

(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2008-228765  
(P2008-228765A)

(43) 公開日 平成20年10月2日(2008.10.2)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
**A 6 1 B 5/055 (2006.01)** A 6 1 B 5/05 3 4 2 4 C 0 9 6  
**G O 1 R 33/28 (2006.01)** G O 1 N 24/02 Y

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2007-68448 (P2007-68448)  
 (22) 出願日 平成19年3月16日(2007.3.16)

(71) 出願人 300019238  
 ジーイー・メディカル・システムズ・グ  
 ローバル・テクノロジー・カンパニー・エル  
 エルシー  
 アメリカ合衆国・ウィスコンシン州・5 3  
 1 8 8・ワウケシャ・ノース・グランドヴ  
 ユー・ブルバード・ダブリュー・7 1 0  
 ・3 0 0 0  
 (74) 代理人 100085187  
 弁理士 井島 藤治  
 (74) 代理人 100090424  
 弁理士 鮫島 信重

最終頁に続く

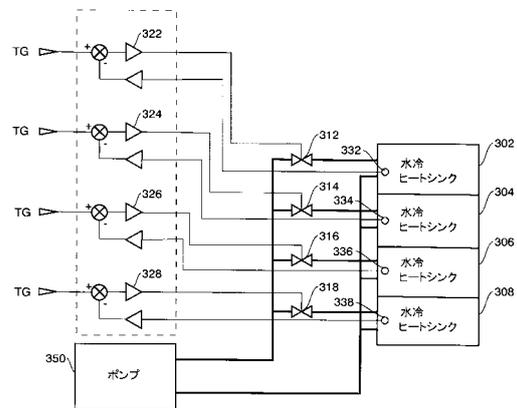
(54) 【発明の名称】 冷却方法およびMRI装置

(57) 【要約】

【課題】電力用半導体素子の冷却を適切に行う冷却方法、および、そのような方法を利用するMRI装置を実現する。

【解決手段】複数の電力用半導体素子を複数の水冷ヒートシンク(302-308)でそれぞれ冷却するにあたり、前記複数の電力用半導体素子の出力値に基づいてそれら電力用半導体素子の電力損失をそれぞれ予測し、前記それぞれの電力損失の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの温度上昇をそれぞれ予測し、前記それぞれの温度上昇の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの熱抵抗をそれぞれ制御(322-328)する。記複数の水冷ヒートシンクは、冷媒が並列に供給される。前記冷媒は、単一のポンプ(350)によって供給される。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数の電力用半導体素子を複数の水冷ヒートシンクでそれぞれ冷却する方法であって、前記複数の電力用半導体素子の出力値に基づいてそれら電力用半導体素子の電力損失をそれぞれ予測し、

前記それぞれの電力損失の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの温度上昇をそれぞれ予測し、

前記それぞれの温度上昇の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの熱抵抗をそれぞれ制御する

ことを特徴とする冷却方法。

10

## 【請求項 2】

前記複数の水冷ヒートシンクは、冷媒が並列に供給される

ことを特徴とする請求項 1 に記載の冷却方法。

## 【請求項 3】

前記冷媒は、単一のポンプによって供給される

ことを特徴とする請求項 2 に記載の冷却方法。

## 【請求項 4】

前記制御は、前記温度上昇の予測値が予め定められた値を超えたときに行われる

ことを特徴とする請求項 1 に記載の冷却方法。

## 【請求項 5】

前記制御は、前記水冷ヒートシンクの温度が目標値に一致するように冷媒の流量を調節することにより行われる

ことを特徴とする請求項 4 に記載の冷却方法。

20

## 【請求項 6】

前記制御は、フィードバック制御により行われる

ことを特徴とする請求項 5 に記載の冷却方法。

## 【請求項 7】

前記複数の電力用半導体素子は、複数の I G B T である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の冷却方法。

## 【請求項 8】

前記複数の I G B T は、勾配磁場発生用の複数系統のコイルにそれぞれ電力を供給することを特徴とする請求項 7 に記載の冷却方法。

30

## 【請求項 9】

前記複数系統のコイルは、3系統のコイルである

ことを特徴とする請求項 8 に記載の冷却方法。

## 【請求項 10】

前記 3 系統のコイルは、互いに垂直な 3 方向に勾配を有する 3 つの磁場をそれぞれ発生する

ことを特徴とする請求項 9 に記載の冷却方法。

## 【請求項 11】

静磁場、勾配磁場および R F 磁場を用いて磁気共鳴イメージングを行う装置であって、複数の水冷ヒートシンクでそれぞれ冷却される複数の電力用半導体素子と、

前記複数の電力用半導体素子の出力値に基づいてそれら電力用半導体素子の電力損失をそれぞれ予測する第 1 の予測手段と、

前記それぞれの電力損失の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの温度上昇をそれぞれ予測する第 2 の予測手段と、

前記それぞれの温度上昇の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの熱抵抗をそれぞれ制御する制御手段

を具備することを特徴とする M R I 装置。

40

## 【請求項 12】

50

前記複数の水冷ヒートシンクは、冷媒が並列に供給されることを特徴とする請求項 1 1 に記載の M R I 装置。

【請求項 1 3】

前記冷媒は、単一のポンプによって供給されることを特徴とする請求項 1 2 に記載の M R I 装置。

【請求項 1 4】

前記制御は、前記温度上昇の予測値が予め定められた値を超えたときに行われることを特徴とする請求項 1 1 に記載の M R I 装置。

【請求項 1 5】

前記制御は、前記水冷ヒートシンクの温度が目標値に一致するように冷媒の流量を調節することにより行われる

ことを特徴とする請求項 1 4 に記載の M R I 装置。

【請求項 1 6】

前記制御は、フィードバック制御により行われることを特徴とする請求項 1 5 に記載の M R I 装置。

【請求項 1 7】

前記複数の電力用半導体素子は、複数の I G B T であることを特徴とする請求項 1 1 に記載の M R I 装置。

【請求項 1 8】

前記複数の I G B T は、勾配磁場発生用の複数系統のコイルにそれぞれ電力を供給することを特徴とする請求項 1 7 に記載の M R I 装置。

【請求項 1 9】

前記複数系統のコイルは、3 系統のコイルであることを特徴とする請求項 1 8 に記載の M R I 装置。

【請求項 2 0】

前記 3 系統のコイルは、互いに垂直な 3 方向に勾配を有する 3 つの磁場をそれぞれ発生する

ことを特徴とする請求項 1 9 に記載の M R I 装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0 0 0 1】

本発明は、冷却方法および M R I (Magnetic Resonance Imaging) 装置に関し、特に、複数の電力用半導体素子を複数の水冷ヒートシンクでそれぞれ冷却する方法、および、そのような方法を利用する M R I 装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

M R I 装置は、静磁場、勾配磁場および R F (radio frequency) 磁場を用いて磁気共鳴イメージングを行うようになっている。静磁場は超電導コイル (coil) や永久磁石によって発生され、勾配磁場と R F 磁場は、勾配コイルと R F コイルに勾配電源と R F 電源からそれぞれ電力を供給することによって発生される。

40

【0 0 0 3】

勾配電源や R F 電源は、出力段に電力用半導体素子を有する。電力用半導体素子としては、例えば I G B T (insulated gate bipolar transistor) やパワー (power) M O S F E T (metal oxide semiconductor field effect transistor) 等が用いられる (例えば、特許文献 1 参照)。

【0 0 0 4】

電力用半導体素子には、冷却用のヒートシンク (heat sink) が取り付けられ、自然空冷または強制空冷によって過度の温度上昇を防止するようになっている (例えば、特許文献 2, 3 参照)。水冷式のヒートシンクを用いる場合は、冷却水を複数のヒートシンクに直列に流通させる (例えば、特許文献 4 参照)。

50

【特許文献1】特開平8-211139号公報

【特許文献2】特開2000-139873号公報

【特許文献3】特開2002-94332号公報

【特許文献4】特開平8-32262号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

冷却水を複数のヒートシンクに直列に流通させる場合、その流量は、流路上の電力用半導体素子の最大発熱量に合わせた流量とされる。この流量は、同じ流路上の発熱量が小さい電力用半導体素子にとっては必要以上の流量となり、また、発熱量が小さい動作状態においては、全ての電力用半導体素子にとって必要以上のものとなる。

10

【0006】

そこで、本発明の課題は、電力用半導体素子の冷却を適切に行う冷却方法、および、そのような方法を利用するMRI装置を実現することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

課題を解決するための発明は、第1の観点では、複数の電力用半導体素子を複数の水冷ヒートシンクでそれぞれ冷却する方法であって、前記複数の電力用半導体素子の出力値に基づいてそれら電力用半導体素子の電力損失をそれぞれ予測し、前記それぞれの電力損失の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの温度上昇をそれぞれ予測し、前記それぞれの温度上昇の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの熱抵抗をそれぞれ制御することを特徴とする冷却方法である。

20

【0008】

課題を解決するための発明は、第2の観点では、前記複数の水冷ヒートシンクは、冷媒が並列に供給されることを特徴とする第1の観点到記載の冷却方法である。

課題を解決するための発明は、第3の観点では、前記冷媒は、単一のポンプによって供給されることを特徴とする第2の観点到記載の冷却方法である。

【0009】

課題を解決するための発明は、第4の観点では、前記制御は、前記温度上昇の予測値が予め定められた値を超えたときに行われることを特徴とする第1の観点到記載の冷却方法である。

30

【0010】

課題を解決するための発明は、第5の観点では、前記制御は、前記水冷ヒートシンクの温度が目標値に一致するように冷媒の流量を調節することにより行われることを特徴とする第4の観点到記載の冷却方法である。

【0011】

課題を解決するための発明は、第6の観点では、前記制御は、フィードバック制御により行われることを特徴とする第5の観点到記載の冷却方法である。

課題を解決するための発明は、第7の観点では、前記複数の電力用半導体素子は、複数のIGBTであることを特徴とする第1の観点到記載の冷却方法である。

40

【0012】

課題を解決するための発明は、第8の観点では、前記複数のIGBTは、勾配磁場発生用の複数系統のコイルにそれぞれ電力を供給することを特徴とする第7の観点到記載の冷却方法である。

【0013】

課題を解決するための発明は、第9の観点では、前記複数系統のコイルは、3系統のコイルであることを特徴とする第8の観点到記載の冷却方法である。

課題を解決するための発明は、第10の観点では、前記3系統のコイルは、互いに垂直な3方向に勾配を有する3つの磁場をそれぞれ発生することを特徴とする第9の観点到記載の冷却方法である。

50

## 【 0 0 1 4 】

課題を解決するための発明は、第 1 1 の観点では、静磁場、勾配磁場および R F 磁場を用いて磁気共鳴イメージングを行う装置であって、複数の水冷ヒートシンクでそれぞれ冷却される複数の電力用半導体素子と、前記複数の電力用半導体素子の出力値に基づいてそれら電力用半導体素子の電力損失をそれぞれ予測する第 1 の予測手段と、前記それぞれの電力損失の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの温度上昇をそれぞれ予測する第 2 の予測手段と、前記それぞれの温度上昇の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの熱抵抗をそれぞれ制御する制御手段を具備することを特徴とする M R I 装置である。

## 【 0 0 1 5 】

課題を解決するための発明は、第 1 2 の観点では、前記複数の水冷ヒートシンクは、冷媒が並列に供給されることを特徴とする第 1 1 の観点に記載の M R I 装置である。

課題を解決するための発明は、第 1 3 の観点では、前記冷媒は、単一のポンプによって供給されることを特徴とする第 1 2 の観点に記載の M R I 装置である。

## 【 0 0 1 6 】

課題を解決するための発明は、第 1 4 の観点では、前記制御は、前記温度上昇の予測値が予め定められた値を超えたときに行われることを特徴とする第 1 1 の観点に記載の M R I 装置である。

## 【 0 0 1 7 】

課題を解決するための発明は、第 1 5 の観点では、前記制御は、前記水冷ヒートシンクの温度が目標値に一致するように冷媒の流量を調節することにより行われることを特徴とする第 1 4 の観点に記載の M R I 装置である。

## 【 0 0 1 8 】

課題を解決するための発明は、第 1 6 の観点では、前記制御は、フィードバック制御により行われることを特徴とする第 1 5 の観点に記載の M R I 装置である。

課題を解決するための発明は、第 1 7 の観点では、前記複数の電力用半導体素子は、複数の I G B T であることを特徴とする第 1 1 の観点に記載の M R I 装置である。

## 【 0 0 1 9 】

課題を解決するための発明は、第 1 8 の観点では、前記複数の I G B T は、勾配磁場発生用の複数系統のコイルにそれぞれ電力を供給することを特徴とする第 1 7 の観点に記載の M R I 装置である。

## 【 0 0 2 0 】

課題を解決するための発明は、第 1 9 の観点では、前記複数系統のコイルは、3系統のコイルであることを特徴とする第 1 8 の観点に記載の M R I 装置である。

課題を解決するための発明は、第 2 0 の観点では、前記 3 系統のコイルは、互いに垂直な 3 方向に勾配を有する 3 つの磁場をそれぞれ発生することを特徴とする第 1 9 の観点に記載の M R I 装置である。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 2 1 】

本発明によれば、複数の電力用半導体素子を複数の水冷ヒートシンクでそれぞれ冷却するにあたり、前記複数の電力用半導体素子の出力値に基づいてそれら電力用半導体素子の電力損失をそれぞれ予測し、前記それぞれの電力損失の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの温度上昇をそれぞれ予測し、前記それぞれの温度上昇の予測値に基づいて前記複数の水冷ヒートシンクの熱抵抗をそれぞれ制御するので、電力用半導体素子の冷却を適切に行う冷却方法、および、そのような方法を利用する M R I 装置を実現することができる。

## 【 0 0 2 2 】

前記複数の水冷ヒートシンクは、冷媒が並列に供給されるので、熱抵抗を個々に制御することが容易である。

前記冷媒は、単一のポンプによって供給されるので、冷媒供給源の構成を簡素化するこ

10

20

30

40

50

とができる。

【0023】

前記制御は、前記温度上昇の予測値が予め定められた値を超えたときに行われるので、制御を簡略化することができる。

前記制御は、前記水冷ヒートシンクの温度が目標値に一致するように冷媒の流量を調節することにより行われるので、電力用半導体素子を適切に冷却することができる。

【0024】

前記制御は、フィードバック制御により行われるので、温度制御を適切に行うことができる。

前記複数の電力用半導体素子は、複数の IGBT であるので、電力出力を効率良く行うことができる。

【0025】

前記複数の IGBT は、勾配磁場発生用の複数系統のコイルにそれぞれ電力を供給するので、複数系統の勾配磁場を発生することができる。

前記複数系統のコイルは、3系統のコイルであるので、3系統の勾配磁場を発生することができる。

【0026】

前記3系統のコイルは、互いに垂直な3方向に勾配を有する3つの磁場をそれぞれ発生するので、3次元の勾配磁場を発生することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下、図面を参照して発明を実施するための最良の形態を詳細に説明する。なお、本発明は、発明を実施するための最良の形態に限定されるものではない。図1にMRI装置のブロック(block)図を示す。本装置は、発明を実施するための最良の形態の一例である。本装置の構成によって、MRI装置に関する発明を実施するための最良の形態の一例が示される。本装置の動作によって、冷却方法に関する発明を実施するための最良の形態の一例が示される。

【0028】

図1に示すように、本装置はマグネットシステム(magnet system)100を有する。マグネットシステム100は、主磁場コイル(coil)部102、勾配コイル部106およびRF(radio frequency)コイル部108を有する。これら各コイル部は概ね円筒状の形状を有し、互いに同軸的に配置されている。

【0029】

マグネットシステム100の内部空間(ボア:bore)に、被検体1が、クレードル(cradle)500に横臥状態で搭載されて、図示しない搬送手段により搬入および搬出される。主磁場コイル部102はマグネットシステム100の内部空間に静磁場を形成する。静磁場の方向は概ね被検体1の体軸の方向に平行である。すなわち、いわゆる水平磁場を形成する。主磁場コイル部102は例えば超伝導コイルを用いて構成される。なお、超伝導コイルに限らず常伝導コイル等を用いて構成してもよい。

【0030】

また、マグネットシステムは、水平磁場方式のものに変えて、静磁場の方向が被検体1の体軸に垂直な垂直磁場方式のものを用いるようにしてもよい。垂直磁場方式では、例えば永久磁石が利用される。

【0031】

勾配コイル部106は、互いに垂直な3軸、すなわち、スライス(slice)軸、位相軸および周波数軸の方向において、それぞれ静磁場強度に勾配を持たせるための3つの勾配磁場を生じる。

【0032】

静磁場空間における互いに垂直な座標軸を $x$ ,  $y$ ,  $z$ としたとき、いずれの軸もスライス軸とすることができる。その場合、残り2軸のうち的一方を位相軸とし、他方を周波数

10

20

30

40

50

軸とする。また、スライス軸、位相軸および周波数軸は、相互間の垂直性を保ったまま  $x$  ,  $y$  ,  $z$  軸に関して任意の傾きを持たせることも可能である。本装置では被検体 1 の体幅の方向を  $x$  方向とし、体厚の方向を  $y$  方向とし、体軸の方向を  $z$  方向とする。

【 0 0 3 3 】

スライス軸方向の勾配磁場をスライス勾配磁場ともいう。位相軸方向の勾配磁場を位相エンコード(encode)勾配磁場ともいう。周波数軸方向の勾配磁場をリードアウト(read out)勾配磁場ともいう。リードアウト勾配磁場は周波数エンコード勾配磁場と同義である。このような勾配磁場の発生を可能にするために、勾配コイル部 1 0 6 は 3 系統の勾配コイルを有する。以下、勾配磁場を単に勾配ともいう。

【 0 0 3 4 】

R F コイル部 1 0 8 は、静磁場空間に被検体 1 の体内のスピン(spin)を励起するための R F 磁場を形成する。以下、R F 磁場を形成することを R F 励起信号の送信ともいう。また、R F 励起信号を R F パルス(pulse)ともいう。

【 0 0 3 5 】

励起されたスピが生じる電磁波すなわち磁気共鳴信号は、R F コイル部 1 0 8 によって受信される。R F コイル部 1 0 8 は、送信系と受信系が別々であって良い。磁気共鳴信号は、周波数ドメイン(domain)すなわちフーリエ(Fourier)空間についてのサンプリング(sampling)信号となる。

【 0 0 3 6 】

位相軸方向および周波数軸方向の勾配により、磁気共鳴信号のエンコードを 2 軸で行えば、磁気共鳴信号は 2 次元フーリエ空間についてのサンプリング信号として得られ、スライス勾配をも利用してエンコードを 3 軸で行えば 3 次元フーリエ空間についての信号として得られる。各勾配は、2 次元あるいは 3 次元フーリエ空間における信号のサンプリング位置を決定する。以下、フーリエ空間を  $k$  スペース( $k$ -space)ともいう。

【 0 0 3 7 】

勾配コイル部 1 0 6 には勾配駆動部 1 3 0 が接続されている。勾配駆動部 1 3 0 は勾配コイル部 1 0 6 に駆動電力を与えて勾配磁場を発生させる。勾配駆動部 1 3 0 は、勾配コイル部 1 0 6 における 3 系統の勾配コイルに対応して、3 系統の駆動回路を有する。

【 0 0 3 8 】

3 系統の駆動回路は、いずれも出力段に電力用半導体素子を有する。電力用半導体素子としては例えば I G B T が用いられるが、それに限らず適宜の電力用半導体素子であって良い。以下、I G B T を用いる場合について説明するが、他の電力用半導体素子を用いる場合も同様である。

【 0 0 3 9 】

I G B T は、内部の電力損失によって発熱するので、水冷ヒートシンクで冷却される。水冷ヒートシンクは、その熱抵抗が I G B T の出力値に応じて制御される。水冷ヒートシンクの熱抵抗の制御については、後にあらためて説明する。

【 0 0 4 0 】

R F コイル部 1 0 8 には R F 駆動部 1 4 0 が接続されている。R F 駆動部 1 4 0 は R F コイル部 1 0 8 に駆動電力を与えて R F パルスを送信させ、被検体 1 の体内のスピンを励起する。

【 0 0 4 1 】

R F コイル部 1 0 8 は、出力段に電力用半導体素子を有する。電力用半導体素子としては、例えばパワー M O S F E T が用いられるが、それに限らず適宜の電力用半導体素子であって良い。以下、パワー M O S F E T を用いる場合について説明するが、他の電力用半導体素子を用いる場合も同様である。

【 0 0 4 2 】

パワー M O S F E T は、内部の電力損失によって発熱するので、水冷ヒートシンクで冷却される。水冷ヒートシンクは、その熱抵抗がパワー M O S F E T の出力値に応じて制御される。水冷ヒートシンクの熱抵抗の制御については、後にあらためて説明する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 3 】

R F コイル部 1 0 8 には、また、データ(data)収集部 1 5 0 が接続されている。データ収集部 1 5 0 は、R F コイル部 1 0 8 が受信した受信信号をデジタルデータ(digital data)として収集する。

## 【 0 0 4 4 】

勾配駆動部 1 3 0、R F 駆動部 1 4 0 およびデータ収集部 1 5 0 にはシーケンス(sequence)制御部 1 6 0 が接続されている。シーケンス制御部 1 6 0 は、勾配駆動部 1 3 0 ないしデータ収集部 1 5 0 をそれぞれ制御して磁気共鳴信号の収集を遂行する。

## 【 0 0 4 5 】

シーケンス制御部 1 6 0 は、例えばコンピュータ(computer)等を用いて構成される。シーケンス制御部 1 6 0 はメモリ(memory)を有する。メモリはシーケンス制御部 1 6 0 用のプログラム(program)および各種のデータを記憶している。シーケンス制御部 1 6 0 の機能は、コンピュータがメモリに記憶されたプログラムを実行することにより実現される。以下、スピンの励起とそれに引き続く磁気共鳴信号の収集をスキャン(scan)ともいう。

10

## 【 0 0 4 6 】

データ収集部 1 5 0 の出力側はデータ処理部 1 7 0 に接続されている。データ収集部 1 5 0 が収集したデータはデータ処理部 1 7 0 に入力される。データ処理部 1 7 0 は、例えばコンピュータ等を用いて構成される。データ処理部 1 7 0 はメモリを有する。メモリはデータ処理部 1 7 0 用のプログラムおよび各種のデータを記憶している。

## 【 0 0 4 7 】

データ処理部 1 7 0 はシーケンス制御部 1 6 0 に接続されている。データ処理部 1 7 0 はシーケンス制御部 1 6 0 の上位にあってそれを統括する。データ処理部 1 7 0 の機能は、データ処理部 1 7 0 がメモリに記憶されたプログラムを実行することにより実現される。

20

## 【 0 0 4 8 】

データ処理部 1 7 0 は、データ収集部 1 5 0 が収集したデータをメモリに記憶する。メモリ内にはデータ空間が形成される。このデータ空間は k スペースに対応する。データ処理部 1 7 0 は、k スペースのデータを逆フ - リエ変換することにより画像を再構成する。

## 【 0 0 4 9 】

データ処理部 1 7 0 には、表示部 1 8 0 および操作部 1 9 0 が接続されている。表示部 1 8 0 はグラフィックディスプレイ(graphic display)等で構成される。操作部 1 9 0 はポインティングデバイス(pointing device)を備えたキーボード(keyboard)等で構成される。

30

## 【 0 0 5 0 】

表示部 1 8 0 は、データ処理部 1 7 0 から出力される再構成画像および各種の情報を表示する。操作部 1 9 0 は、使用者によって操作され、各種の指令や情報等をデータ処理部 1 7 0 に入力する。使用者は、表示部 1 8 0 および操作部 1 9 0 を通じてインタラクティブ(interactive)に本装置を操作することが可能である。

## 【 0 0 5 1 】

図 2 に、スキャン用のパルスシーケンス(pulse sequence)の一例を示す。このパルスシーケンスは、グラディエントエコー(gradient echo)法によるパルスシーケンスである。図 2 において、( 1 ) は R F 励起のシーケンスを示す。( 2 ) - ( 4 ) はいずれも勾配磁場のシーケンスを示す。( 5 ) は磁気共鳴信号のシーケンスを示す。勾配磁場のシーケンスのうち、( 2 ) はスライス勾配、( 3 ) は周波数エンコード勾配、( 4 ) は位相エンコード勾配である。なお、静磁場は一定の磁場強度で常時印加されている。以下同様である。

40

## 【 0 0 5 2 】

まず、R F パルスによるスピン励起が行われる。R F 励起はスライス勾配Sliceの下での選択励起である。R F 励起後に、周波数エンコード勾配Readおよび位相エンコード勾配Phaseが所定のシーケンスで印加され、磁気共鳴信号Signalすなわちエコー(echo)が読み

50

出される。このエコーはイメージングエコーとも呼ばれる。

【0053】

このようなパルスシーケンスが、繰り返し時間TRで所定回数繰り返され、そのつど、エコーが読み出される。繰り返しのたびにエコーの位相エンコードが変更され、所定回数の繰り返しによって、2次元kスペース全体についてのエコー信号収集(2Dスキャン)が行われる。なお、スライス方向にも位相エンコードを行うときは、3次元kスペースについてのエコー信号収集(3Dスキャン)が行われる。2次元kスペースのエコーデータを2次元逆フーリエ変換することにより2D画像が再構成される。3次元kスペースのエコーデータを3次元逆フーリエ変換することにより3D画像が再構成される。

【0054】

図3に、ヒートシンク制御系の一例のブロック図を示す。ヒートシンク制御系は、勾配駆動部130およびRF駆動部140の一部を構成する。図3に示すように、4つの水冷ヒートシンク302, 304, 306, 308が、共通のポンプ(pump)350によって並列に給水される。並列な4つの給水路には、コントロールバルブ(control valve)312, 314, 316, 318がそれぞれ設けられる。

10

【0055】

コントロールバルブ312, 314, 316, 318に対応して、制御ユニット(unit)322, 324, 326, 328がそれぞれ設けられる。制御ユニット322, 324, 326, 328は、コントロールバルブ312, 314, 316, 318を介して、水冷ヒートシンク302, 304, 306, 308の冷却水の流量をそれぞれ制御するものである。以下、水冷ヒートシンクを単にヒートシンクともいう。

20

【0056】

冷却水の流量によってヒートシンク302, 304, 306, 308の熱抵抗がそれぞれ変化する。したがって、制御ユニット322, 324, 326, 328は、結局ヒートシンク302, 304, 306, 308の熱抵抗を制御することになる。制御ユニット322, 324, 326, 328は、本発明における制御手段の一例である。

【0057】

制御ユニット322, 324, 326, 328には、制御の目標値TGが個々に設定され、また、温度センサ(sensor)332, 334, 336, 338からヒートシンク302, 304, 306, 308の温度信号がそれぞれフィードバック(feed back)される。

30

【0058】

制御ユニット322, 324, 326, 328は、各目標値TGとヒートシンク302, 304, 306, 308の温度の差に基づいて冷却水の流量をそれぞれ制御し、ヒートシンク302, 304, 306, 308の温度をそれぞれの目標値TGに一致させる。

【0059】

図4に、ヒートシンク制御系の他の例のブロック図を示す。ヒートシンク制御系は、勾配駆動部130およびRF駆動部140の一部を構成する。図4に示すように、4つのヒートシンク302, 304, 306, 308が、共通のポンプ350によって並列に給水される。並列な4つの給水路には、コントロールバルブ312, 314, 316, 318がそれぞれ設けられる。

40

【0060】

コントロールバルブ312, 314, 316, 318に対応して、制御ユニット322, 324, 326, 328がそれぞれ設けられる。制御ユニット322, 324, 326, 328は、コントロールバルブ312, 314, 316, 318を介して、ヒートシンク302, 304, 306, 308の冷却水の流量をそれぞれ制御するものである。

【0061】

制御ユニット322, 324, 326, 328には、制御の目標値TGが個々に設定され、また、流量センサ342, 344, 346, 348からヒートシンク302, 304, 306, 308の冷却水の流量信号がそれぞれフィードバックされる。

【0062】

50

制御ユニット 3 2 2 , 3 2 4 , 3 2 6 , 3 2 8 は、各目標値 TG とヒートシンク 3 0 2 , 3 0 4 , 3 0 6 , 3 0 8 の冷却水流量の差に基づいてコントロールバルブ 3 1 2 , 3 1 4 , 3 1 6 , 3 1 8 開度をそれぞれ制御し、ヒートシンク 3 0 2 , 3 0 4 , 3 0 6 , 3 0 8 の冷却水の流量をそれぞれの目標値 TG に一致させる。

【 0 0 6 3 】

冷却水の流量によってヒートシンク 3 0 2 , 3 0 4 , 3 0 6 , 3 0 8 の熱抵抗がそれぞれ変化する。したがって、制御ユニット 3 2 2 , 3 2 4 , 3 2 6 , 3 2 8 は、結局ヒートシンク 3 0 2 , 3 0 4 , 3 0 6 , 3 0 8 の熱抵抗を制御することになる。

【 0 0 6 4 】

ヒートシンク 3 0 2 , 3 0 4 , 3 0 6 は、3 系統の勾配コイルをそれぞれ駆動する 3 つの I G B T をそれぞれ冷却する。ヒートシンク 3 0 8 は、R F コイルを駆動するパワー M O S F E T を冷却する。

【 0 0 6 5 】

ヒートシンク 3 0 i ( i : 2 , 4 , 6 , 8 ) は、いずれも、例えば図 5 に示すように、銅ブロック 4 0 0 の内部に冷却水の流路 4 0 2 が形成されたものとなっている。なお、図 5 の ( a ) は平面図、( b ) は側面図である。このようなヒートシンク 3 0 i の上に、例えば図 6 に示すように、I G B T またはパワー M O S F E T のパッケージ (package) 6 0 0 が取り付けられる。

【 0 0 6 6 】

制御の目標値 TG は、シーケンス制御部 1 6 0 によって設定される。シーケンス制御部 1 6 0 は、スキャンプロトコル (scan protocol) に応じて、制御ユニット 3 2 2 , 3 2 4 , 3 2 6 , 3 2 8 ごとに制御の目標値 TG を設定する。なお、目標値の設定は、データ処理部 1 7 0 で行うようにしても良い。シーケンス制御部 1 6 0 またはデータ処理部 1 7 0 は、所定のプログラムによって目標値設定を遂行する。

【 0 0 6 7 】

目標値設定に当たり、シーケンス制御部 1 6 0 ( またはデータ処理部 1 7 0 ) は、スキャンプロトコルから個々の電力用半導体素子の電力損失を予測し、電力損失の予測値に基づいてヒートシンク 3 0 2 , 3 0 4 , 3 0 6 , 3 0 8 の温度上昇を個々に予測し、温度上昇の予測値に基づいて熱抵抗制御用の目標値 TG を個々に設定する。

【 0 0 6 8 】

目標値の設定について説明する。まず、電力用半導体素子の電力損失の予測について説明する。電力用半導体素子が I G B T であるときは、電力損失はコンダクションロス (conduction loss) とスイッチングロス (switching loss) に分けられ、次式で与えられる。

【 0 0 6 9 】

【 数 1 】

$$P_{IGBT} = P_{COND\_IGBT} + P_{SW\_IGBT}$$

【 0 0 7 0 】

また、コンダクションロスとスイッチングロスは、それぞれ次式で与えられる。

【 0 0 7 1 】

【 数 2 】

$$P_{COND\_IGBT} = V_{CE} \cdot I_{IGBT}$$

$$P_{SW\_IGBT} = V_{PWM\_IGBT} \cdot I_{IGBT}$$

【 0 0 7 2 】

単純化するためにスイッチングエネルギーは電流に比例すると仮定すると、電源電圧が一定なとき、

10

20

30

40

50

【 0 0 7 3 】  
【 数 3 】

$$V_{PWM\_IGBT}$$

【 0 0 7 4 】  
は定数であり、下記のように表わされる。

【 0 0 7 5 】  
【 数 4 】

10

$$V_{PWM\_IGBT} = f_{SW} \cdot E_{SW\_I}$$

【 0 0 7 6 】  
ここで、  
【 0 0 7 7 】  
【 数 5 】

$$f_{SW}$$

【 0 0 7 8 】  
はスイッチング周波数であり、  
【 0 0 7 9 】  
【 数 6 】

20

$$E_{SW\_I}$$

【 0 0 8 0 】  
は単位電流当たりのスイッチングエネルギーである。  
一方、

【 0 0 8 1 】  
【 数 7 】

30

$$V_{CE}$$

【 0 0 8 2 】  
は下記のように表わされる。

【 0 0 8 3 】  
【 数 8 】

$$V_{CE} = V_{SAT} + R_{SAT} \cdot I_{IGBT}$$

40

【 0 0 8 4 】  
よって、IGBTの電力損失は、  
【 0 0 8 5 】

【数 9】

$$\begin{aligned}
 P_{IGBT} &= P_{COND\_IGBT} + P_{SW\_IGBT} \\
 &= V_{CE} \cdot I_{IGBT} + V_{PWM\_IGBT} \cdot I_{IGBT} \\
 &= (V_{SAT} + R_{SAT} \cdot I_{IGBT}) \cdot I_{IGBT} + V_{PWM\_IGBT} \cdot I_{IGBT} \\
 &= R_{SAT} \cdot I_{IGBT}^2 + (V_{PWM\_IGBT} + V_{SAT}) \cdot I_{IGBT}
 \end{aligned}$$

10

【0086】

となる。

ここで、

【0087】

【数10】

$$R_{SAT}, V_{PWM\_IGBT}, V_{SAT}$$

【0088】

は IGBT の特性に関する既知のパラメータ(parameter)であり、

20

【0089】

【数11】

$$I_{IGBT}$$

【0090】

は IGBT の出力電流である。

したがって、IGBT の電力損失は出力電流に応じて予測することができる。出力電流はスキャンプロトコルによって定まるので、結局電力損失をスキャンプロトコルから予測することができる。このような計算に関わるシーケンス制御部160（またはデータ処理部170）は、本発明における第1の予測手段の一例である。

30

【0091】

次に、ヒートシンクの温度上昇の予測について説明する。ヒートシンクの温度上昇は次式で与えられる。

【0092】

【数12】

$$\Delta T_{HS} = Z_{HS} \cdot P_{IGBT}$$

【0093】

ここで、

40

【0094】

【数13】

$$Z_{HS}$$

【0095】

はヒートシンクの熱抵抗である。

温度上昇の予測は、この式に電力損失の予測値を当てはめて行う。その際、ヒートシンクの熱抵抗の値は、無制御状態における標準値を用いる。無制御状態における標準値とは

50

、冷却水の標準流量のもとでの熱抵抗である。このような計算に関わるシーケンス制御部 160 (またはデータ処理部 170) は、本発明における第2の予測手段の一例である。

【0096】

制御の目標値は、温度上昇の予測値を所定の基準値と比較し、それらの大小関係に基づいて設定する。すなわち、温度上昇の予測値が所定の基準値を超えるときは、予め定められた温度値を制御の目標値とする。この温度値は、温度上昇の予測値よりも小さい値である。これに対して、温度上昇の予測値が所定の基準値を超えないときは、制御の目標値を特に定めずに無制御状態とするか、あるいは、温度上昇の予測値を制御の目標値とする。

【0097】

以上は、図3に示したように温度を目標値とする場合であるが、図4に示したように流量を目標値とする場合は、予めわかっている冷却水流量と熱抵抗の関係を利用して、流量の目標値が設定される。

【0098】

パワーMOSFETについても同様に、スキャンプロトコルと既知のパラメータから電力損失を予測し、電力損失予測値に基づいてヒートシンクの温度上昇を予測し、温度上昇予測値に基づいて熱抵抗制御用の目標値を設定する。目標値は温度または流量である。

【0099】

目標値設定は、専用の電気回路で行うようにしても良い。図7に、目標値設定用の電気回路の一例を示す。図7に示すように、目標値設定回路は、OPアンプを用いた7段の回路となっている。このような回路が、IGBTごとに設けられる。

【0100】

入力信号  $I_{IGBT}$  が、初段のOPアンプ (operational amplifier) A1, A2 に並列に入力される。入力信号  $I_{IGBT}$  は、IGBTの出力電流値を表わす。入力信号  $I_{IGBT}$  は、OPアンプ A1, A2 で絶対値信号に変換される。

【0101】

絶対値信号は、第2段のOPアンプ A3, A4, A5 で2乗信号

【0102】

【数14】

$$I_{IGBT}^2$$

【0103】

に変換される。2乗信号は、第3段のOPアンプ A6 で

【0104】

【数15】

$$R_{SAT}$$

【0105】

倍される。これによって、A点に信号

【0106】

【数16】

$$R_{SAT} \cdot I_{IGBT}^2$$

【0107】

が得られる。

第3段では、また、初段の絶対値出力が、OPアンプ A7 で

【0108】

10

20

30

40

【数 17】

$$V_{PWM\_IGBT} + V_{SAT}$$

【0109】

倍される。これによって、B 点に信号

【0110】

【数 18】

$$(V_{PWM\_IGBT} + V_{SAT}) \cdot I_{IGBT}$$

10

【0111】

が得られる。

第 4 段では、A 点の信号と B 点の信号の和が、OP アンプ A 8 で

【0112】

【数 19】

$$Z_{HS}$$

【0113】

倍される。これによって、C 点に信号

20

【0114】

【数 20】

$$Z_{HS} \cdot P_{IGBT} = Z_{HS} \cdot (R_{SAT} \cdot I_{IGBT}^2 + (V_{PWM\_IGBT} + V_{SAT}) \cdot I_{IGBT})$$

【0115】

が得られる。この信号はヒートシンクの温度上昇の予測値となる。

第 5 段では、OP アンプ A 9 で、温度上昇予測値にヒートシンクの温度時定数が付与される。第 5 段では、また、OP アンプ A 10 から外気温度設定値が与えられる。

30

【0116】

第 6 段では、OP アンプ A 11 により、時定数を持つ温度上昇予測値と外気温度設定値の和の信号が形成される。この信号は、ヒートシンクの温度予測値となる。

ヒートシンクの温度予測値は、OP アンプ A 12 により基準値と比較される。OP アンプ A 12 は、出力信号によってスイッチ S の切り換えを制御する。これによって、スイッチ S は、温度予測値が基準値を超えるときは接点 a 側に切り換えられ、温度予測値が基準値を超えないときは接点 b 側に切り換えられる。

【0117】

接点 a は、抵抗分圧回路から目標値が与えられており、接点 b は、開放または温度予測値が与えられるようになっている。このため、温度予測値が基準値を超えるときは、抵抗分圧回路で設定された目標値が制御の目標値 TG となり、温度予測値が基準値を超えないときは、制御の目標値が与えられないか、あるいは、温度予測値が制御の目標値となる。

40

【0118】

以上は IGBT についての目標値設定回路の一例であるが、パワー MOSFET についても、同様な目標値設定回路を構成することができる。また、同様にして、流量目標値を設定する回路を構成することができる。

【0119】

このように設定された目標値によってヒートシンクの熱抵抗を制御することにより、全てのヒートシンクに冷却水が過不足なく供給される。したがって、電力用半導体素子の冷却を適切に行うことができる。なお、電力用半導体素子は、MRI 装置で使用されるもの

50

に限らず、種々のパワーエレクトロニクス(power electronics)装置で使用される電力用半導体素子であって良い。

【図面の簡単な説明】

【0120】

【図1】 発明を実施するための最良の形態の一例のMRI装置のブロック図である。

【図2】 スキャン用のパルスシーケンスの一例を示す図である。

【図3】 ヒートシンク制御系の一例を示すブロック図である。

【図4】 ヒートシンク制御系の他の例を示すブロック図である。

【図5】 ヒートシンクの一例を示す図である。

【図6】 ヒートシンクへの電力用半導体素子パッケージの取り付け状態を示す図である。 10

【図7】 目標値設定用の電気回路の一例を示す図である。

【符号の説明】

【0121】

100 : マグネットシステム

102 : 主磁場コイル部

106 : 勾配コイル部

108 : RFコイル部

130 : 勾配駆動部

140 : RF駆動部

150 : データ収集部 20

160 : シーケンス制御部

170 : データ処理部

180 : 表示部

190 : 操作部

302, 304, 306, 308 : 水冷ヒートシンク

312, 314, 316, 318 : コントロールバルブ

322, 324, 326, 328 : 制御ユニット

332, 334, 336, 338 : 温度センサ

342, 344, 346, 348 : 流量センサ

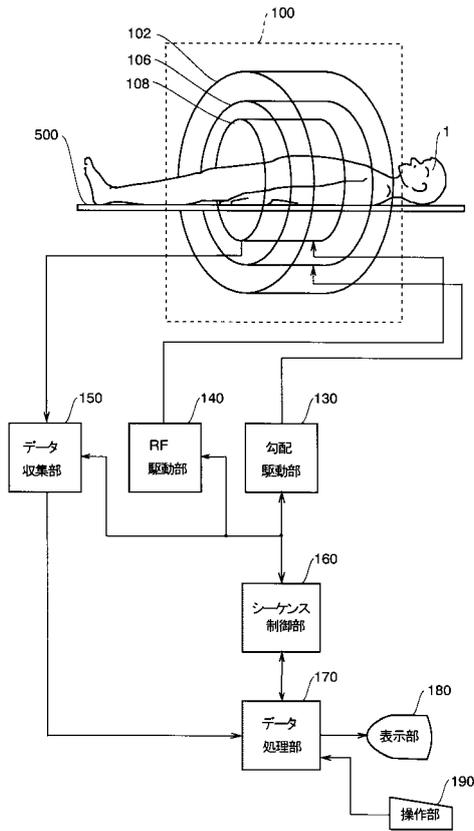
350 : ポンプ 30

400 : 銅ブロック

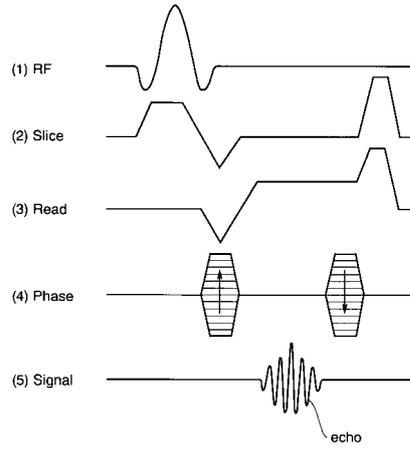
402 : 流路

600 : 電力用半導体素子

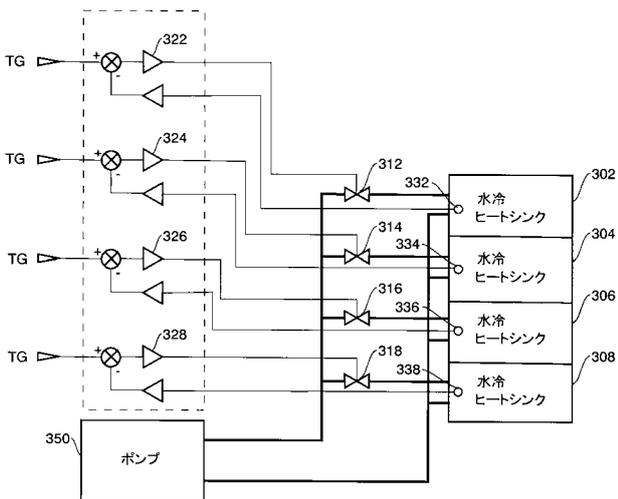
【 図 1 】



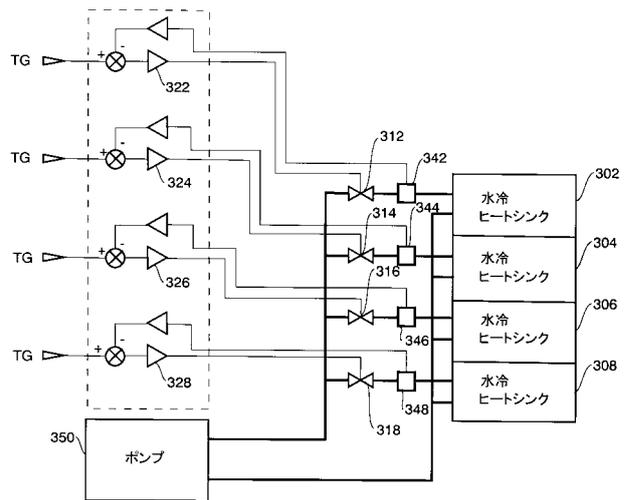
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】





---

フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 祐介

東京都日野市旭が丘四丁目7番地の127 ジーイー横河メディカルシステム株式会社内

Fターム(参考) 4C096 AB33 AB43 AB44 AB45 AD09 CB12 CB20