しつつ、過剰に電力変換装置の出力を制限することを抑止できることを説明する。

【 0 0 7 3 】

図 7 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置 100 の固定された温度閾値 O_T による過熱防止時の温度の推移を示す第一のタイムチャートである。図 8 は、固定された温度閾値による過熱防止時の温度の推移を示す第二のタイムチャートである。

50

【 0 0 7 4 】

図 7、8 は、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 T_J と素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 T_D のタイムチャートである。図 7 は、冷却媒体の温度 T_W が低い場合において電力変換装置 1 0 0 を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合のタイムチャートである。図 8 は、冷却媒体の温度 T_W が高い場合において電力変換装置 1 0 0 を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合のタイムチャートである。

【 0 0 7 5 】

図 9 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置 1 0 0 の可変に設定された温度閾値 O_T による過熱防止時の温度の推移を示す第一のタイムチャートである。図 1 0 は、可変に設定された温度閾値 O_T による過熱防止時の温度の推移を示す第二のタイムチャートである。

10

【 0 0 7 6 】

図 9、1 0 は、可変に設定された温度閾値 O_T による過熱保護制限を適用した場合の半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 T_J と素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 T_D のタイムチャートである。図 9 は、冷却媒体の温度 T_W が低い場合において電力変換装置を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合のタイムチャートであり、図 1 0 は、冷却媒体の温度 T_W が高い場合において電力変換装置を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合のタイムチャートである。図 7 から 1 0 とともに、グラフの始点では、検出温度 T_D 、接合部温度 T_J とともに、冷却媒体の温度 T_W と等しくなっている。

【 0 0 7 7 】

固定された温度閾値 O_T による過熱保護制限を適用した場合には、冷却媒体の温度によらず同じ固定値である温度閾値 O_T で過熱保護制限を実施する。そのため、図 8 に示されるように、冷却媒体の温度が高い場合において、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} に対して十分低い温度であるにもかかわらず過熱保護制限が動作する。そのため、電力変換装置 1 0 0 は半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の能力を必要以上に制限することとなり、性能を十分発揮できない。

20

【 0 0 7 8 】

一方、可変に設定された温度閾値 O_T による過熱保護制限を適用した場合には、図 6 に示したように、冷却媒体の温度 T_W が低い場合は温度閾値 O_T を低く設定し、冷却媒体の温度 T_W が高いほど温度閾値 O_T が高くなるように設定して、過熱保護制限を実施する。このため、図 1 0 に示されるように、冷却媒体の温度 T_W が高い場合においても、半導体

30

【 0 0 7 9 】

図 1 1 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置 1 0 0 の固定された温度閾値 O_T による過熱防止時の冷却媒体温度 T_W と素子温度の関係を示す図である。図 1 2 は、可変に設定された温度閾値 O_T による過熱防止時の冷却媒体温度 T_W と素子温度の関係を示す図である。図 1 1、1 2 は、冷却媒体の温度 T_W に対する、過熱保護制限の温度閾値 O_T の設定、過熱保護制限を適用した場合の半導体スイッチング素子の実際に制限される最大接合部温度 $O_{T_{JC}}$ 、半導体スイッチング素子の動作限界温度 O_{T_J} の関係を示している。

【 0 0 8 0 】

固定された温度閾値 O_T による過熱保護制限では、図 1 1 に示されるように、冷却媒体の温度によらず一定の過熱保護制限の温度閾値 O_T を適用する。このため、冷却媒体の温度 T_W が高い場合において、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の実際に制限される最大接合部温度 $O_{T_{JC}}$ は動作限界温度 O_{T_J} に対して低い温度となる。言い換えると、冷却媒体の温度が高い場合には、動作限界温度 O_{T_J} に対して余裕があるにもかかわらず過剰に過熱保護制限を実施する挙動となる。

40

【 0 0 8 1 】

一方、可変に設定された温度閾値 O_T による過熱保護制限では、図 1 2 に示されるように、冷却媒体の温度が高いほど高くなる過熱保護制限の温度閾値 O_T を適用する。このため、冷却媒体の温度 T_W が高い場合においても、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の

50

実際に制限される最大接合部温度 OT_JC は動作限界温度 OT_J に近い温度となる。言い換えると、冷却媒体の温度 TW が高い場合にも、半導体スイッチング素子51から56の動作限界温度 OT_J を超過することを防止しつつ、過剰に電力変換装置の出力を制限することを抑制し効率的な電力変換装置を提供することができる。

<まとめ>

【0082】

以上に説明したように、実施の形態1の電力変換装置100は、冷却器351を流れる冷却媒体の状態を検出する冷却媒体状態検出手段として、冷却媒体の温度を検出する水温センサ36を有し、冷却媒体の温度 TW に基づいて過熱保護制限の温度閾値 OT を設定する。このため、冷却媒体の温度 TW が高いほど過熱保護制限の温度閾値 OT を高く設定する構成とすることができる。このために、適切に半導体スイッチング素子51から56の過熱を防ぎ、過剰に電力変換装置の出力を制限することを抑止し効率的な電力変換装置を提供することができる。

10

【0083】

なお、前述したようにインバータ回路25の半導体スイッチング素子51から56は、どのような半導体素子を用いて構成してもよい。例えば、ワイドバンドギャップ半導体を用いて構成することができる。ワイドバンドギャップ半導体の材料としては、SiC、GaN等が挙げられる。

【0084】

ワイドバンドギャップ半導体を用いて構成された半導体スイッチング素子51から56は、従来のシリコン半導体を用いて構成されたスイッチング素子に比べて耐熱性が向上しており、動作限界温度 OT_J を高く設定することができる。すなわち、ワイドバンドギャップ半導体は、動作限界温度 OT_J と冷却媒体の温度 TW の差が従来のシリコン半導体と比べて大きく、許容される温度上昇量が大きい。

20

【0085】

この場合、半導体スイッチング素子と素子温度検出器による検出温度 TD の乖離も相対的に大きくなる。したがって、冷却媒体の温度 TW の高低による過熱保護制限の温度閾値 OT の高低の差も大きくなる。すなわち、ワイドバンドギャップ半導体で構成されたスイッチング素子を用いた電力変換装置では、本実施の形態の特徴である冷却媒体の温度 TW に基づいて温度閾値 OT を変更して設定することにより、より効果的に電力変換装置の出力を過剰に制限することを防止することができる。

30

【0086】

また、半導体スイッチング素子51から56の温度を検出する素子温度検出器71から76は、サーミスタ、温度検出用ダイオード等であるとした。素子温度検出器が搭載される場所にも依存するが、一般的に、サーミスタの方が温度検出用ダイオードと比べて温度検出の応答性が悪く、半導体スイッチング素子の温度と素子温度検出器による検出温度 TD の乖離は、サーミスタを用いた場合の方が相対的に大きい。したがって、冷却媒体の温度の高低による過熱保護制限の温度閾値の高低の差も大きくなる。したがって、素子温度検出器にサーミスタを用いた構成とした電力変換装置では、本実施の形態の特徴である冷却媒体の温度に基づいて温度閾値を変更して設定することにより、より効果的に電力変換装置の出力を過剰に制限することを防止することができる。

40

【0087】

<第二の実施例>

図13は、実施の形態1に係る電力変換装置の第二の実施例の構成図である。上記に説明した電力変換装置100では、冷却媒体状態検出手段として水温センサ36を備える例を示した。冷却媒体の状態として冷却媒体の温度を水温センサ36により検出し、冷却媒体の温度が高いほど過熱保護制限の温度閾値 OT を高く設定する方式を説明した。

【0088】

図13の電力変換装置100Aでは、水温センサ36の代わりに冷却器351Aの温度を検出する冷却器温度センサ37を備える構成とした。冷却媒体状態検出手段として冷却

50

器温度センサ 37 を備え、冷却媒体の状態として冷却器 351A の温度を冷却器温度センサ 37 により検出し、冷却器の温度が高いほど過熱保護制限の温度閾値 OT を高く設定する方式としても良い。なお、制御装置 90 はハードウェア変更を必要とせず、ソフトウェア変更のみで適用できるの、符号を図 1 と同一とした。以下、第三の実施例から第六の実施例に係る制御装置 90 についても同様である。

【0089】

冷却器 351A の温度は冷却媒体の温度 TW が高いほど高くなるため、冷却器 351A の温度が高いほど過熱保護制限の温度閾値 OT を高く設定する方式とした場合も、冷却媒体の温度 TW が高いほど過熱保護制限の温度閾値 OT を高く設定することで電力変換装置 100A の出力を過剰に制限することを防止する効果を同様に得られる。

10

【0090】

また、本実施の形態では、冷却媒体状態検出手段として水温センサ 36、または冷却器温度センサ 37 を備える構成とした。しかし、必ずしも電力変換装置が水温センサ 36 または冷却器温度センサ 37 を備える必要はない。例えば、上位のシステム（不図示）など外部のシステムから冷却媒体の温度情報が、通信により電力変換装置に入力されることとしてもよい。

【0091】

< 第三の実施例 >

図 14 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置の第三の実施例の構成図である。図 1 では、電力変換装置 100 における半導体モジュール 61 から 66 では、半導体スイッチング素子 51 から 56 それぞれに素子温度検出器 71 から 76 を設ける構成とした。これに対し、図 14 に示す第三の実施例に係る電力変換装置 100B では、複数の半導体スイッチング素子 51 から 56 に対して一つの素子温度検出器 73 を設ける構成とした。この構成の変更により電力変換部 20A、インバータ回路 25A の符号を変更している。

20

【0092】

この場合、半導体スイッチング素子 51 から 56 の温度と相関がある所定の箇所に素子温度検出器 73 を設置する。これにより、ひとつの素子温度検出器 73 で複数の半導体スイッチング素子 51 から 56 の保護を実現することができる。部品点数を増加させずに過熱保護を行うことができ、電力変換器の低コスト化、小型化が可能となる。

【0093】

< 第四の実施例 >

図 15 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置の第四の実施例の構成図である。第三の実施例に係る電力変換装置 100B における半導体モジュール 61 から 66 はひとつの半導体スイッチング素子とひとつの素子温度検出器で構成されることとした。

【0094】

これに対し、図 15 に示す第四の実施例に係る電力変換装置 100C では、半導体モジュール 61、63、65 は、上段側の半導体スイッチング素子 51、53、55 と一つの素子温度検出器 73 で構成され、半導体モジュール 62、64、66 は、下段側のスイッチング素子 52、54、56 と一つの素子温度検出器 74 で構成されることとした。この構成の変更により電力変換部 20B、インバータ回路 25B の符号を変更している。

40

【0095】

これにより、上段側と下段側のそれぞれに素子温度検出器 73、74 を設置することができ、より細かく温度を検出することができる。また、ひとつの素子温度検出器で複数の半導体スイッチング素子の保護を実現することができ、部品点数を増加させずに過熱保護を行うことができ、電力変換器の低コスト化、小型化が可能になる効果も維持することができる。

【0096】

< 第五の実施例 >

図 16 は、実施の形態 1 に係る電力変換装置の第五の実施例の構成図である。第五の実施例に係る電力変換装置 100D では、上段側のスイッチング素子と下段側のスイッチ

50

グ素子と一つの素子温度検出器で1つの上下アームを構成することとした。この構成の変更により電力変換部20C、インバータ回路25Cの符号を変更している。

【0097】

上下アームごとに素子温度検出器を設けることで、よりきめ細かく温度を検出することができる。また、ひとつの素子温度検出器で複数の半導体スイッチング素子の保護を実現することができ、部品点数を増加させずに過熱保護を行うことができ、電力変換器の低コスト化、小型化が可能になる効果も維持することができる。

【0098】

<第六の実施例>

図17は、実施の形態1に係る電力変換装置の第六の実施例の構成図である。第一の実施例に係る電力変換装置100における半導体モジュール61から66はひとつの半導体スイッチング素子とひとつの素子温度検出器で構成されることとした。

【0099】

これに対し、図17に示す第六の実施例に係る電力変換装置100Eでは、半導体モジュール61Aから66Aは複数の半導体スイッチング素子51a、51bから56a、56bとひとつの素子温度検出器71から76で構成されることとした。この構成の変更により電力変換部20D、インバータ回路25Dの符号を変更している。

【0100】

これにより、半導体モジュール61Aから66Aに複数のスイッチング素子51a、51bから56a、56bが内蔵される構成においても、ひとつの温度検出器で複数の半導体スイッチング素子の保護を実現することができる。これによって、部品点数を増加させずに過熱保護を行うことができ、電力変換器の低コスト化、小型化が可能になる

【0101】

2. 実施の形態2

<電力変換装置の構成>

図18は、実施の形態2に係る電力変換装置100Fの構成図である。実施の形態2に係る電力変換装置100Fは、実施の形態1に係る図1の電力変換装置100に対し、冷却媒体状態検出手段と制御装置90Aに差異を有する。

【0102】

より詳細には、実施の形態2の電力変換装置100Fは、冷却媒体状態検出手段として水温センサ36に代えて冷却媒体の流量を検出する流量センサ38を冷却器351Bに備える。制御装置90Aは流量センサ38によって検出された冷却媒体の流量FWを入力する。そして、制御装置90Aは冷却媒体の流量FWに基づいて温度閾値OTを設定する。

【0103】

以下、実施の形態2に係る電力変換装置100Fの構成および動作について、図18から図28に基づいて、実施の形態1との差異を中心に説明する。なお、実施の形態1と同一あるいは対応する部分は、同一の符号を付している。

【0104】

電力変換装置100Fは、電力変換部20と制御装置90Aと冷却器351Bで構成されている。流量センサ38は、冷却水配管の内部を流れる冷却媒体の流量FWを検出し制御装置90Aに出力する。流量センサ38は、たとえば、冷却器351Bの冷却水配管内に配置される。

【0105】

<制御装置の機能ブロック>

図19は、実施の形態2に係る電力変換装置100Fの制御装置90Aの機能ブロック図である。制御装置90Aは、温度閾値設定部91A、過熱保護制御部92、電流指令生成部93、三相・二相変換部94、電圧指令生成部95、二相・三相変換部96、デューティ変換部97およびPWM信号生成部98を有する。過熱保護制御部92、電流指令生成部93、三相・二相変換部94、電圧指令生成部95、二相・三相変換部96、デューティ変換部97およびPWM信号生成部98は、実施の形態1と同一であるため、説明を

10

20

30

40

50

省略する。

【 0 1 0 6 】

温度閾値設定部 9 1 A は、本願の特徴である、冷却媒体の状態に基づいて過熱保護制御を実施する温度閾値を算出する機能を有する。温度閾値設定部 9 1 A には、流量センサ 3 8 から冷却媒体の流量 F W が入力される。この冷却媒体の流量 F W に基づいて、過熱保護制御を実施する温度閾値 O T が算出される。そして、算出された温度閾値 O T が過熱保護制御部 9 2 に出力される。温度閾値設定部 9 1 A の詳細については、後述する。

【 0 1 0 7 】

実施の形態 2 に係る電力変換装置 1 0 0 F の特徴とする点は、制御装置 9 0 A に温度閾値設定部 9 1 A、および過熱保護制御部 9 2 を設け、温度閾値設定部 9 1 A において冷却媒体の流量 F W に基づいて温度閾値 O T を設定し、過熱保護制御部 9 2 において温度検出値 T 1 から T 6 と温度閾値 O T との比較に基づいて d 軸電流指令値および q 軸電流指令値を所定の電流指令値に制限する点である。また、実施の形態 2 に係る電力変換装置 1 0 0 F の特徴とする点は、温度閾値設定部 9 1 B は、冷却媒体の流量 F W が大きいほど温度閾値 O T を高く設定する点である。

10

【 0 1 0 8 】

< 温度閾値 O T が固定値である場合 >

ここで、実施の形態 2 に係る電力変換装置 1 0 0 F の特徴である冷却媒体の流量 F W に基づいて温度閾値 O T を設定する効果を説明する。温度閾値 O T を固定値とした場合の課題について説明する。具体的には、温度閾値 O T を固定値とした場合は冷却媒体の状態によっては半導体スイッチング素子の温度上昇がまだ許容される状態にもかかわらず過剰に出力を制限する場合について、図 2 0、2 1 を用いて説明する。

20

【 0 1 0 9 】

図 2 0 は、実施の形態 2 に係る電力変換装置 1 0 0 F の固定された温度閾値 O T と検出温度 T D の関係を説明する第一の図である。図 2 1 は、固定された温度閾値 O T と検出温度 T D の関係を説明する第二の図である。

【 0 1 1 0 】

冷却媒体は、水、オイル、もしくは L L C 等の液体である。図 2 0 は、冷却媒体の流量が小さい場合において、電力変換装置 1 0 0 F を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合の半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 T J と素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 T D のタイムチャートを模式的に示した図である。図 2 1 は、冷却媒体の流量が大きい場合において、電力変換装置 1 0 0 F を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合の半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の温度と素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 T D のタイムチャートを模式的に示した図である。

30

【 0 1 1 1 】

なお、素子接合部温度 T J と検出温度 T D のタイムチャートに関して、冷却媒体の流量の大小による温度上昇の差異を判りやすく示すため、図 2 0、2 1 では過熱保護が実施されていない場合の温度のタイムチャートを示している。図 2 0、2 1 とともに、グラフの始点では、検出温度 T D、接合部温度 T J とともに、冷却媒体の温度 T W と等しくなる。

【 0 1 1 2 】

半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 等の発熱体を冷却する冷却器 3 5 1 B を備えた電力変換装置 1 0 0 F において、冷却媒体の流量が小さい場合には、冷却媒体の流量が大きい場合と比べて、冷却性能が低くなっている。そのため、図 2 0 に示すように、半導体スイッチング素子の損失が同じとなる駆動を実施した場合でも、冷却媒体の流量が大きい場合と比べて、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の温度上昇は急になる。

40

【 0 1 1 3 】

実施の形態 1 で説明したと同様に、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の検出温度 T D は、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の正味の接合部温度 T J と乖離がある。また、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の検出温度 T D は、測定対象の温度と一致するまでには時間的な遅れ（応答遅れ）もある。そのため、半導体スイッチング素子 5 1 から 5

50

6の温度上昇が急である場合には、温度上昇が緩やかである場合に比べて、図20に示すように、半導体スイッチング素子の正味の素子接合部温度 T_J と、素子温度検出器71から76による検出温度 T_D の乖離が大きくなる。

【0114】

そのため、冷却媒体の流量が小さい場合は大きい場合と比べて、半導体スイッチング素子51から56の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} に達するときの素子温度検出器71から76による検出温度 T_D は、低い値となる。このときの過熱保護を開始する温度を温度閾値 O_T として設定する必要がある。

【0115】

検出温度 T_D が所定の温度閾値 O_T を超過した場合に電力変換装置100Fの出力を低減することで半導体スイッチング素子51から56の過熱破壊を防止する。温度閾値 O_T を固定値とした比較例では、冷却媒体の流量が小さい状態（冷却性能が低い状態）の場合に合わせて温度閾値 O_T を設定する必要がある。半導体スイッチング素子51から56の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} に達するときの素子温度検出器71から76による検出温度 T_D を、温度閾値 O_T に設定する。

10

【0116】

言い換えると、図21に示すように、冷却媒体の流量が大きい状態（冷却性能が高い状態）では、半導体スイッチング素子51から56の接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} にまだ達しておらず温度上昇がまだ許容される状態で、過熱保護が開始されることとなる。素子温度検出器71から76による検出温度 T_D が温度閾値 O_T を超過するため、過剰に過熱保護が実施される動作となる。

20

【0117】

<温度閾値 O_T を可変値とした場合>

図22は、実施の形態2に係る電力変換装置100Fの冷却媒体流量 F_W と可変に設定された温度閾値 O_T の関係を説明する図である。電力変換装置100Fでは、温度閾値設定部91Aにおいて冷却媒体の流量 F_W に基づいて温度閾値 O_T を設定する構成とする。具体的には、図22に示すように、冷却媒体の流量 F_W が大きいほど温度閾値 O_T を高く設定することとなる。

【0118】

以下に、実施の形態2に係る電力変換装置100Fの特徴である温度閾値設定部91Aの動作について、説明する。温度閾値設定部91Aは、流量センサ38からの冷却媒体の流量 F_W を入力として、過熱保護制御を実施する温度閾値 O_T を出力する。

30

【0119】

温度閾値設定部91Aは、冷却媒体の流量 F_W に対する温度閾値 O_T の閾値設定マップを予め備えている。冷却媒体の流量 F_W に対する温度閾値 O_T は、半導体スイッチング素子51から56の熱破壊を防止するため、最も厳しい駆動条件でも半導体スイッチング素子51から56の温度が動作限界温度 O_{T_J} を超えないように設定する必要がある。

【0120】

したがって、冷却媒体の流量 F_W に対する温度閾値 O_T は、それぞれの冷却媒体の流量 F_W の各状態において、半導体スイッチング素子での電力損失が最も大きくなる駆動条件で電力変換装置100Fを駆動した場合に決定する。半導体スイッチング素子51から56の素子接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} に到達する時点の素子温度検出器71から76の検出温度 T_D から所定のマージン分だけ低い温度を温度閾値 O_T に設定する。

40

【0121】

ここで、半導体スイッチング素子の素子接合部温度 T_J が動作限界温度 O_{T_J} に到達する時点の素子温度検出器71から76の検出温度 T_D は、図22を用いて説明した。冷却媒体の流量が小さい場合は大きい場合と比べて、温度閾値 O_T は低い値となる。したがって、冷却媒体の流量 F_W に対する温度閾値 O_T の閾値設定マップは、図22に示すように、冷却媒体の流量 F_W が大きいほど温度閾値 O_T が高くなる傾向を特徴として設定される。

50

【 0 1 2 2 】

< 効果の比較 >

図 2 3 から図 2 8 を用いて、温度閾値 $O T$ が固定値である場合と、温度閾値 $O T$ を可変値とした場合を比べる。温度閾値 $O T$ を可変値とすることで、半導体スイッチング素子の熱破壊を確実に防止しつつ、過剰に電力変換装置の出力を制限することを防止できることを説明する。

【 0 1 2 3 】

図 2 3 は、実施の形態 2 に係る電力変換装置 1 0 0 F の固定された温度閾値 $O T$ による過熱防止時の温度の推移を示す第一のタイムチャートである。図 2 4 は、固定された温度閾値 $O T$ による過熱防止時の温度の推移を示す第二のタイムチャートである。

10

【 0 1 2 4 】

図 2 3、2 4 は、固定された温度閾値 $O T$ による過熱保護制限を適用した場合の半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 $T J$ と素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 $T D$ のタイムチャートを模式的に示した図である。図 2 3 は、冷却媒体の流量が小さい場合において電力変換装置を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合のタイムチャートである。図 2 4 は、冷却媒体の流量が大きい場合において電力変換装置を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合のタイムチャートである。図 2 3、2 4 とともに、グラフの始点では、検出温度 $T D$ 、接合部温度 $T J$ とともに、冷却媒体の温度 $T W$ と等しくなっている。

【 0 1 2 5 】

図 2 5 は、実施の形態 2 に係る電力変換装置 1 0 0 F の可変に設定された温度閾値 $O T$ による過熱防止時の温度の推移を示す第一のタイムチャートである。図 2 6 は、可変に設定された温度閾値 $O T$ による過熱防止時の温度の推移を示す第二のタイムチャートである。

20

【 0 1 2 6 】

図 2 5、2 6 は、可変に設定された温度閾値 $O T$ による過熱保護制限を適用した場合の半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 $T J$ と素子温度検出器 7 1 から 7 6 による検出温度 $T D$ のタイムチャートを模式的に示した図である。図 2 5 は、冷却媒体の流量が小さい場合において電力変換装置 1 0 0 F を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合のタイムチャートである。図 2 6 は、冷却媒体の流量が大きい場合において電力変換装置 1 0 0 F を停止状態から一定の負荷で駆動させた場合のタイムチャートである。図 2 5、2 6 とともに、グラフの始点では、検出温度 $T D$ 、接合部温度 $T J$ とともに、冷却媒体の温度 $T W$ と等しくなっている。

30

【 0 1 2 7 】

固定された温度閾値 $O T$ による過熱保護制限を適用した場合には、冷却媒体の流量 $F W$ によらず同じ温度閾値 $O T$ で過熱保護制限を実施する。そのため、図 2 4 に示されるように、冷却媒体の流量が大きい場合において、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 $T J$ が動作限界温度 $O T J$ に対して十分低い温度であるにもかかわらず過熱保護制限が動作する挙動となる。

【 0 1 2 8 】

これに対し、可変に設定された温度閾値 $O T$ による過熱保護制限を適用した場合には、冷却媒体の流量 $F W$ が大きいほど高くなるように設定された温度閾値 $O T$ で過熱保護制限を実施する。そのため、図 2 6 に示されるように、冷却媒体の流量 $F W$ が大きい場合においても、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の接合部温度 $T J$ が動作限界温度 $O T J$ に近い温度になった状態で過熱保護制限が動作する挙動となる。

40

【 0 1 2 9 】

図 2 7 は、実施の形態 2 に係る電力変換装置 1 0 0 F の固定された温度閾値 $O T$ による過熱防止時の冷却媒体流量 $F W$ と素子温度の関係を示す図である。図 2 8 は、可変に設定された温度閾値 $O T$ による過熱防止時の冷却媒体流量 $F W$ と素子温度の関係を示す図である。

50

【 0 1 3 0 】

図 27、28 は、冷却媒体の流量 $F W$ に対する、過熱保護制限の閾値 $O T$ の設定、過熱保護制限を適用した場合の半導体スイッチング素子 51 から 56 の実際に制限される最大接合部温度 $O T J C$ 、半導体スイッチング素子 51 から 56 の動作限界温度 $O T J$ の関係を示している。図 27 は、固定された温度閾値 $O T$ による過熱保護制限を示した図であり、図 28 は、可変に設定された温度閾値 $O T$ による過熱保護制限を示した図である。

【 0 1 3 1 】

固定された温度閾値 $O T$ による過熱保護制限では、図 27 で示されるように、冷却媒体の流量 $F W$ によらず一定の過熱保護制限の温度閾値 $O T$ を適用する。そのため、冷却媒体の流量 $F W$ が大きい場合において、半導体スイッチング素子 51 から 56 の実際に制限される最大接合部温度 $O T J C$ は動作限界温度 $O T J$ に対して低い温度となる。言い換えると、冷却媒体の流量 $F W$ が大きい場合には、動作限界温度 $O T J$ に対して余裕があるにもかかわらず過剰に過熱保護制限を実施する挙動となる。

10

【 0 1 3 2 】

これに対し、可変に設定された温度閾値 $O T$ による過熱保護制限では、図 28 で示されるように、冷却媒体の流量 $F W$ が大きいほど高くなる過熱保護制限の温度閾値 $O T$ を適用する。そのため、冷却媒体の流量 $F W$ が大きい場合においても、半導体スイッチング素子 51 から 56 の実際に制限される最大接合部温度 $O T J C$ は動作限界温度 $O T J$ に近い温度となる。言い換えると、冷却媒体の流量 $F W$ が大きい場合にも、過剰に過熱保護制限を実施することなく、半導体スイッチング素子 51 から 56 の動作限界温度 $O T J$ を超過することを防止する挙動となる。

20

【 0 1 3 3 】

以上のように、実施の形態 2 に係る電力変換装置 100 F の特徴である、冷却媒体の流量に基づいて温度閾値 $O T$ を変更して設定し、半導体スイッチング素子 51 から 56 の検出温度 $T D$ がこの温度閾値 $O T$ より高い場合に電力変換装置 100 F の出力を制限する構成とすることができる。それによって、固定された温度閾値 $O T$ による半導体スイッチング素子の過熱保護方式と比べて、半導体スイッチング素子 51 から 56 の過熱状態をより適切に判定し、半導体スイッチング素子 51 から 56 の熱破壊を確実に防止しつつ、過剰に電力変換装置 100 F の出力を制限することを抑止することが可能となる。

【 0 1 3 4 】

なお、実施の形態 2 に係る電力変換装置 100 F は、冷却媒体状態検出手段として流量センサ 38 を備える構成とした。しかし、必ずしも電力変換装置 100 F が流量センサ 38 を備える必要はない。例えば、上位のシステム（不図示）など外部のシステムから冷却媒体の流量情報が通信により電力変換装置に入力されることで冷却媒体の流量 $F W$ を取得する構成であっても良い。

30

【 0 1 3 5 】

実施の形態 2 に係る電力変換装置 100 F は、冷却媒体の流量 $F W$ に基づいて過熱保護制限の温度閾値 $O T$ を設定することを特徴とする。電力変換装置 100 F が搭載されるシステムによっては、ウォータポンプ 353 を間欠駆動するようなシステムも存在する。このようなシステムにおいては、冷却媒体の流量 $F W$ も間欠的に増減を繰り返す。このようなシステムにおいては、冷却媒体の流量 $F W$ としては流量が増減する冷却媒体の小さい流量に基づいて過熱保護制限の温度閾値 $O T$ を設定する方式としてもよい。そうすることで、半導体スイッチング素子の熱破壊を確実に防止することが可能である。

40

【 0 1 3 6 】

なお、ウォータポンプ 353 が間欠駆動される場合の過熱保護制限の温度閾値 $O T$ の設定方式はこの限りではない。たとえば、流量が増減する冷却媒体の平均流量に基づいて過熱保護制限の温度閾値 $O T$ を設定する方式とすることも可能である。これにより、過剰に電力変換装置 100 F の出力を制限することをより適切に抑制することができる。

【 0 1 3 7 】

3 . 実施の形態 3

50

図 29 は、実施の形態 3 に係る電力変換装置 100G の構成図である。図 30 は、実施の形態 3 に係る電力変換装置 100G の制御装置 90B の機能ブロック図である。図 31 は、実施の形態 3 に係る電力変換装置 100G の温度閾値 OT の設定方法を説明する図である。

【0138】

実施の形態 3 に係る電力変換装置 100G は、冷却媒体状態検出手段として水温センサ 36 と流量センサ 38 の両方を冷却器 351C に備える。制御装置 90B は、水温センサ 36 によって検出された冷却媒体の温度 TW と、流量センサ 38 によって検出された冷却媒体の流量 FW を入力する。そして、制御装置 90B の、温度閾値設定部 91B は冷却媒体の温度 TW と流量 FW に基づいて温度閾値 OT を設定する。

10

【0139】

温度閾値設定部 91B は、冷却媒体の温度 TW が大きいほど温度閾値 OT を高く設定し、冷却媒体の流量 FW が大きいほど温度閾値 OT を高く設定することを特徴とする。温度閾値設定部 91B は、冷却媒体の温度 TW と流量 FW を取得する。そして、その動作条件における半導体スイッチング素子 51 から 56 の接合部温度 TJ と素子温度検出器 71 から 76 の検出温度 TD の温度乖離指標 ITGAP を後述する方法で算出する。温度乖離指標 ITGAP に基づいて温度閾値 OT を設定する。そして、冷却媒体の温度 TW が大きいほど温度閾値 OT を高く設定し、冷却媒体の流量 FW が大きいほど温度閾値 OT を高く設定する。

【0140】

温度閾値設定部 91B は、半導体スイッチング素子 51 から 56 の動作限界温度 OTJ と、冷却媒体の温度 TW の差から冷却媒体の許容温度上昇量 T を算出する。すなわち、 $T = OTJ - TW$ として T を算出する。

20

【0141】

実施の形態 1 で説明したように、冷却媒体の温度 TW が大きいほど、すなわち、この許容温度上昇量 T が小さいほど、半導体スイッチング素子 51 から 56 が過熱状態に至る場合に、半導体スイッチング素子 51 から 56 の接合部温度 TJ と素子温度検出器 71 から 76 の検出温度 TD の温度乖離量 TGAP は小さくなる。 $TGAP = TJ - TD$ として TGAP を算出することができる。

【0142】

また、実施の形態 2 で説明したように、冷却媒体の流量 FW が大きいほど、半導体スイッチング素子 51 から 56 が過熱状態に至る場合に、半導体スイッチング素子 51 から 56 の接合部温度 TJ と素子温度検出器 71 から 76 の検出温度 TD の温度乖離量 TGAP は小さくなる。

30

【0143】

この温度乖離量 TGAP が小さいほど、温度閾値 OT は高く設定することができる。すなわち、冷却媒体の許容温度上昇量 T が小さく、冷却媒体の流量 FW が大きいほど、温度閾値 OT は高く設定することができる。

【0144】

実施の形態 3 では、許容温度上昇量 T を冷却媒体の流量 FW で除算することで温度乖離指標 ITGAP を算出する。すなわち、 $ITGAP = T / FW$ として ITGAP を算出する。図 31 に示すようにこの温度乖離指標 ITGAP が小さいほど、温度閾値 OT を高く設定する。

40

【0145】

これにより、冷却媒体の温度 TW および流量 FW に基づいて、温度閾値 OT を設定することができる。冷却媒体の温度 TW が大きいほど温度閾値 OT が高く設定され、冷却媒体の流量 FW が大きいほど温度閾値 OT が高く設定される。

【0146】

なお、実施の形態 3 に係る電力変換装置 100G では、許容温度上昇量 T を冷却媒体の流量 FW で除算することで温度乖離指標 ITGAP を算出し、この温度乖離指標 ITG

50

A P が小さいほど、温度閾値 O T を高く設定する構成とした。しかし、冷却媒体の温度 T W と冷却媒体の流量 F W の組み合わせに対応する温度閾値 O T の情報を 3 次元マップとして予め備える構成としても良い。この 3 次元マップは、冷却媒体の温度 T W が大きいほど温度閾値 O T が高くなり、冷却媒体の流量 F W が大きいほど温度閾値 O T が高くなる値が設定される。

【 0 1 4 7 】

実施の形態 3 に係る電力変換装置 1 0 0 G によれば、冷却媒体の温度 T W と流量 F W を取得することによって、より正確に半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の過熱防止を実施することができる。これによって、半導体スイッチング素子 5 1 から 5 6 の過熱をより適切に防止しつつ、過剰に電力変換装置 1 0 0 G の出力を制限することを抑制し効率的な電力変換装置 1 0 0 G を提供することができる。

10

【 0 1 4 8 】

上記の各実施の形態に係る電力変換装置において、電流の制限方法として、d 軸電流指令値 I d *、q 軸電流指令値 I q * に対して電流指令値を制限する構成とした。しかし、等価的に電流指令を制限する方法であれば、電流を制限する方法はこれに限定されるものでない。

【 0 1 4 9 】

例えば、上位のシステム（不図示）から入力される指令を制限する方法でも良い。より具体的には、トルク指令値 T r q * に対して、所定のトルク指令値に制限することで等価的に電流指令値を下げるようにしても良い。また、トルク指令値 T r q * に所定の 1 より小さい割合を掛けた指令値に制限することで、等価的に電流指令値を下げるようにしても良い。

20

【 0 1 5 0 】

また、上記実施の形態に係る電力変換装置は、直流電力から交流電力へ変換するインバータを想定して記載したが、電力変換装置の種類はこれに限るものではない。半導体スイッチング素子を備え電力の出力形態を変換する電力変換装置であればよい。例えば、交流電力を直流電力へ変換する A C / D C コンバータ、直流電力の電圧と電流のレベルを変化させて出力する D C / D C コンバータであってもよい。

【 0 1 5 1 】

本願は、様々な例示的な実施の形態及び実施例が記載されているが、1 つ、または複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。

30

したがって、例示されていない無数の変形例が、本願に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも 1 つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも 1 つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

【 0 1 5 2 】

以下、本開示の諸態様を付記としてまとめて記載する。

【 0 1 5 3 】

(付 記 1)

電流を通電、遮断するスイッチング素子、
前記スイッチング素子の温度を検出する素子温度検出器、
前記スイッチング素子を冷却する冷却器、
前記冷却器を通過する冷却媒体の状態を検出する冷却媒体状態検出器、および、
前記スイッチング素子を制御して電力変換を行うとともに、前記スイッチング素子の過熱防止制御を行う制御装置、を備えた電力変換装置において、

40

前記制御装置は、前記冷却媒体状態検出器によって検出された前記冷却媒体の状態に基づいて過熱防止制御の要否を判定するための温度閾値を決定し、前記素子温度検出器によって検出された温度が前記温度閾値よりも高い場合に前記スイッチング素子の作動を制限して過熱防止制御を行う電力変換装置。

50

(付記 2)

前記冷却媒体状態検出器は、前記冷却媒体の温度を検出する冷却媒体温度検出器である付記 1 に記載の電力変換装置。

(付記 3)

前記冷却媒体状態検出器は、前記冷却器の温度を検出する冷却器温度検出器である付記 1 に記載の電力変換装置。

(付記 4)

前記制御装置は、前記冷却媒体状態検出器によって検出された温度が高くなるに従って、前記温度閾値を高く設定する付記 2 または 3 に記載の電力変換装置。

(付記 5)

前記制御装置は、前記素子温度検出器によって検出された温度が前記温度閾値よりも高い場合は、前記素子温度検出器によって検出された温度と前記温度閾値との差が大きくなるに従って前記スイッチング素子の作動を制限する制限率を高くする付記 1 から 4 のいずれか一項に記載の電力変換装置。

(付記 6)

前記冷却媒体状態検出器は、前記冷却媒体の流量を検出する冷却媒体流量検出器である付記 1 に記載の電力変換装置。

(付記 7)

前記制御装置は、前記冷却媒体流量検出器によって検出した冷却媒体の流量が多くなるに従って、前記温度閾値を高く設定する付記 6 に記載の電力変換装置。

(付記 8)

前記冷却媒体状態検出器として、前記冷却媒体の温度を検出する冷却媒体温度検出器、および、前記冷却媒体の流量を検出する冷却媒体流量検出器、を備え、

前記制御装置は、前記冷却媒体温度検出器によって検出された前記冷却媒体の温度と、前記冷却媒体流量検出器によって検出された前記冷却媒体の流量と、に基づいて前記温度閾値を決定する付記 1 に記載の電力変換装置。

(付記 9)

前記制御装置は、前記冷却媒体流量検出器によって検出された冷却媒体の流量が多くなるに従って前記温度閾値を高く設定し、かつ、前記冷却媒体状態検出器によって検出された温度が高くなるに従って、前記温度閾値を高く設定する付記 8 に記載の電力変換装置。

(付記 10)

前記スイッチング素子は並列に複数設けられ、

前記素子温度検出器の数は、前記スイッチング素子の数よりも少ない付記 1 から 9 のいずれか一項に記載の電力変換装置。

(付記 11)

直流電源の正極側に接続された正極側スイッチング素子と、前記直流電源の負極側に接続された負極側スイッチング素子と、前記正極側スイッチング素子および前記負極側スイッチング素子を直列に接続するとともに外部に電流を供給する外部接続点と、が夫々設けられた複数相のアーム、

前記正極側スイッチング素子の温度を検出する正極側素子温度検出器、および

前記負極側スイッチング素子の温度を検出する負極側素子温度検出器、を備え、

前記制御装置は、前記正極側素子温度検出器または前記負極側素子温度検出器によって検出された温度が前記温度閾値よりも大きい場合に前記スイッチング素子の作動を制限する付記 10 に記載の電力変換装置。

(付記 12)

前記素子温度検出器はサーミスタである付記 1 から 11 のいずれか一項に記載の電力変換装置。

(付記 13)

前記スイッチング素子はワイドバンドギャップ半導体で形成された付記 1 から 12 のいずれか一項に記載の電力変換装置。

10

20

30

40

50

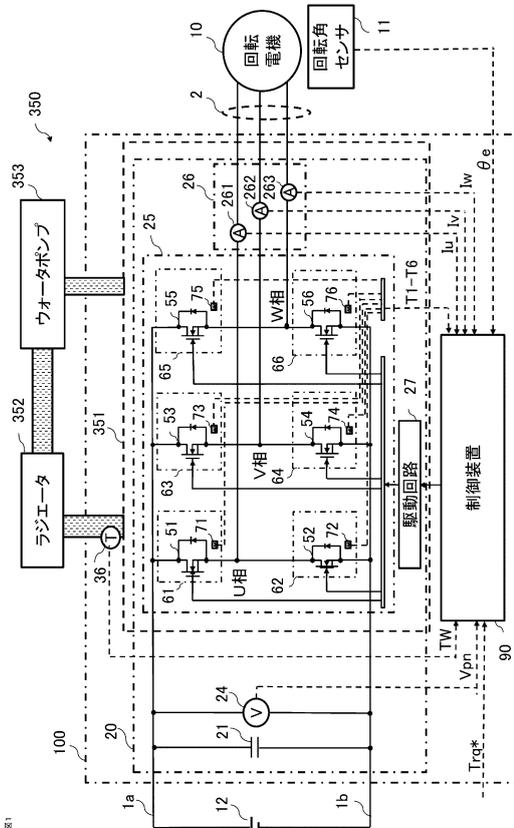
【符号の説明】

【0154】

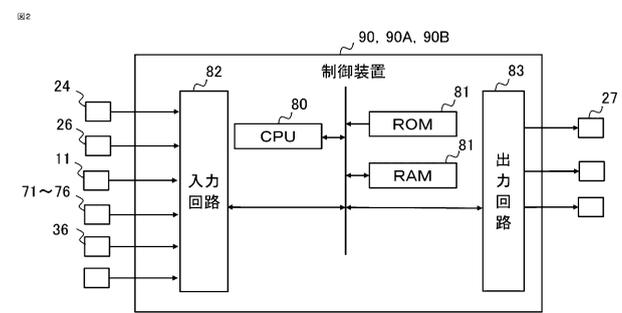
12 直流電源、36 水温センサ、37 冷却器温度センサ、38 流量センサ、51、51 a、51 b、52、52 a、52 b、53、53 a、53 b、54、54 a、54 b、55、55 a、55 b、56、56 a、56 b 半導体スイッチング素子、71、72、73、74、75、76 素子温度検出器、90、90 A、90 B 制御装置、100、100 A、100 B、100 C、100 D、100 E、100 F、100 G 電力変換装置、351、351 A、351 B 冷却器

【図面】

【図1】



【図2】



10

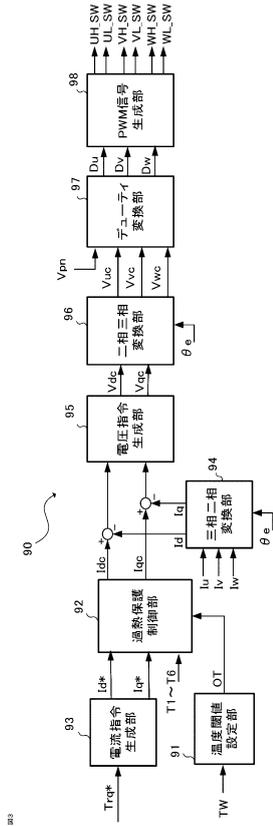
20

30

40

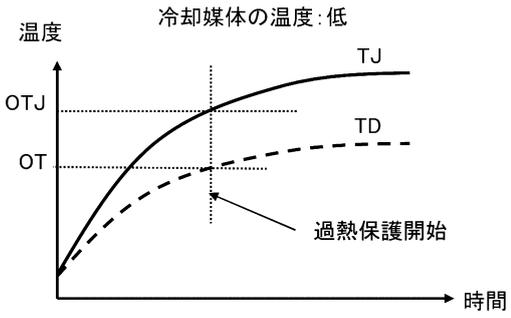
50

【 図 3 】



【 図 4 】

図4

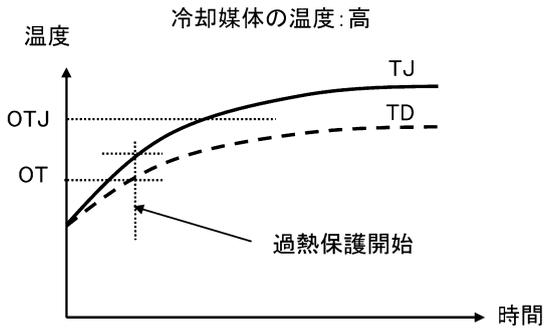


10

20

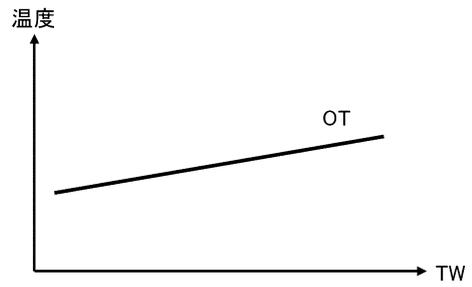
【 図 5 】

図5



【 図 6 】

図6

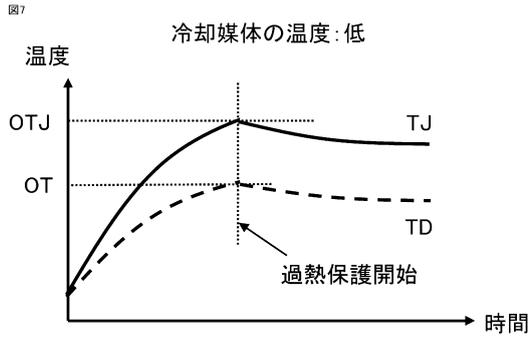


30

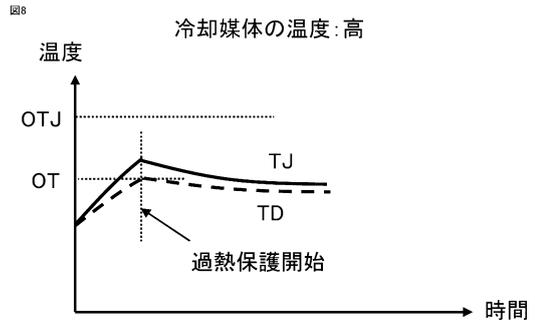
40

50

【 図 7 】

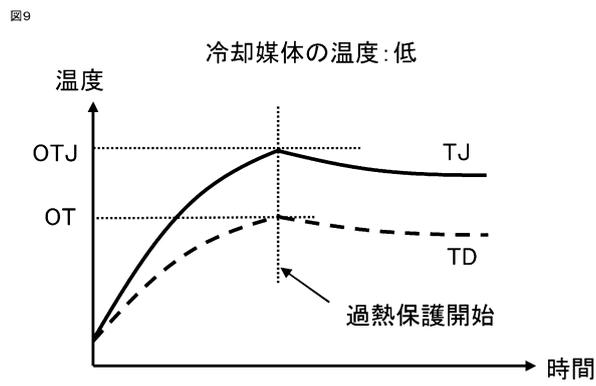


【 図 8 】

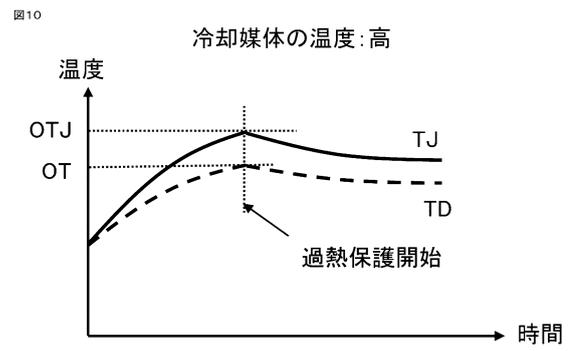


10

【 図 9 】

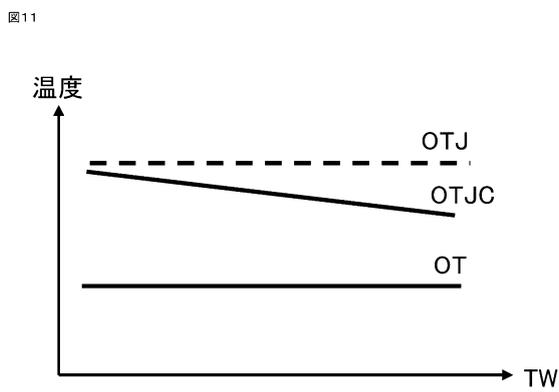


【 図 1 0 】

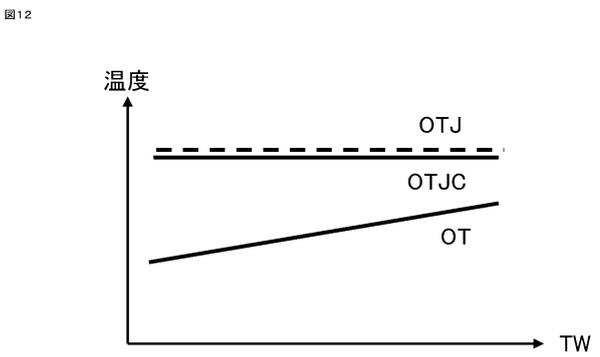


20

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



30

40

50

【 図 1 3 】

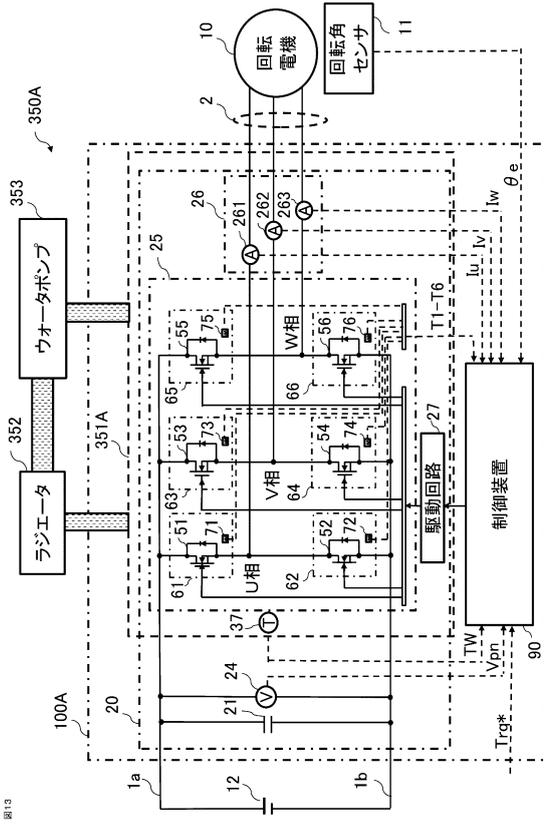


図13

【 図 1 4 】

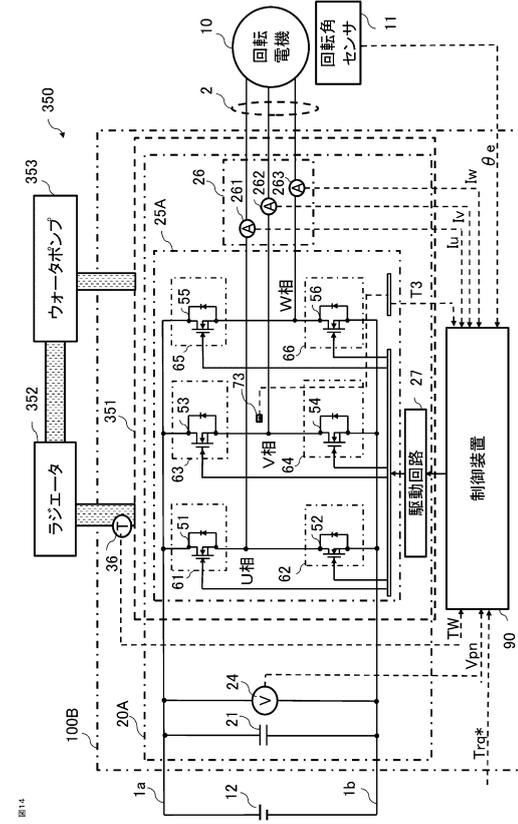


図14

【 図 1 5 】

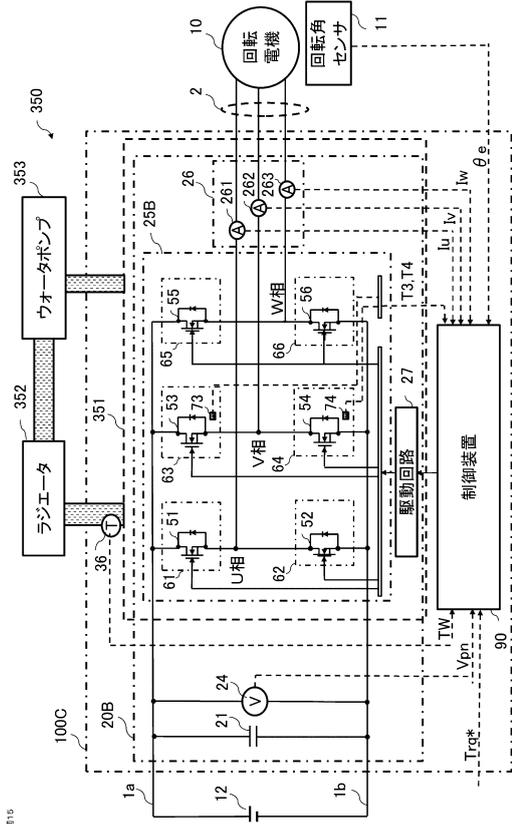


図15

【 図 1 6 】

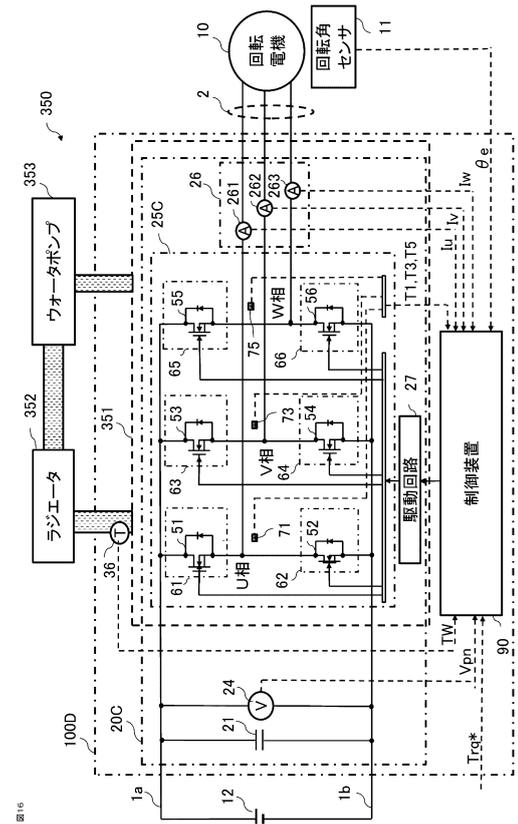


図16

10

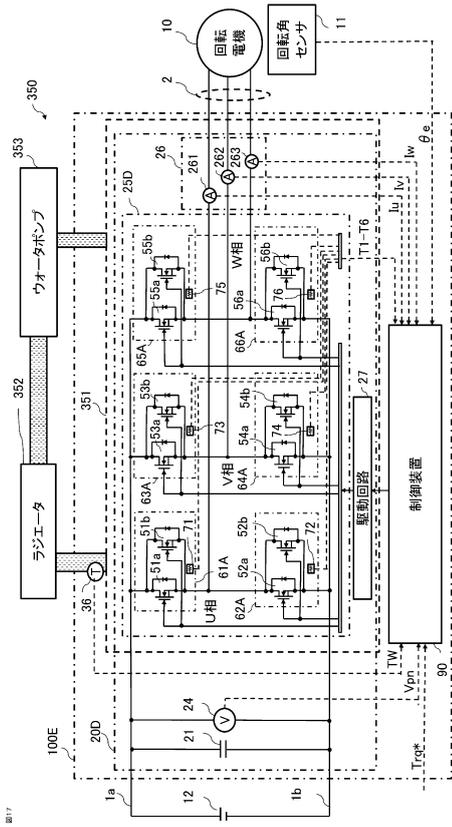
20

30

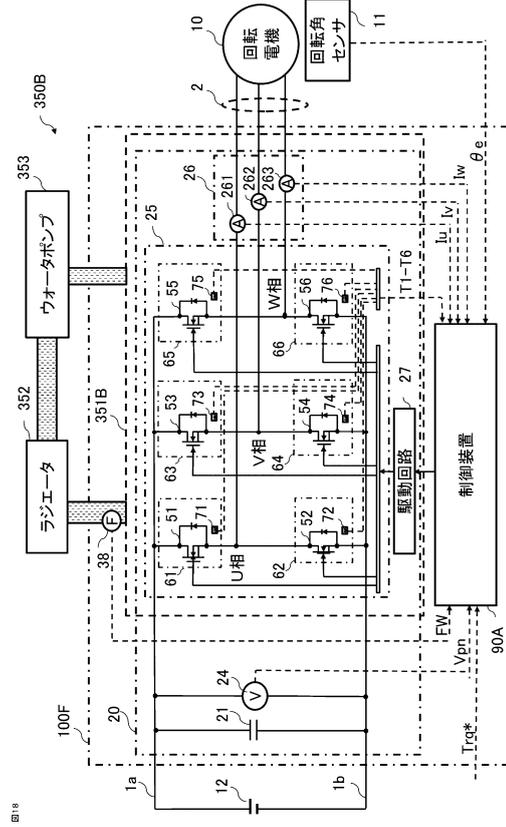
40

50

【 図 1 7 】



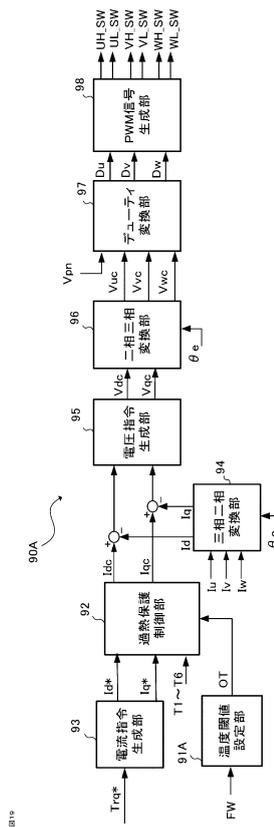
【 図 1 8 】



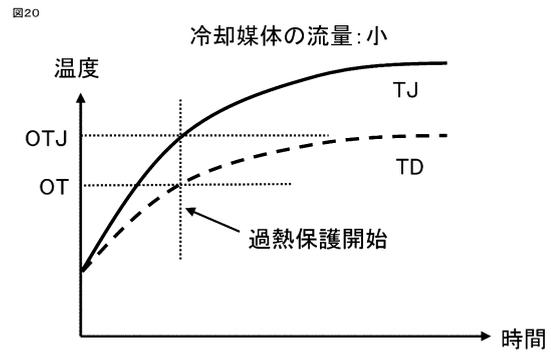
10

20

【 図 1 9 】



【 図 2 0 】

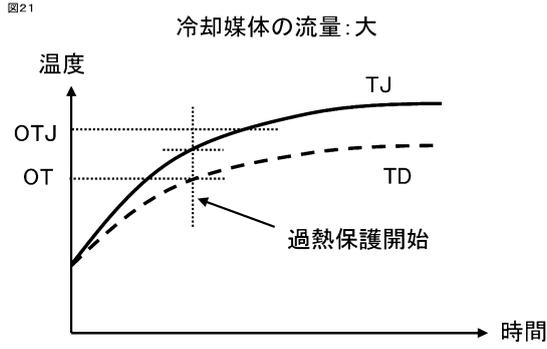


30

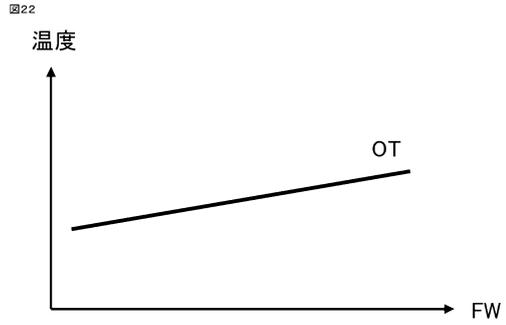
40

50

【 図 2 1 】

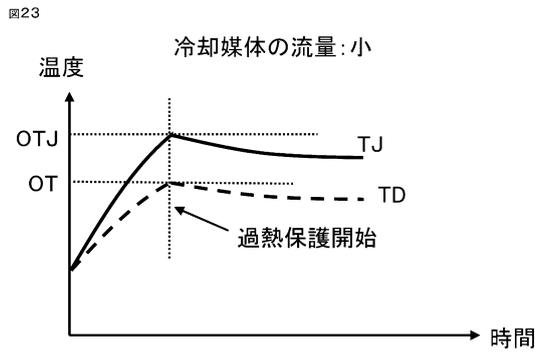


【 図 2 2 】

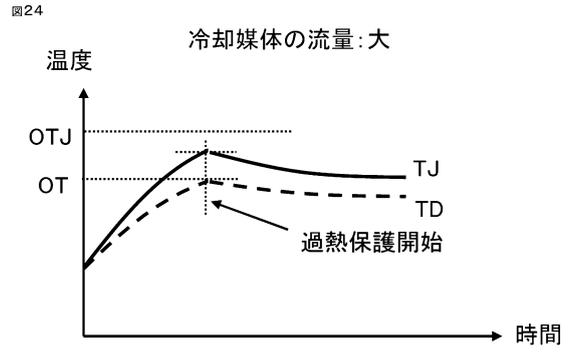


10

【 図 2 3 】

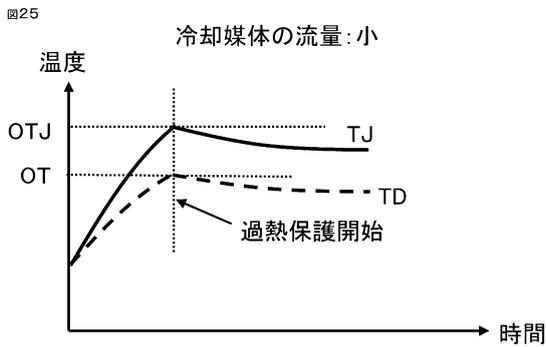


【 図 2 4 】

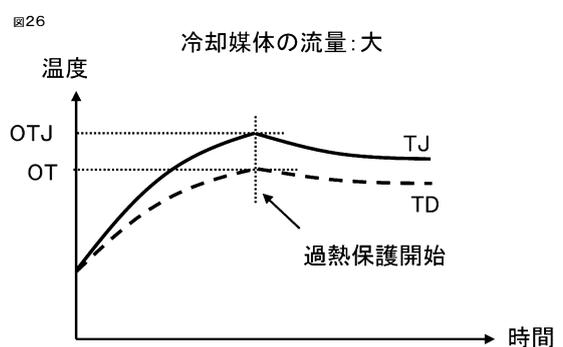


20

【 図 2 5 】



【 図 2 6 】

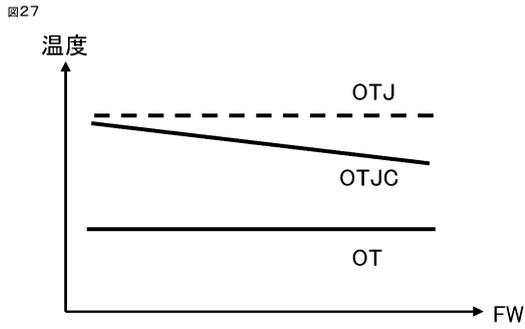


30

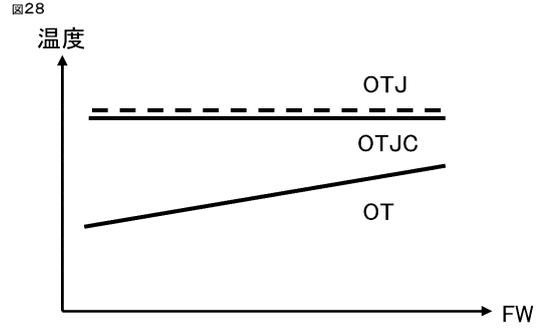
40

50

【図 27】

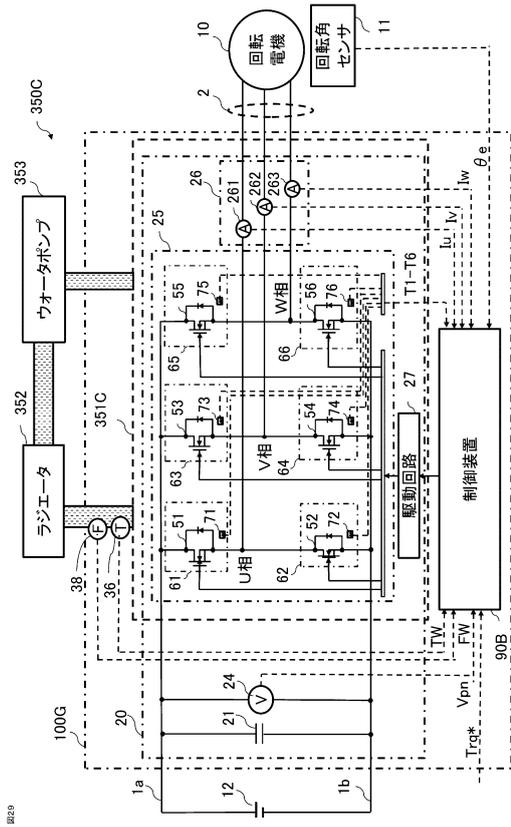


【図 28】



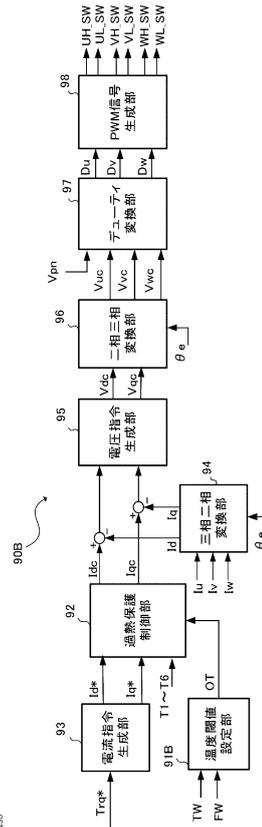
10

【図 29】



8829

【図 30】



8830

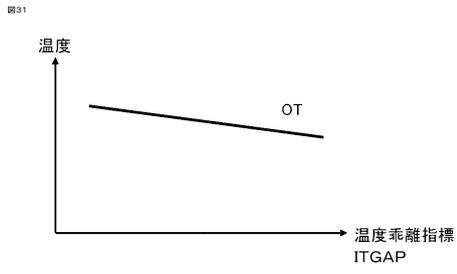
20

30

40

50

【 図 3 1 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

Fターム(参考)

PA42