

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6179490号  
(P6179490)

(45) 発行日 平成29年8月16日(2017.8.16)

(24) 登録日 平成29年7月28日(2017.7.28)

(51) Int.Cl. F I  
 HO2M 7/48 (2007.01) HO2M 7/48 ZHVZ  
 HO1L 25/07 (2006.01) HO1L 25/04 C  
 HO1L 25/18 (2006.01)

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2014-180905 (P2014-180905)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
(22) 出願日	平成26年9月5日(2014.9.5)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(65) 公開番号	特開2016-59094 (P2016-59094A)	(74) 代理人	110000213 特許業務法人プロスペック特許事務所
(43) 公開日	平成28年4月21日(2016.4.21)	(74) 代理人	100184321 弁理士 森野 大輔
審査請求日	平成27年12月14日(2015.12.14)	(72) 発明者	中島 清文 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		(72) 発明者	井手 勇輝 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パワーモジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

インバータ回路と、前記インバータ回路を挟む一対の導体と、を備えたパワーモジュールであって、

前記インバータ回路は、

前記一対の導体に挟まれた領域の外側から内側へ伸びる正極バスバー及び負極バスバー並びに複数の出力バスバーと、

前記領域の内側に設けられた複数の素子対であって、該素子対の各々が前記正極バスバーに繋がれた半導体素子と前記負極バスバーに繋がれた半導体素子とを前記出力バスバーの各々を介して繋ぐ構成を有し、前記半導体素子の各々がスイッチング素子及び前記スイッチング素子に逆並列接続されたダイオードを含む、複数の素子対と、

を有すると共に、

前記正極バスバー、前記素子対及び前記負極バスバーによって画成される導電経路の各々は、前記領域の内側において前記一対の導体に対面するループ状の形状を有し、

前記正極バスバー及び前記負極バスバーが、前記領域の外側と内側との境界面において、絶縁可能な最小距離だけ離れる、

パワーモジュール。

【請求項2】

インバータ回路と、前記インバータ回路を挟む一対の導体と、を備えたパワーモジュールであって、

前記インバータ回路は、  
前記一对の導体に挟まれた領域の外側から内側へ伸びる正極バスバー及び負極バスバー並びに複数の出力バスバーと、

前記領域の内側に設けられた複数の素子対であって、該素子対の各々が前記正極バスバーに繋がれた半導体素子と前記負極バスバーに繋がれた半導体素子とを前記出力バスバーの各々を介して繋ぐ構成を有し、前記半導体素子の各々がスイッチング素子及び前記スイッチング素子に逆並列接続されたダイオードを含む、複数の素子対と、

を有すると共に、

前記正極バスバー、前記素子対及び前記負極バスバーによって画成される導電経路の各々は、前記領域の内側において前記一对の導体に対面するループ状の形状を有し、

前記一对の導体が、前記複数の素子対が発する熱を前記領域の外側へ放出する第1金属板及び第2金属板であり、

前記出力バスバーが、前記正極バスバーに繋がれた半導体素子に繋がる第1端部と、前記負極バスバーに繋がれた半導体素子に繋がる第2端部と、を有すると共に、

前記領域の内側において、

前記正極バスバーと前記第1金属板とが、絶縁されながら隣接し、

前記負極バスバーと前記第2金属板とが、絶縁されながら隣接し、

前記第1端部と前記第2金属板とが、絶縁されながら隣接し、

前記第2端部と前記第1金属板とが、絶縁されながら隣接し、

前記正極バスバーに繋がれた半導体素子が、前記正極バスバーと前記第1端部とに挟まれ、

前記負極バスバーに繋がれた半導体素子が、前記負極バスバーと前記第2端部とに挟まれる、

パワーモジュール。

#### 【請求項3】

請求項2に記載のパワーモジュールにおいて、

前記正極バスバー及び前記負極バスバーが、前記領域の外側と内側との境界面において、絶縁可能な最小距離だけ離れる、

パワーモジュール。

#### 【請求項4】

請求項1～請求項3のいずれか一項に記載のパワーモジュールにおいて、

前記一对の導体が、互いに平行な平板状の形状を有し、

前記導電経路が、前記一对の導体と平行な同一の仮想平面上に存在する、

パワーモジュール。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、インバータ回路と、インバータ回路を挟む一对の導体と、を備えたパワーモジュールに関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

従来から、ハイブリッド車両に搭載される駆動用電動機などに電力を供給するためのパワーモジュールとして、複数の半導体素子（例えば、IGBT等のパワー半導体を含む素子）を有するインバータ回路を備えたパワーモジュールが提案されている。

#### 【0003】

インバータ回路は、入力された直流電力を交流電力に変換して出力する電子回路である。具体的には、インバータ回路は、一例として、高電圧側の入力バスバーに繋がれた半導体素子（上アーム）及び低電圧側の入力バスバーに繋がれた半導体素子（下アーム）、並びに、それら素子を繋ぐ導電経路から分岐して伸びる出力バスバー（中点端子）を備える

10

20

30

40

50

。半導体素子は、一般に、スイッチング素子、及び、スイッチング素子に逆並列接続されたダイオードを有する。インバータ回路は、各スイッチング素子を特定のタイミングにて（例えば、PWM制御に従って）スイッチングすることにより、上述した電力変換を実現するようになっている。

【0004】

従来のパワーモジュールの一つ（以下「従来モジュール」という。）が有するインバータ回路は、複数の半導体素子（IGBT）を同一平面上に並べて配置すると共に、隣接する半導体素子の各端子（上アームのコレクタ端子、下アームのエミッタ端子）を、バスバーを介することなく直接接続した構造を有する。本構造により、従来モジュールは、バスバーを用いることなくインバータ回路を構成できるため、モジュールの大きさ（例えば、いわゆるPCU投影面積）を小さくできる（例えば、特許文献1を参照。）。 10

【0005】

以下、便宜上、高電圧側の入力バスバーを「正極バスバー」と称呼し、低電圧側の入力バスバーを「負極バスバー」と称呼し、正極バスバーに繋がれた半導体素子（上アーム）と負極バスバーに繋がれた半導体素子（下アーム）との組合せを「素子対」と称呼する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2012-190833号公報

【発明の概要】 20

【0007】

電子回路は、一般に、回路に含まれる各種の電子部品および回路自体の構造などに起因する寄生インダクタンス（浮遊インダクタンス）を有する。寄生インダクタンスは、電流の変化に伴うサージ電圧（電流の変化を妨げる向きに生じる誘導起電力）を回路に生じさせるため、回路におけるエネルギー損失の一因となる。特に、パワーモジュールが備えるインバータ回路においては、半導体素子のスイッチング時、半導体素子中のダイオードのリカバリ過程（逆方向回復過程）に起因したりカバリ電流の増減に伴い、回路に大きなサージ電圧が生じる場合がある（詳細は後述される。）。 30

【0008】

一方、パワーモジュールが適用されるシステム全体のエネルギー効率（例えば、ハイブリッド車両の燃費）を高める観点から、インバータ回路の動作周波数は高いことが望ましい。ところが、一般に、インバータ回路の動作周波数が高いほど、半導体素子のスイッチング時におけるリカバリ電流の時間変化率が高まり、回路に生じるサージ電圧が増大する。即ち、インバータ回路における寄生インダクタンスは、パワーモジュールの高速化を妨げる一因となり得る。よって、インバータ回路（ひいてはパワーモジュール全体）における寄生インダクタンスが出来る限り低減されることが望ましい。 40

【0009】

従来モジュールにおいては、インバータ回路の寄生インダクタンスを特に考慮することなく、各半導体素子から伸びる端子が直接接続されている。そのため、バスバーの排除によって従来モジュールが小型化されたとしても、従来モジュールの寄生インダクタンスは、必ずしも低減されないと考えられる。 40

【0010】

本発明の目的は、上記課題に鑑み、寄生インダクタンスを低減することが可能な構成を備えたパワーモジュールを提供することにある。

【0011】

上記課題を解決するための本発明によるパワーモジュールは、インバータ回路と、前記インバータ回路を挟む「一对の導体」と、を備える。

【0012】

このインバータ回路は、前記一对の導体に挟まれた領域の外側から内側へ伸びる「正極バスバー及び負極バスバ 50

一並びに複数の出力バスバー」と、

前記領域の内側に設けられた「複数の素子対」であって、該素子対の各々が前記正極バスバーに繋がれた半導体素子と前記負極バスバーに繋がれた半導体素子とを前記出力バスバーの各々を介して繋ぐ構成を有し、前記半導体素子の各々がスイッチング素子及び前記スイッチング素子に逆並列接続されたダイオードを含む、複数の素子対と、

を有する。

【0013】

更に、このインバータ回路において、

「前記正極バスバー、前記素子対及び前記負極バスバーによって画成される導電経路」の各々は、前記領域の内側において前記一对の導体に対面するループ状の形状を有する。

10

【0014】

上記構成によれば、「ループ状の形状」を有する「導電経路」を通過するように電流（リカバリ電流）が流れたとき、その導電経路に対面する「一对の導体」の双方に同電流と逆方向に流れる渦電流が生じる。そして、それら渦電流に起因して生じる磁束が、導電経路を通過する電流に起因して生じる磁束を相殺する。即ち、導電経路の周辺における磁束変化が抑制される。更に、「導電経路」は「複数の素子対」の各々に対応して（即ち、素子対と同じ数だけ）存在し、これら複数の「導電経路」の全てについて（即ち、インバータ回路の全体において）磁束変化を抑制する現象が生じる。その結果、インバータ回路における見かけ上の寄生インダクタンスが低減されると共に、パワーモジュール全体を一つの系と見た場合におけるその系の寄生インダクタンスが低減される。

20

【0015】

以下、上述した寄生インダクタンスの低減効果について、より詳細に述べる。

【0016】

パワーモジュールは、入力端子（正極バスバーおよび負極バスバー）を外部電源に接続すると共に出力端子（出力バスバー）を電動機等の外部負荷に接続した上で、インバータ回路を作動させるようになっている。この作動の際、外部負荷等が有するインダクタンス成分に起因し、出力端子（出力バスバー）における電圧と、外部負荷における電圧と、間に位相差が生じる場合がある。この場合、出力端子（出力バスバー）を通過する電流の向きは、この位相差に起因する電位差に基づいて定まる（高電位側から低電位側に電流が流れる）ことになる。そのため、素子対のスイッチング状態（2つの半導体素子の何れがオンであり何れがオフであるか）と、出力端子（出力バスバー）を実際に通過する電流の向き（インバータ回路に流入する向きかインバータ回路から流出する向きか）と、は必ずしも一対一に対応しない。

30

【0017】

例えば、「正極バスバーに繋がれた半導体素子」がオンであり（上アームが導通状態であり）且つ「負極バスバーに繋がれた半導体素子」がオフである（下アームが遮断状態である）場合において、電流が出力バスバーに“流入”したとき、その電流は、正極バスバーに繋がれた半導体素子（上アーム）中の「ダイオード」を通過し、電源に向かうことになる。このとき、ダイオードに順バイアスが加わっているため、ダイオードの空乏層は縮小している。その後、素子対のスイッチング状態が切り替わると（上アームがオフとなり、下アームがオンとなると）、上記ダイオードに逆バイアスが加わる。ダイオードは逆バイアス時に電流を遮断する性質を有するが、順バイアス時に縮小した空乏層が再び十分に拡大するまでの期間（逆方向回復過程）に限り、逆バイアス方向の電流がダイオードを通過する。この電流は、一般にリカバリ電流と呼ばれ、「前記正極バスバー、前記素子対及び前記負極バスバーによって画成される導電経路」を短絡するように流れる。

40

【0018】

更に、その導電経路は、「一对の導体に挟まれた領域」の「内側」において「一对の導体に対面するループ状の形状」を有する。そのため、その導電経路をリカバリ電流が流れると、電磁誘導効果により、リカバリ電流とは“逆方向”に流れる渦電流が双方の導体内に発生する。これら渦電流は、導電経路に沿って発生し、導電経路の形状（ループ状の形

50

状)に対応した形状を有する。更に、これら渦電流が作る磁束の向きは、リカバリ電流が作る磁束の向きと“逆方向”である。よって、これら渦電流に起因する磁束により、リカバリ電流に起因する磁束が打ち消される。加えて、これら渦電流は導電経路を挟むように導電経路の両側に発生するため、渦電流が導電経路の片側のみに発生する場合に比べ、より確実にリカバリ電流に起因する磁束が打ち消される。

【0019】

よって、「導電経路」にリカバリ電流が流れた場合であっても、同電流に起因する磁束が渦電流によって打ち消されるため、導電経路と鎖交する磁束数の変化が抑制される。その結果、この抑制現象が生じない場合に比べ、「導電経路」に生じるサージ電圧が減少する。換言すると、サージ電圧が減少する分だけ、「導電経路」の見かけ上の寄生インダクタンスが小さくなる。

10

【0020】

本発明のパワーモジュールにおいては、上述した短絡電流が流れ得る「導電経路」は、「複数の素子対」の各々に対応するように「素子対」ごとに存在する。そして、それら複数の導電経路の各々において(即ち、インバータ回路の全体において)、上述したように、見かけ上の寄生インダクタンスが小さくなる。別の言い方をすると、“インバータ回路および一対の導体を含むパワーモジュール全体”を一つの系と見た場合における、その系の寄生インダクタンスが小さくなる。

【0021】

したがって、本発明のパワーモジュールは、寄生インダクタンスを低減することが可能な構成を備えている。

20

【0022】

ところで、上記「スイッチング素子に逆並列接続されたダイオード」は、いわゆる還流ダイオードを表し、スイッチング素子(例えば、IGBT)とは別の素子として半導体素子中に設けられてもよく、スイッチング素子(例えば、MOSFET)が構造上内蔵する寄生ダイオードであってもよい。

【0023】

上記「正極バスバー」及び「負極バスバー」は、外部電源の高電位側の端子に接続されるバスバー及び低電位側の端子に接続されるバスバーをそれぞれ表す。例えば、スイッチング素子としてIGBTを用いる場合、前者はコレクタバスバーを表し、後者はエミッタバスバーを表す。更に、例えば、スイッチング素子としてMOSFETを用いる場合、前者はドレインバスバーを表し、後者はソースバスバーを表す。

30

【0024】

上記「対面する」とは、導電経路と一対の導体との位置関係が“導電経路を通過する電流に起因して一対の導体の双方に誘導電流が生じ得る”関係であること、を表す。更に、上記「ループ状の形状」とは、導電経路の形状が“そのように導体内に生じる誘導電流が渦状の形状を成し得る(即ち、渦電流を形成し得る)”形状であること、を表す。

【0025】

「ループ状の形状」の具体例として、“導電経路が上記領域の側面に沿うように湾曲しながら上記領域の内側を略一周している”ときの導電経路の形状、及び、“上記領域の内側において正極バスバーと負極バスバーとが素子対を挟んで離れており、且つ、上記領域の内外の境界面において正極バスバーと負極バスバーとが絶縁可能な最小距離にまで近接している”ときの導電経路の形状、などが挙げられる。

40

【0026】

「対面する」の具体例として、導電経路が仮想上の平面の上に存在すると仮定した場合において“導電経路が存在する仮想平面と、一対の導体の各々の表面と、が直交しないこと”が挙げられる。なお、この仮想平面と導体の表面とは必ずしも平行である必要はないが、パワーモジュールの寄生インダクタンスをより効率良く低減する観点からは、それらが平行に近いことが望ましい。

【0027】

50

上記本発明によるパワーモジュールの1つ(以下「第1発明によるパワーモジュール」という。)は、前記正極バスバー及び前記負極バスバーが、前記領域の外側と内側との境界面において、絶縁可能な最小距離だけ離れる、ように構成される。

一对の導体内に出来る限り確実に渦電流を生じさせるためには、導電経路の「ループ状の形状」が出来る限り閉経路に近いことが望ましい。第1発明によるパワーモジュールは、正極バスバー及び負極バスバーが、一对の導体に挟まれた領域の外側と内側との境界面において、絶縁可能な最小距離だけ離れるように構成される。この構成によれば、導電経路の両端の距離(上記境界面における正極バスバーと負極バスバーとの距離)が絶縁可能な最小距離にまで近接しているため、上記領域の内側における導電経路の形状を閉経路に近付けることができる。よって、第1発明によるパワーモジュールは、一对の導体内に渦電流をより確実に発生させることができる。

10

更に、上記本発明によるパワーモジュールの別の1つ(以下「第2発明によるパワーモジュール」という。)は、

前記一对の導体が、前記複数の素子対が発する熱を前記領域の外側へ放出する第1金属板及び第2金属板であり、

前記出力バスバーが、前記正極バスバーに繋がれた半導体素子に繋がる第1端部と、前記負極バスバーに繋がれた半導体素子に繋がる第2端部と、を有すると共に、

前記領域の内側において、

前記正極バスバーと前記第1金属板とが、絶縁されながら隣接し、

前記負極バスバーと前記第2金属板とが、絶縁されながら隣接し、

前記第1端部と前記第2金属板とが、絶縁されながら隣接し、

前記第2端部と前記第1金属板とが、絶縁されながら隣接し、

前記正極バスバーに繋がれた半導体素子が、前記正極バスバーと前記第1端部とに挟まれ、

20

前記負極バスバーに繋がれた半導体素子が、前記負極バスバーと前記第2端部とに挟まれる、

ように構成される。

第2発明によるパワーモジュールは、寄生インダクタンスの低減効果を発揮可能な構成を有していればよく、各要素(一对の導体、各半導体素子、正極バスバー、負極バスバー及び出力バスバー)の具体的な配置等は、特に制限されない。例えば、第2発明によるパワーモジュールにおける各要素の配置は、寄生インダクタンスの低減に加え、パワーモジュールの小型化および放熱性の向上等を考慮しながら決定されてもよい。

30

第2発明によるパワーモジュールの構成によれば、“正極バスバー、正極バスバーに繋がれた半導体素子、負極バスバーに繋がれた半導体素子および負極バスバーによって画成される導電経路”が、第1金属板および第2金属板の双方に隣接した位置に形成される。更に、各バスバーおよび各半導体素子、並びに、絶縁のための絶縁層等の厚さが十分に小さければ、導電経路が存在する仮想平面と各金属板とは平行である、とみなし得る。よって、第2発明によるパワーモジュールは、同モジュールの寄生インダクタンスを効率良く低減できる。

40

更に、一对の導体(金属板)が放熱機能を有しているため、これら導体とは別に放熱板等を設ける場合に比べ、パワーモジュールを小型化できる。加えて、正極バスバーに繋がれた半導体素子が発する熱が、正極バスバー及び出力バスバーを介して2つの金属板から放出され、負極バスバーに繋がれた半導体素子が発する熱も、負極バスバー及び出力バスバーを介して2つの金属板から(半導体素子の両面から)放出される。よって、各半導体素子が発する熱を2つの金属板の双方を利用して偏りなく放出できるので、各金属板の放熱機能を最大限に利用でき、パワーモジュールの放熱性を向上できる。

よって、第2発明によるパワーモジュールは、寄生インダクタンスの低減に加え、パワーモジュールの小型化および放熱性の向上をも同時に図ることができる。

尚、第2発明によるパワーモジュールも、前記正極バスバー及び前記負極バスバーが、前記領域の外側と内側との境界面において、絶縁可能な最小距離だけ離れるように構成さ

50

れ得る。

【 0 0 2 8 】

ところで、電子回路の寄生インダクタンスの大きさは、一般に、電子回路の長さに依存する。そのため、複数の「導電経路」の長さがそれぞれ異なれば、各導電経路の寄生インダクタンスの大きさも異なると考えられる。即ち、「導電経路」の各々は、異なる大きさの寄生インダクタンスを有すると考えられる。このような寄生インダクタンスの相違（以下「寄生インダクタンスのばらつき」という。）は、出来る限り小さいことが望ましい。

【 0 0 2 9 】

そこで、上記第 1 発明及び第 2 発明の 1 つの態様によるパワーモジュールは、前記一対の導体が、互いに平行な平板状の形状を有し、前記導電経路が、前記一対の導体と平行な同一の仮想平面上に存在する、ように構成され得る。

10

【 0 0 3 0 】

上記構成によれば、導電経路の各々と導体との各距離が、導電経路によらない一定の値となる。この場合、導電経路が長いほど導電経路に沿って導体内に生じる渦電流も長くなり、導電経路の長さに対応した寄生インダクタンスの低減効果が得られる。よって、本態様のパワーモジュールは、寄生インダクタンスのばらつきを小さくできる。

20

【 0 0 3 1 】

ところで、導電経路は、厳密には、その経路を構成する各要素（素子対、正極バスバー及び負極バスバー）の三次元配置に対応した立体的形状を有し、必ずしも特定の「仮想平面」上には存在しない。しかし、一般に、パワーモジュールのインバータ回路は、本態様のように導電経路と導体との位置関係を規定する観点において、各要素の三次元配置（厚さ方向の配置の相違）を無視できる程度に小さい（薄い）。そのため、導電経路は、「仮想平面」上に存在するとみなすことができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 0 】

【図 1】本発明の実施形態に係るパワーモジュールの概略構成を表す模式図である。

30

【図 2】図 1 に示したパワーモジュールを A - A 軸に沿った平面で切断したときの概略断面図である。

【図 3】図 1 に示したパワーモジュールを上方向から見た場合の模式図である。

【図 4】図 1 に示したパワーモジュール内の導電経路の一例を説明するための模式図である。

【図 5】図 1 に示したパワーモジュール内の導電経路の一例を説明するための模式図である。

【図 6】図 1 に示したパワーモジュール内の導電経路の一例を説明するための模式図である。

【図 7】図 1 に示したパワーモジュール内の導電経路の一例を説明するための模式図である。

40

【図 8】本発明のパワーモジュールの他の態様を表す模式図である。

【図 9】本発明のパワーモジュールの他の態様を表す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 4 1 】

<実施形態>

[装置の概要]

図 1 は、本発明の実施形態に係るパワーモジュール（以下「実施モジュール 1 0」という。）の概略構成を示している。実施モジュール 1 0 は、6 つの半導体素子を 1 つのモジュール内に設けた 6 i n 1 モジュールであり、略直方体の形状を有している。

50

## 【 0 0 4 2 】

具体的には、実施モジュール10は、インバータ回路20、及び、インバータ回路20を挟む一対の金属板31、32を有している。図1に示すように、インバータ回路20は、金属板31、32に挟まれる領域の内側に配置されている。なお、実際には、インバータ回路20及び金属板31、32は、絶縁層を挟んで互いに密着した状態にて樹脂等で一体化（樹脂封止）されている。しかし、図1では、実施モジュール10の構成を容易に理解できるように、インバータ回路20及び金属板31、32が互いに離れた位置に表示されている。

## 【 0 0 4 3 】

インバータ回路20は、コレクタバスバー（正極バスバー）21、エミッタバスバー（負極バスバー）22、3つの出力バスバー（23u、23v、23w）、6つの半導体素子（24a、24b、25a、25b、26a、26b）、及び、絶縁層27、28を有している。インバータ回路20において、半導体素子24a、24bは、出力バスバー23uを介して繋がれ、第1の素子対を構成している（後述される図2に関する説明も参照）。同様に、半導体素子25a、25bは出力バスバー23vを介して繋がれて第2の素子対を構成し、半導体素子26a、26bは出力バスバー23wを介して繋がれて第3の素子対を構成している。

## 【 0 0 4 4 】

コレクタバスバー21、エミッタバスバー22及び出力バスバー23u、23v、23wは、金属板31、32に挟まれる領域の外側から内側に向かって伸びている。更に、コレクタバスバー21及びエミッタバスバー22は、同領域の内側と外側との境界面において、絶縁可能な最小距離 $D_{min}$ だけ離れて隣接している。一方、出力バスバー23u、23v、23wは、コレクタバスバー21及びエミッタバスバー22が通過する上記境界面と同じ境界面を通過している。なお、実施モジュール10が実際に使用されるとき、コレクタバスバー21及びエミッタバスバー22は外部電源（直流電源）の高電圧側の端子および低電圧側の端子にそれぞれ接続され、出力バスバー23u、23v、23wは外部負荷（本例では三相交流で作動する電動機等）の各端子に接続されることになる。

## 【 0 0 4 5 】

より具体的には、図2（図1の出力バスバー23u及び素子対24a、24bを切断するA-A断面図）に示すように、コレクタバスバー21に繋がれた半導体素子24aは、IGBT24a1及びダイオード24a2を含んでいる。ダイオード24a2は、IGBT24a1に逆並列接続されている（図4（b）を参照）。また、エミッタバスバー22に繋がれた半導体素子24bは、IGBT24b1と、IGBT24b1に逆並列接続されたダイオード24b2を含んでいる。更に、半導体素子24aと半導体素子24bとは、出力バスバー23uを介して繋がれている。本断面図には表示されていない他の半導体素子25a、25b、26a、26bも、上記同様、IGBT及びダイオードを含み、出力バスバーを介して接続されている。

## 【 0 0 4 6 】

半導体素子24aは、コレクタバスバー21に半田29を介して接続され、且つ、出力バスバー23uの一端（第1端部）23u1に半田29を介して接続されている。即ち、半導体素子24aは、コレクタバスバー21と出力バスバーの一端23u1とに挟まれている。一方、半導体素子24bは、エミッタバスバー22に半田29を介して接続され、且つ、出力バスバー23uの他端（第2端部）23u2に半田29を介して接続されている。即ち、半導体素子24bは、エミッタバスバー22と出力バスバーの他端23u2とに挟まれている。

## 【 0 0 4 7 】

コレクタバスバー21と金属板31とは、絶縁層27を介して隣接している。一方、エミッタバスバー22と金属板32とは、絶縁層28を介して隣接している。更に、出力バスバーの一端23u1と金属板32とは、絶縁層28を介して隣接している。一方、出力バスバー23uの他端23u2とは、絶縁層27を介して隣接している。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 8 】

金属板 3 1 , 3 2 は、平面視が長方形である薄板状の形状を有している。金属板 3 1 , 3 2 は、同一の形状を有しており、互いに平行となるように配置されている。金属板 3 1 は、素子対 2 5 a , 2 5 b が発する熱をコレクタバスバー 2 1 及び出力バスバーの他端 2 3 v 2 を介して受け取り、その熱を実施モジュール 1 0 の外部（図中の上方向）に放出する。一方、金属板 3 2 は、半導体素子 2 5 a , 2 5 b が発する熱をエミッタバスバー 2 2 及び出力バスバーの一端 2 3 v 1 を介して受け取り、その熱を実施モジュール 1 0 の外部（図中の下方向）に放出する。なお、金属板 3 1 , 3 2 は、他の半導体素子 2 5 a , 2 5 b , 2 6 a , 2 6 b が発する熱も、同様に実施モジュール 1 0 の外部に放出する。即ち、金属板 3 1 , 3 2 は、インバータ回路 2 0 から発せられる熱を放熱し、インバータ回路 2 0 を冷却する機能を有する。

10

## 【 0 0 4 9 】

なお、図 2 において、各要素の厚さ及び大きさは、説明の便宜上、実際の各要素の厚さ及び大きさとは異なるように記載されている。例えば、各要素の厚さは、実際には金属板 3 1 , 3 2 の面積に対して十分に小さい。そのため、実施モジュール 1 0 は、実際には、縦方向および横方向の長さに対して厚さ方向の長さが小さい薄板状の形状を有している。

## 【 0 0 5 0 】

更に、図 3（実施モジュール 1 0 を上方向から見た模式図）に示すように、コレクタバスバー 2 1、半導体素子 2 4 a、半導体素子 2 4 b 及びエミッタバスバー 2 2 によって画成される経路 R 1（後述されるリカバリ電流が通過する導電経路）は、金属板 3 1 , 3 2 に挟まれる領域の内側において、ループ状の形状を有している。具体的には、同領域の内側においてコレクタバスバー 2 1 とエミッタバスバー 2 2 とが素子対 2 4 A , 2 4 b を挟んで離れており、且つ、同領域の内外の境界面においてコレクタバスバー 2 1 とエミッタバスバー 2 2 とが絶縁可能な最小距離  $D_{min}$  にまで近接している。

20

## 【 0 0 5 1 】

上記同様、コレクタバスバー 2 1、半導体素子 2 5 a、半導体素子 2 5 b 及びエミッタバスバー 2 2 によって画成される経路 R 2 も、同領域の内側において、ループ状の形状を有している。同様に、コレクタバスバー 2 1、半導体素子 2 6 a、半導体素子 2 6 b 及びエミッタバスバー 2 2 によって画成される経路 R 3 も、同領域の内側において、ループ状の形状を有している。

30

## 【 0 0 5 2 】

これらループ状の経路 R 1 , R 2 , R 3 は、厳密には、インバータ回路 2 0 の厚さ方向に傾いた立体的形状を有している（図 2 を参照。）。しかし、上述したように、インバータ回路 2 0 の各要素の厚さは、金属板 3 1 , 3 2 の面積に対して十分に小さい。そのため、経路 R 1 , R 2 , R 3 は、金属板 3 1 , 3 2 の双方と実質的に平行な同一の仮想平面上に存在しているとみなすことができる。別の言い方をすると、これら経路 R 1 , R 2 , R 3 は、金属板 3 1 , 3 2 に対面する形状を有している。

## 【 0 0 5 3 】

## [ 寄生インダクタンスの低減 ]

図 4 ~ 7 を参照しながら、実施モジュール 1 0 の寄生インダクタンスについて説明する。実施モジュール 1 0 のインバータ回路 2 0 は、図示しない制御装置が PWM 制御に従って決定したオン・オフタイミングに基づき、6 つの半導体素子 2 4 a ~ 2 6 b をスイッチングする。各出力バスバーは外部負荷（電動機）に繋がれているため、このスイッチング時、各出力バスバーと外部負荷との電位差（両者の位相差に起因する。）に基づき、各出力バスバーを通過する電流の向きが定まる。

40

## 【 0 0 5 4 】

例えば、半導体素子 2 4 a の IGBT 2 4 a 1 がオン（導通状態）であり、半導体素子 2 4 b の IGBT 2 4 b 1 がオフ（遮断状態）である場合において、出力バスバー 2 3 u の電位が外部負荷の電位よりも低いとき、出力バスバー 2 3 u に電流が流入する。このとき、図 4（a）の概略図および図 4（b）の回路図に示すように、電流は、ダイオード 2

50

4 a 2 を通過して電源（コレクタバスバー 2 1）に向かう。このように電流が流れる際、ダイオード 2 4 a 2 には順バイアスが加わり、ダイオード 2 4 a 2 の空乏層が縮小している。

【 0 0 5 5 】

その後、図 5（a）の概略図および図 5（b）の回路図に示すように、IGBT 2 4 a 1 がオフとなり、IGBT 2 4 b 1 がオンとなると、ダイオード 2 4 a 2 に逆バイアスが加わる。このとき、順バイアス時に縮小したダイオード 2 4 a 2 の空乏層が再び十分に拡大するまでの期間（逆方向回復過程）において、逆バイアス方向の電流（リカバリ電流）がダイオード 2 4 a 2 を通過することになる。リカバリ電流 R 1 は、図中の矢印に示すように、コレクタバスバー 2 1、ダイオード 2 4 a 2、IGBT 2 4 b 1、及び、エミッタバスバー 2 2 を短絡するように（即ち、図 3 に示すループ状の経路 R 1 を）流れる。

10

【 0 0 5 6 】

このようにリカバリ電流が流れたとき、電磁誘導効果により、金属板 3 1、3 2 の双方にリカバリ電流と逆方向の渦電流 E 1 が生じる。渦電流 E 1 が作る磁束の向きは、経路 R 1 を流れるリカバリ電流が作る磁束の向きと逆方向である。そのため、渦電流 E 1 に起因する磁束により、リカバリ電流に起因する磁束が打ち消される。更に、渦電流 E 1 は経路 R 1 を挟むように経路 R 1 の両側に発生するため、渦電流 E 1 が経路 R 1 の片側のみに発生する場合に比べ、より確実にリカバリ電流に起因する磁束が打ち消される。その結果、経路 R 1 に生じるサージ電圧が減少する分だけ、経路 R 1 の見かけ上の寄生インダクタンスが小さくなる。

20

【 0 0 5 7 】

図 3 に示す他のループ状の経路 R 2、R 3 をリカバリ電流が流れるときも、上記同様、経路 R 2、R 3 の見かけ上の寄生インダクタンスが小さくなる。具体的には、図 6（a）の概略図および図 6（b）の回路図に示すように、リカバリ電流が、コレクタバスバー 2 1、ダイオード 2 5 a 2、IGBT 2 5 b 1、及び、エミッタバスバー 2 2 を短絡するように（即ち、ループ状の経路 R 2 を）流れると、金属板 3 1、3 2 にリカバリ電流と逆方向の渦電流 E 2 が生じる。渦電流 E 2 に起因する磁束により、リカバリ電流に起因する磁束が打ち消され、経路 R 2 の見かけ上の寄生インダクタンスが小さくなる。

【 0 0 5 8 】

更に、図 7（a）の模式図および図 7（b）の回路図に示すように、リカバリ電流が、コレクタバスバー 2 1、ダイオード 2 6 a 2、IGBT 2 6 b 1、及び、エミッタバスバー 2 2 を短絡するように（即ち、ループ状の経路 R 3 を）流れると、金属板 3 1、3 2 にリカバリ電流と逆方向の渦電流 E 3 が生じる。渦電流 E 3 に起因する磁束により、リカバリ電流に起因する磁束が打ち消され、経路 R 3 の見かけ上の寄生インダクタンスが小さくなる。

30

【 0 0 5 9 】

このように、実施モジュール 1 0 は、素子対ごとに存在する 3 つのループ状の経路 R 1、R 2、R 3 の各々について（即ち、インバータ回路 2 0 の全体において）見かけ上の寄生インダクタンスを小さくできる。換言すると、インバータ回路 2 0 及び金属板 3 1、3 2 を含むパワーモジュール 1 0 の全体を一つの系と見た場合における、その系の寄生インダクタンスを小さくできる。即ち、実施モジュール 1 0 は、寄生インダクタンスを低減することが可能な構成を備えている。

40

【 0 0 6 0 】

更に、実施モジュール 1 0 は、金属板 3 1、3 2 が放熱機能を有しているため、金属板 3 1、3 2 とは別に放熱板を設ける場合に比べ、パワーモジュールを小型化できる。加えて、コレクタバスバー 2 1 に繋がれた半導体素子 2 4 a、2 5 a、2 6 a が発する熱が、コレクタバスバー 2 1 及び出力バスバー 2 3 u、2 3 v、2 3 w を介して金属板 3 1、3 2 から放出され、エミッタバスバー 2 2 に繋がれた半導体素子 2 4 b、2 5 b、2 6 b が発する熱も、エミッタバスバー 2 2 及び出力バスバー 2 3 u、2 3 v、2 3 w を介して金属板 3 1、3 2 から放出される。よって、各半導体素子が発する熱を 2 つの金属板 3 1、

50

3 2の双方を利用して偏りなく放出できるので、金属板3 1, 3 2の放熱機能を最大限に利用でき、パワーモジュールの放熱性を向上できる。

【0061】

<その他の実施形態>

本発明は上記実施形態に限定されることはなく、本発明の範囲内において種々の変形例を採用できる。例えば、実施モジュール10に採用される金属板3 1, 3 2は、切欠き及び開口部等を有さない単一の板体である。しかし、金属板3 1, 3 2は、必ずしもインバータ回路20の全体を完全に挟む必要はなく、インバータ回路20の経路R 1, R 2, R 3に対応する部分のみを挟む形状を有してもよい。即ち、金属板3 1, 3 2のうち経路R 1, R 2, R 3に対応しない部分については、切欠き及び開口部等を設けてもよい。更に、金属板3 1, 3 2は、必ずしも単一の板体である必要はなく、複数の金属板を導通可能に接続した板体であってもよい。また、金属板3 1, 3 2は、経路R 1, R 2, R 3ごとに導通不能に区切られた複数の板体の組合せであってもよい。

10

【0062】

更に、実施モジュール10は、コレクタバスバー2 1及びエミッタバスバー2 2並びに出力バスバー2 3 u, 2 3 v, 2 3 wが、実施モジュール10から同じ方向に向けて伸びている。しかし、各バスバーは必ずしも同じ方向に伸びる必要はない。例えば、図8に示すように、コレクタバスバー2 1及びエミッタバスバー2 2が伸びる方向と、出力バスバー2 3 u, 2 3 v, 2 3 wが伸びる方向と、が逆方向であってもよい。更に、図9に示すように、コレクタバスバー2 1とエミッタバスバー2 2とが異なる方向に伸びてもよい。

20

【0063】

即ち、各バスバーの配置は、リカバリ電流が流れることになる各経路(図3のR 1, R 2, R 3)が金属板3 1, 3 2に挟まれた領域の側面に沿うように湾曲しながら同領域の内側を略一周するように、定められれば良い。例えば、実施モジュール10のように金属板3 1, 3 2の平面視の形状が長方形である場合、各経路は、その長方形の4つの辺(上記領域の側面に相当)の各々に略平行な4つの経路によって構成されればよい。

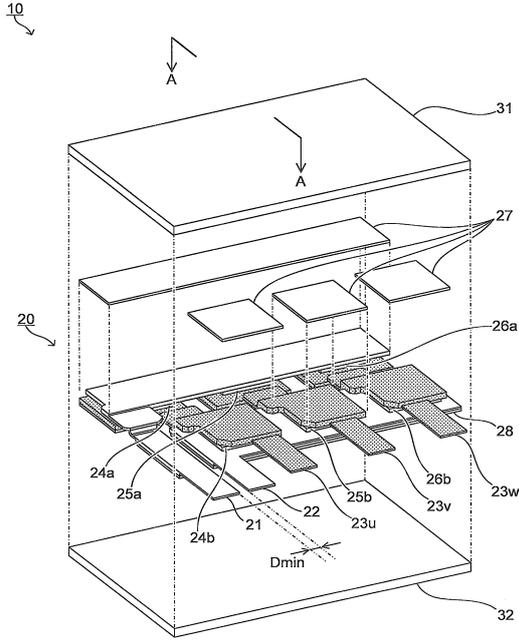
【符号の説明】

【0064】

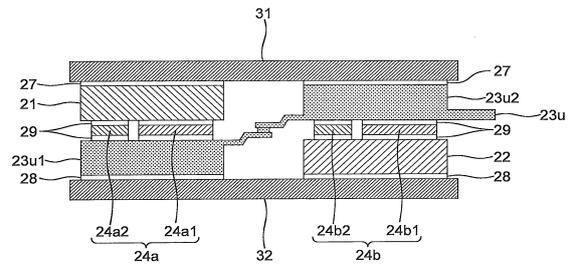
10...パワーモジュール、2 1...コレクタバスバー(正極バスバー)、2 2...エミッタバスバー(負極バスバー)、2 3 u, 2 3 v, 2 3 w...出力バスバー、2 4 a, 2 4 b, 2 5 a, 2 5 b, 2 6 a, 2 6 b...半導体素子、2 4 a 1, 2 4 b 1, 2 5 a 1, 2 5 b 1, 2 6 a 1, 2 6 b 1...IGBT、2 4 a 2, 2 4 b 2, 2 5 a 2, 2 5 b 2, 2 6 a 2, 2 6 b 2...ダイオード、2 7, 2 8...絶縁層、3 1, 3 2...金属板

30

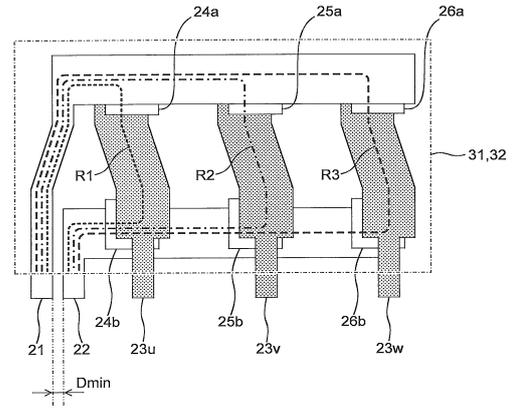
【図1】



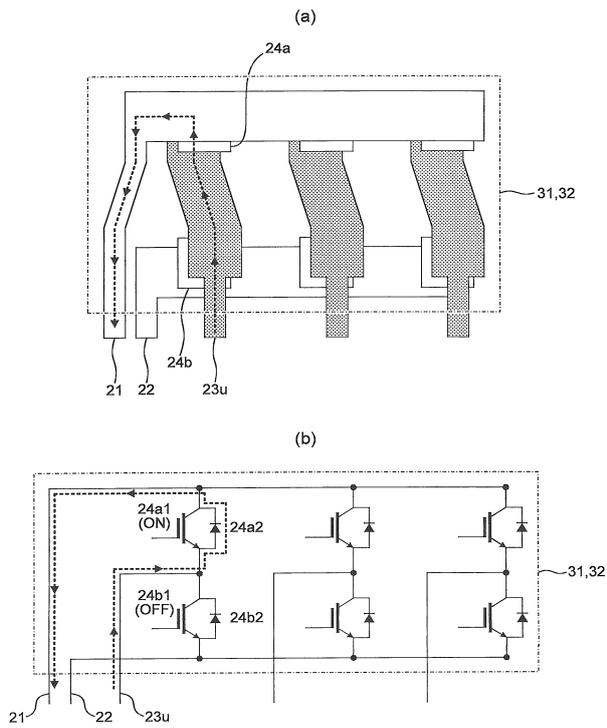
【図2】



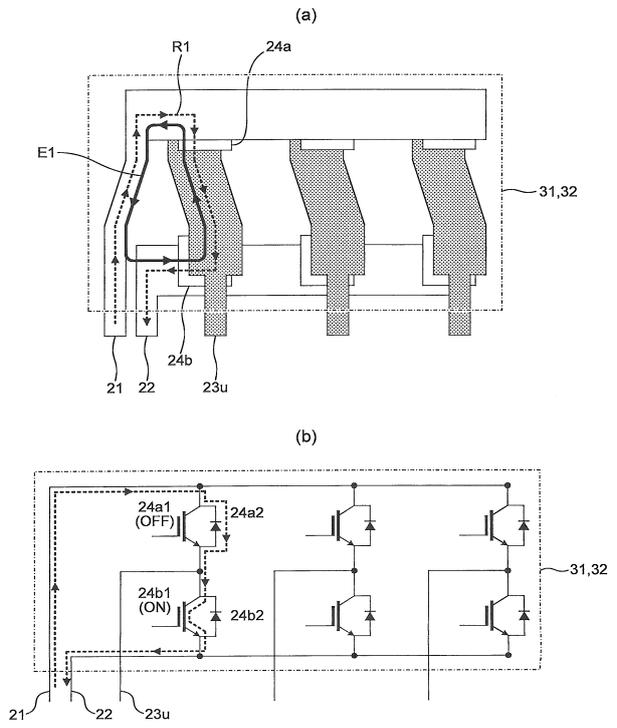
【図3】



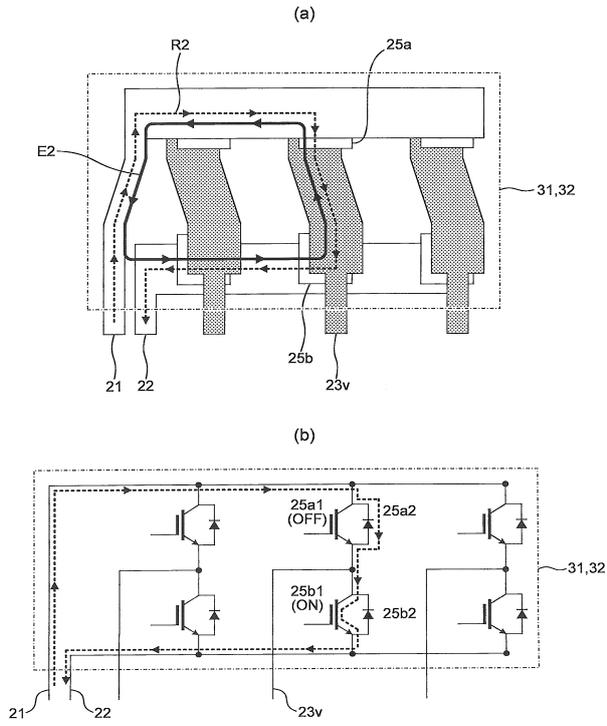
【図4】



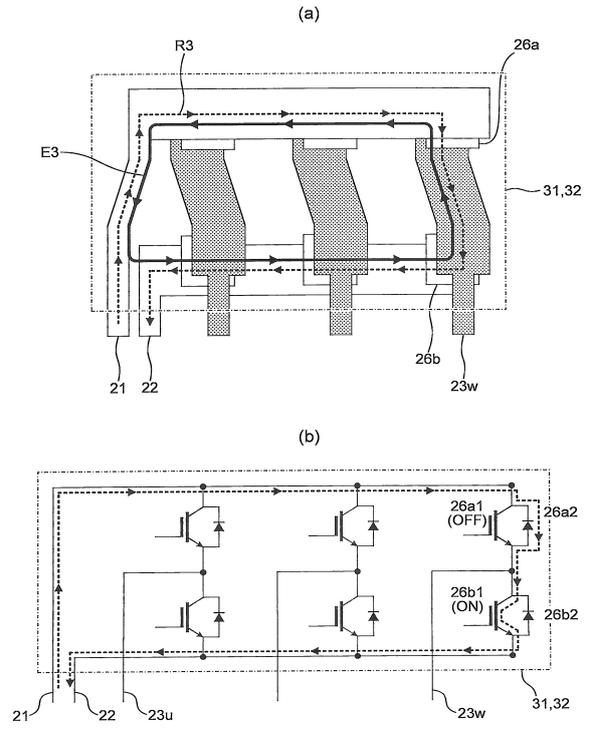
【図5】



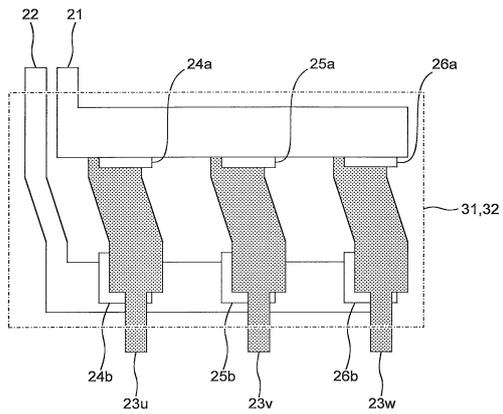
【 図 6 】



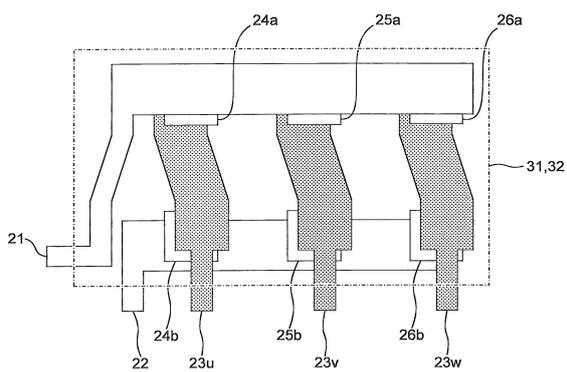
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 木村 隆

東京都中央区明石町8番1号 新神戸電機株式会社内

(72)発明者 土持 真悟

愛知県豊田市花本町井前1番地21 トヨタテクニカルディベロップメント株式会社内

(72)発明者 川島 崇功

愛知県豊田市花本町井前1番地21 トヨタテクニカルディベロップメント株式会社内

審査官 柳下 勝幸

(56)参考文献 特開2007-082359(JP,A)

特開2010-258315(JP,A)

特開2013-192403(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02M 7/48

H01L 25/04