

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5121133号
(P5121133)

(45) 発行日 平成25年1月16日(2013.1.16)

(24) 登録日 平成24年11月2日(2012.11.2)

(51) Int.Cl. F I
 HO 1 L 25/07 (2006.01) HO 1 L 25/04 C
 HO 1 L 25/18 (2006.01)

請求項の数 9 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2005-325600 (P2005-325600)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成17年11月10日(2005.11.10)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2006-148098 (P2006-148098A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタデー、リバーロード、1番
(43) 公開日	平成18年6月8日(2006.6.8)	(74) 代理人	100137545
審査請求日	平成20年11月7日(2008.11.7)		弁理士 荒川 聡志
(31) 優先権主張番号	10/998,798	(74) 代理人	100105588
(32) 優先日	平成16年11月24日(2004.11.24)		弁理士 小倉 博
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久
		(72) 発明者	リュビサ・ドラゴリュブ・ステヴァノヴィッチ
			アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、ウィンターグリーン・コート、6番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パワーモジュール組立体及び3相インバータ組立体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のパワーモジュール(10)を有するパワーモジュール組立体(80)であって、前記パワーモジュールの各々が、

上部層(16)、電気絶縁体(26)及び熱結合層(28)を備え、前記上部層が少なくとも1つの導電性パターン(17)を含み且つ少なくとも1つのパワーデバイス(14)を受け入れるように構成され、前記電気絶縁体が前記上部層と前記熱結合層との間に配置され、前記熱結合層がベースプレート(30)に熱結合するように構成された、基板(12)と、

第1の導電層(20)、絶縁層(22)、及び第2の導電層(24)を備え、前記絶縁層が前記第1及び第2の導電層の間に配置され、前記第1の導電層が前記基板の上部層に電氣的に接続された、エッジカードコネクタ(18)と、

前記少なくとも1つのパワーデバイスの表側(19)を前記エッジカードコネクタの第2の導電層に接続する複数の電氣的接続部(42)と、

を備え、

前記パワーモジュール組立体は更に、

前記エッジカードコネクタのそれぞれを受け入れるように構成された複数のレセプタクル(44)と、

正の直流(DC)バス層(48)、出力層(50)、及び負のDCバス層(52)を備え、前記レセプタクルが取り付けられるバックプレーン(46)と、

10

20

を具備するパワーモジュール組立体(80)。

【請求項2】

各前記パワーモジュールに設けられた、前記少なくとも1つのパワーデバイスを冷却するためのヒートシンクをさらに備え、該ヒートシンクが前記ベースプレートを含む構成となっており、前記電気絶縁体(26)が熱伝導体である、請求項1に記載のパワーモジュール組立体(80)。

【請求項3】

各前記基板(12)は、銅直接接合(DBC)を有し、
各前記パワーモジュールは、前記パワーデバイスを複数含み、
前記パワーデバイスは前記基板の前記導電性パターン(17)に設けられ、
前記電氣的接続部が、ワイヤボンド(42)、パワーオーバーレイ(43)、リボンボンド(42)、及びこれらの組み合わせからなるグループから選択される、請求項1に記載のパワーモジュール組立体(80)。

10

【請求項4】

前記電氣的接続部が、静的及び動的電流共有に対して対称である、請求項3に記載のパワーモジュール組立体(80)。

【請求項5】

多層セラミックコンデンサ及びフィルムコンデンサからなるグループから選択され、前記バックプレーンの裏面(84)上に取り付けられた少なくとも1つの低インダクタンスコンデンサ(82)を更に含む、請求項1に記載のパワーモジュール組立体(80)。

20

【請求項6】

前記パワーモジュール(10)を少なくとも2つ備え、前記レセプタクル(44)を少なくとも2つ備え、
前記パワーモジュール(10)と前記レセプタクル(44)とは隣接構成で配置される、
請求項1に記載のパワーモジュール組立体(80)。

【請求項7】

前記パワーモジュール組立体(80)がスイッチトリラクタンスモータ(SRM)ドライブとして構成され且つ少なくとも4つのパワーモジュール(10)を含み、
前記パワーモジュールの少なくとも2つがスイッチモジュール(10)であり、前記パワーモジュールの少なくとも2つがダイオードモジュール(10)であり、前記SRMドライブが少なくとも2つの相脚を含み、該相脚の各々が前記スイッチモジュールの少なくとも1つと前記ダイオードモジュールの少なくとも1つを含む、
請求項1に記載のパワーモジュール組立体(80)。

30

【請求項8】

前記SRMがN個(Nは整数)の巻線を含み、SRMドライブとして構成された前記パワーモジュール組立体が、それぞれのN個の巻線の各々に対して2つのスイッチモジュールと2つのダイオードモジュールとを含み、前記SRMドライブが、2Nの相脚を含み、該相脚の各々が前記スイッチモジュールの少なくとも1つと前記ダイオードモジュールの少なくとも1つを含み、前記相脚の2つが前記SRM巻線のそれぞれ1つを駆動することを特徴とする請求項7に記載のパワーモジュール組立体(80)。

40

【請求項9】

6つのパワーモジュール(10)を有するモジュール式3相インバータ組立体(90)であって、前記パワーモジュールの各々が、
ヒートシンク(30)と、
上部層(16)、電気絶縁体(26)及び熱結合層(28)を備え、前記上部層が導電性パターン(17)を含み、前記電気絶縁体が前記上部層と前記熱結合層との間に配置され、前記熱結合層(28)が前記ヒートシンクに熱的結合するように構成され、前記ヒートシンクに取り付けられる基板(12)と、
少なくとも1つのトランジスタ(36)と少なくとも1つの逆並列ダイオード(38)とを備え、前記導電性パターン上に取り付けられる少なくとも1つのスイッチ(34)と、

50

前記基板及び前記少なくとも1つのスイッチを収納するハウジング(32)と、
 第1の導電層(20)、絶縁層(22)、及び第2の導電層(24)を備え、前記絶縁層
 が前記第1の及び第2の導電層の間に配置され、前記第1の導電層が前記基板の上部層に
 電氣的に接続された、層状相互接続部(18)と、
 前記逆並列ダイオードのアノードを前記層状相互接続部の第2の導電層に接続する複数の
 電氣的接続部(42)と、
 を備え、前記モジュール式3相インバータ組立体が更に、
 前記層状相互接続部のそれぞれを受け入れるように構成された複数のレセプタクル(44
)と、
 正の直流(DC)バス層(48)、出力層(50)、及び負のDCバス層(52)を備え 10
 る、前記レセプタクルが取り付けられるバックプレーン(46)と、を含み、
 前記パワーモジュールが3つのペアで配置され、該ペアの各々が1つの相脚に対応するこ
 とを特徴とするモジュール式3相インバータ組立体(90)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般にパワーモジュールに関し、より詳細には、高出力パワーエレクトロニク
 ス用途の低インダクタンスパワーモジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

シリコン絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)のような最新のパワー半導体
 スイッチは、初期の設計よりもはるかに高い周波数でスイッチングすることができる。ス
 イッチング損失が低いことにより、高周波電力変換を必要とする新規の応用が可能となる
 。しかしながら、この高速スイッチングの変化には、従来の実装技術の高い寄生インダク
 タンスに関連する特有の問題がある。具体的には、パワーデバイスのオフ時に発生する電
 圧オーバーシュートは、寄生インダクタンスとスイッチング中のIGBT電流の傾きとの
 積に比例する。新型IGBTが高速のスイッチング遷移を有することにより、寄生インダ
 クタンスの低減は、新世代のパワーデバイスにとってデバイスのオフ時の過大な電圧オー
 ーシュートを回避するためにより重要である。例えば、50nHの寄生インダクタンス 30
 及び比較的高速な5A/ナノ秒(nS)のスイッチング遷移を有する500VDCバスで
 のコンバータの動作は、50%の電圧オーバーシュートを生じることになる。

【0003】

ネジ式電力端子を備える従来のパワーモジュールを図11に示す。従来のパワーモジュ
 ールの寄生インダクタンスは、およそ20nHであり、従来設計の相脚(phase-leg)イン
 ダクタンスは通常、50nHを超える。ネジ式電力端子のリード線は、寄生インダクタン
 スの大部分を占め、残りはワイヤボンディングと基板レイアウトによるものである。これら
 の寄生インダクタンスが高いことに加え、非対称なレイアウトは、パワーデバイス間の電流共
 有が不十分になる。従って、新世代の高速IGBTデバイスと共に従来のパワーモジュ
 ールを用いると、好ましくない有意に高い電気応力を生じることになる。 40

【0004】

これまでも低インダクタンスのパワーモジュールを設計しようとする試みがなされて
 いる。例えば、Mouric他による「サブnHインダクタンスを有する750A、7
 5V、MOSFETパワーモジュール」、2002年9月2日、第14回パワー半導体デ
 バイス及びICに関する国際シンポジウムIEEE会報では、パワーデバイスを使用し
 て3次元のインターリーブを可能にする幾つかの導電性ウエブを装備した低インダクタン
 スのマルチチップ相互接続について記載されている。各スイッチング遷移期間中、対向磁
 場がパワーデバイスを通る電流と導電性ウエブ内の電流によって生成される。対向磁
 場は相殺され、結果として相互接続に対し2nHの寄生インダクタンスを生じる。しかし
 ながら、Mouric他は、モジュール及びコンバータレベルで低寄生インダクタンス 50

相互接続の設計に対処することができなかった。この設計の他の欠点には、導電性ウエブの付加並びにモジュール組立体全体の複雑さに起因するコストの上昇がある。

【0005】

A r a i 他による名称「低浮遊インダクタンスを有する半導体デバイス」の米国特許第5,424,579号は、パワーモジュールのデバイス及び基板レイアウトに対処している。しかしながら、A r a i 他は、モジュールを高インピーダンスに保持する1ペアの従来型電力端子を特徴としている。加えて、そのレイアウトは非対称であり、並列のパワーデバイスダイ間で動的及び静的電流共有に関する問題を生じる可能性がある。

【0006】

B a y e r e r 他による名称「低インピーダンスパワー半導体モジュール」の米国特許第5,574,312号は、液冷式ヒートシンクの両面上に構成された低インピーダンス2重パワーモジュールを曖昧に記載しているが、この設計には実施できない幾つかの態様が存在する。例えば、B a y e r e r 他の図2は、相脚の非対称なレイアウトを示し、ヒートシンクの一方の側面のデバイスが恐らくは下方にコレクタ/ドレイン/カソードを取り付けられ、他方の側面のデバイスが下方にエミッタ/ソース/アノードを反転取り付けられている。加えて、パワーデバイスの両面ヒートシンクへのはんだ付けは、実際的ではなく、異なる融点を有するマルチはんだ付けの使用を必要とする可能性がある。更に、モジュールは、デバイスをヒートシンクの一方側から他方の側に接続するために中間点電力端子を使用する。この接続は、常に高い寄生インダクタンスを生じ、相脚全インダクタンスを増大させることになる。

【特許文献1】米国特許第5,424,579号

【特許文献2】米国特許第5,424,579号

【非特許文献1】Mourick et al., "750 A, 75 V MOSFET Power Module with Sub-nH Inductance," September 2, 2002, IEEE, Proceedings of the 14th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs

【非特許文献2】"Hot Plug, High Current Dual Crown Clip Socket Connector" (Tyco Electronics)

【非特許文献3】"Dynamic Behaviour and Ruggedness of Advanced Fast Switching IGBTs and Diodes" (0-7803-7883—0/03, IEEE)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従って、パワーデバイスの実装に使用する低インダクタンスのパワーモジュールを開発することが望ましい。更に、低インダクタンスの相脚モジュール及び低寄生インダクタンスのモジュール式3相インバータを開発することが望ましい。更に、電力端子リード線に付随する寄生インダクタンスに対する寄与度を低減し、及び並列パワーデバイス間で静的及び動的電流の共有を可能にすることが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0008】

要約すると、本発明の1つの実施形態に従って、パワーモジュールが記載される。本パワーモジュールは、上部層、電気絶縁体、及び熱結合層を備える少なくとも1つの基板を有する。上部層は、少なくとも1つの導電性パターンを含み、少なくとも1つのパワーデバイスを受け入れるように構成される。電気絶縁体は、上部層と熱結合層との間に配置される。熱結合層は、ヒートシンクに熱を伝導するように構成される。本パワーモジュールは更に、第1の導電層、絶縁層、及び第2の導電層を備える、少なくとも1つの層状相互接続部を有する。絶縁層は、第1及び第2の導電層の間に配置され、層状相互接続部の第1の導電層は、基板の上部層に電氣的に接続される。電氣的接続部は、少なくとも1つのパワーデバイスの表側を層状相互接続部の第2の導電層に接続する。

【0009】

本発明の別の実施形態に従って、パワーモジュール組立体が記載される。本パワーモジ

ジュール組立体は、幾つかのパワーモジュール、パワーモジュールのそれぞれの層状相互接続部を受け入れるように構成された幾つかのレセプタクル、及びバックプレーンを有する。バックプレーンは、正の直流(DC)電力バス層、出力層50、及び負のDC電力バス層を有する。レセプタクルは、バックプレーン上に取り付けられる。

【0010】

本発明の別の実施形態に従って、モジュール式相脚組立体が記載される。本モジュール式相脚組立体は、2つのパワーモジュールを含み、該パワーモジュールの各々は、ヒートシンク、ヒートシンクに取り付けられた基板、及び、少なくとも1つのトランジスタと少なくとも1つの逆並列ダイオードとを含み且つ基板の上部層の導電性パターン上に取り付けられた少なくとも1つのスイッチを有する。パワーモジュールの各々は更に、基板及び少なくとも1つのスイッチを収納するハウジング、並びに層状相互接続部を有する。層状相互接続部の第1の導電層は、基板の上部層に電氣的に接続される。電氣的接続部は、少なくとも1つの逆並列ダイオードのアノードを薄層相互接の第2の導電層に接続する。

10

【0011】

本発明の別の実施形態に従って、モジュール式3相インバータ組立体が記載される。本モジュール式3相インバータ組立体は、6つのパワーモジュール、パワーモジュールのそれぞれの層状相互接続部を受け入れるように構成された幾つかのレセプタクル、及びバックプレーンを有する。レセプタクルは、バックプレーン上に取り付けられる。パワーモジュールは、3つのペアで配置され、各ペアは1つの相脚に対応する。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明のこれら及び他の特徴、態様並びに利点は、図面全体を通じて同じ符号が同じ部分を表す添付図面と共に以下の詳細な説明を読むとよりよく理解されるであろう。

【0013】

本発明の実施形態である単一スイッチパワーモジュール10を図1と図3を参照して説明する。パワーモジュール10は単一のスイッチ構成で説明するが、該パワーモジュール10は、他の複数の構成にも等しく適用可能であることを当業者であれば理解するであろう。例えば図1に示すように、パワーモジュール10は、少なくとも1つの導電性パターン17を含み且つ少なくとも1つのパワーデバイス14を受け入れるように構成された上部層16を備える基板12を有する。例示的な導電性パターン17を図1に示す。図3に示すように、基板12は更に、電気絶縁体26と、熱結合層28とを有する。電気絶縁体26は、上部層16と熱結合層28との間に配置される。熱結合層28は、ヒートシンク30に熱結合するように構成される。パワーモジュール10は更に、図1に例証として示すように、第1の導電層20、絶縁層22、及び第2の導電層24を有する層状相互接続部18を含む。絶縁層22は、第1および第2の導電層20、24の間に配置される。層状相互接続部18の第1の導電層20は、基板12の上部層16に電氣的に接続される。図1に例証として示されるように、電氣的接続部42は、パワーデバイス14の表側19を層状相互接続部18の第2の導電層24に接続する。図1の例示的な実施形態では、電氣的接続部は、ワイヤボンダ42である。有益なことには、層状相互接続部を利用して基板と該層状相互接続部とをこのような方法で接続することにより、全寄生インダクタンスへの相互接続の寄与が低減される。

30

40

【0014】

本明細書で使用される語句「上部層16」は、導電性パターン17を形成し且つ同一平面内に配置された幾つかの接続及び/又は非接続の導電性領域を含む。上部層16は導電性である。

【0015】

本明細書で使用される語句「電氣的に接続される」は、配線、はんだ、パワーオーバレイ、接合、又は他の電氣的接続手段によって2つの要素を接続することを含む。特定の実施形態によれば、基板12の上部層16は、層状相互接続部18の第1の導電層20にはんだ付けされる。上部層16を導電層20に接続することによって、IGBTのコレクタ

50

(又はMOSFETのドレイン)及びダイオードのカソードなどの全てのパワーデバイスの裏側(図示せず)が相互接続される。

【0016】

より詳細な実施形態によれば、基板12は、銅直接接合(DBC)又は活性金属銅接合(AMB)構造で形成される。DBC及びAMBの両方は、銅層をセラミック基板に直接結合させるプロセスを云う。例示的なDBC又はAMB基板は、銅-セラミック-銅層で形成される。DBC及びAMBは、基板12に対して好都合な構造を与え、且つ電気絶縁体26の両側上に同一の導電性材料(この場合は、銅)を使用することにより、熱的及び機械的安定性が得られる。

【0017】

更に特定の実施形態によれば、電気絶縁体26は熱的導体である。例示的な電気絶縁体は、熱的導体である、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化アルミニウム(ALN)、酸化ベリリウム(BeO)、及び窒化珪素(Si_3N_4)を含む。

【0018】

例示的な絶縁層22は、FR4、Kapton、他の絶縁ポリマー、及び他の絶縁材料を含む。特定の実施形態によれば(図示せず)、絶縁層22は、第1及び第2の導電層20、24を超えて沿面距離だけ延び、層状相互接続部18の縁部における電氣的絶縁破壊を回避する。当業者には公知のように、沿面距離を決定する一般則は、キロボルト当たり100ミルであり、ここで1ミルは1/1000インチである。例示的な導電層は銅で形成される。金接合銅はまた、酸化を還元するのに使用される。

【0019】

冷却は、パワーエレクトロニクス設計条件である。平面冷却技術を含む多数の冷却技術をパワーモジュール10に用いることができ、この実施例には、液体冷却、マイクロチャンネル冷却、及び従来のヒートシンクがある。図3の例示的な実施形態では、熱結合層28は、ベースプレート30に結合するように構成される。例えば、熱結合層28は、ベースプレート30にはんだ付けされ、又は、他の方法で結合可能である。具体的には、DBC又はAMB基板12は、ろう付け、接合、拡散接合、はんだ付け、又はクランピングの様な圧接を含む、幾つかの技術のうちのいずれかを使用してベースプレート30に接合することができる。これは、単純な組立プロセスを提供する。図3の例示的な実施形態では、パワーモジュール10は、ベースプレート30を備えるヒートシンク30を含む。図示のように、基板12は、ベースプレート30に取り付けられる。マイクロチャンネル冷却の実施形態として、同時係属の特許出願「マイクロチャンネル冷却を備えるパワーデバイス用ヒートシンク」において検討及び例証されているように、ヒートシンク30は、多数のマイクロチャンネル(本出願では図示せず)を含む。1つの実施形態では、マイクロチャンネルは、絶縁体26とベースプレート30との間に配置された導電(例えば、銅)層28内に形成される。他の実施形態では、マイクロチャンネルは、上部層16と、任意選択の導電層又はベースプレート30のいずれかとの間に配置されたセラミック絶縁体26内に形成される。好都合なことには、ヒートシンク30は、高出力密度に対応するためパワーデバイス14から熱を伝達して取り去る。

【0020】

図1の例示的な実施形態では、パワーモジュール10は更に、基板12上に取り付けられた幾つかのパワーデバイス14を含み、該パワーデバイスは、基板12の上部層16に電氣的に接続される。例示的なパワーデバイスは、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)、金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)、金属半導体電界効果トランジスタ(MESFET)、及び高電子移動度トランジスタ(HEMT)などのトランジスタ、及びダイオードを含む。これらはパワーデバイスの実施例であり、本発明がこれらの実施例に限定されるものではない点を当業者であれば理解するであろう。上述のように、電氣的接続部42、43は、パワーデバイス14の表側19を層状相互接続部18の第2の導電層24に接続する。例えば、パワーデバイス14は、図3に示すように、はんだ層15を介して基板12上に取り付けることができる。パワーデバイス14の表

10

20

30

40

50

側を層状相互接続部 18 の第 2 の導電層 24 に接続することによって、IGBT のエミッタ（又は MOSFET のソース）及びダイオードのアノードが相互接続される。加えて、パワーデバイス 14 の表側を層状相互接続部 18 の第 2 の導電層 24 に接続することによって、寄生インダクタンスが低減される。図 1 の例示的な実施形態では、電氣的接続部はワイヤボンダ 42 である。例示的なワイヤボンダは、10 - 15 ミルのアルミニウムワイヤボンダを含む。リボンボンダは、別の種類の電氣的接続である。図 2 は、電氣的接続部がパワーデバイス 14 の表側（図 2 に図示せず）を覆う少なくとも 1 つのパワーオーバーレイ 43 を含む、他の実施形態を示す。パワーオーバーレイは、発明の譲受人に譲渡された Ozmat 他による名称が「パワーエレクトロニクスモジュールの実装」の米国特許第 6,377,461 号に記載され、該特許はその全体が引用により本明細書に組み込まれる。パワーオーバーレイは通常、少なくとも 1 つの導電及び絶縁層と、幾つかのバイア（金属プラグ）とを含む。例示的な絶縁層は、Kapton で形成される。好都合なことには、パワーオーバーレイは、ワイヤボンダよりも堅牢であり、ワイヤボンダに対して寄生抵抗及びインダクタンスが低い。

【0021】

1 つの特定の実施形態によれば、電氣的接続部 17 及び 42 又は 43 は、静的（定常状態）及び動的（過渡状態）電流共有に対して対称である。対称とは、パワーデバイス 14 と、第 1 及び第 2 の導電層 20、24 との間のそれぞれの電氣的接続部の全長がほぼ等しいことを意味する。これとは対照的に、従来のパワーモジュール設計は、パワーデバイスと電力端子との間の長さが変化する電流経路を与える。従って、より短い電流経路を有するデバイスは、より長い電流経路を有するパワーデバイスよりも大きな応力を受ける。しかしながら、図 1 及び図 2 の対称的配置は、並列のパワーデバイス 14 間で優れた静的及び動的電流共有を可能にする。

【0022】

図 6 に示す相脚の実施形態では、パワーデバイス 14 は、少なくとも 1 つのトランジスタ 36 及び / 又は少なくとも 1 つの逆並列ダイオード 38 を含み、少なくとも 1 つのスイッチ 34 を形成する。1 つの特定の実施形態によれば、スイッチ 34 は、400 アンペアスイッチであり、4 つのトランジスタ及び 4 つの逆並列ダイオードを含む。この構成は単に例証に過ぎず、スイッチ 34 は、該スイッチ 34 の所望の用途に応じて別の電流定格及びこれに対応して別のトランジスタ / 逆並列ダイオード構成を有することができる。スイッチ 34 は、図 6 に示すように、導電性パターン 17 上に取り付けられる。電氣的接続部は、図 6 でワイヤボンダ 42 として示されており、ダイオード 38 のアノードを層状相互接続部 18 の第 2 の導電層 24 に接続する。電氣的接続部はまた、図 2 に関して上記で説明したように、リボンボンダ又は 1 つ又はそれ以上のパワーオーバーレイ 43 の形態を取ることでもできる。

【0023】

例示的なトランジスタには、エミッタ及びコレクタを有する絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT）と、ソース及びドレインを有する MOSFET とがある。IGBT では、図 6 にワイヤボンダ 42 として示された電氣的接続部は、IGBT のエミッタをそれぞれの逆並列ダイオード 38 のアノードに接続する。内部逆並列ダイオードを備えた MOSFET では、電氣的接続部は、MOSFET のソースを第 2 の導電層 24 に接続する。幾つかの設計においては、例えば、ショットキーダイオードのような外部の高性能ダイオードと共に MOSFET を使用することが望ましい。このような設計では、電氣的接続部は、MOSFET のソースをそれぞれの逆並列ダイオードのアノードに接続する。IGBT の利点には、これらの伝導損失特性が低いことがあげられ、一方、MOSFET は、より高速のスイッチング速度を特徴として備えている。1 つの特定の実施例によれば、パワーモジュール 10 は幾つかのトランジスタ 36 を含み、これらのトランジスタの少なくとも 1 つは MOSFET であり、該トランジスタの少なくとも別の 1 つは IGBT である。より一般的には、パワーモジュール 10 は、少なくとも 2 つの異なるタイプのトランジスタ 36 を含む。同様に、別の実施形態では、パワーモジュール 10 は、少なくとも 2 つ

10

20

30

40

50

のタイプのダイオード 38 を含む。例えば、パワーモジュール 10 は幾つかの逆並列ダイオードを含み、これらのダイオードの少なくとも 1 つがバイポーラダイオードであり、該ダイオードの少なくとも別の 1 つがショットキーダイオードである。

【 0 0 2 4 】

特定の実施形態によれば、スイッチ 34 は、少なくとも 2 つのトランジスタ 36 と少なくとも 2 つのダイオード 38 とを含む。図 6 の相脚の実施形態では、スイッチ 34 は、4 つのトランジスタ 36 と 4 つの逆並列ダイオード 38 とを含み、例えば 400 アンペアスイッチとして構成される。図 1 に関連して上記で検討したように、基板 12 の上部層 16 は導電性パターン 17 を含み、スイッチ 34 はパターン 17 上に配置される。スイッチ 34 は更に、パターン 17 上に形成されたゲート及び戻りリード線 63 を含む。図 6 にゲートワイヤボンダ 64 として示された電氣的接続部は、トランジスタ 36 の各々をゲートリード線 63 に対称的に接続し、この接続により、パワーデバイス 14 間の静的及び動的電流共有が更に改善される。

10

【 0 0 2 5 】

図 1 及び図 2 の実施形態では、層状相互接続部 18 は、バックプレーン 46 上に取り付けられたレセプタクル 44 に接続するように構成されたエッジカードコネクタ 18 である。例示的なレセプタクルを図 4 に示し、図 5 は、バックプレーン 46 上に取り付けられた 2 つのレセプタクル 44 を示している。レセプタクル 44 は、エッジカードコネクタ 18 と接触させる内部接触面 54 と、バックプレーン 46 と接触させる外部接触面 56 とを有する。これらの接触面は、平滑であっても又は傷付いたものであってよく、例示的な接触面は、銅又は金メッキ銅を使用して形成される。図 5 に示すように、バックプレーン 46 は、正の直流 DC バス層 48、出力層 50、及び負の DC バス層 52 を含む。好都合には、エッジカードコネクタ 18 及びレセプタクル 44 を利用することによって、相互接続インダクタンスは、従来のパワーモジュールに対して低減される。

20

【 0 0 2 6 】

1 つの特定の実施形態によれば、パワーデバイス 14 を保護するために、パワーモジュール 10 は基板 12 を収納するハウジング 32 を更に含む。図 7 は例示的なハウジング 32 を示す。

【 0 0 2 7 】

例示的な単一スイッチパワーモジュールをシミュレートすると、図 12 は、単一スイッチパワーモジュールの等価回路図である。例示的なパワーモジュールの寄生インダクタンスは以下のように計算される。

30

【 0 0 2 8 】

(数 1)

$$L_{I G B T} = L_{C O N N} + L_{S D} + L_{S Q}$$

及び、

【 0 0 2 9 】

(数 2)

$$L_{D i o d e} = L_{C O N N} + L_{S D}$$

【 0 0 3 0 】

本明細書で使用される、 $L_{I G B T}$ は、IGBT が導通している時のパッケージインダクタンスであり、 $L_{D i o d e}$ は、逆並列ダイオードが導通している時のパッケージインダクタンスである。 $L_{C O N N}$ は、IGBT と逆並列ダイオードとの間で共有される層状相互接続部のパッケージインダクタンスに対する寄与度である。 $L_{S Q}$ は、少なくとも 1 つのワイヤボンダ 42 と、IGBT ダイと逆並列ダイオードダイとの間の導電性パターン 17 の部分とに付随するパッケージインダクタンスに対する寄与度である。 $L_{S D}$ は、少なくとも 1 つのワイヤボンダ 42 と、ダイオードダイと層状相互接続部との間の導電性パターン 17 の部分とに付随するパッケージインダクタンスに対する寄与度である。この実施例では、以下のパラメータ値が使用された。モジュール上の導体幅は 51 mm に設定され、コネクタ上の導体幅は 86 mm に選定された。導電性パターン 17 上の導体間隔は 2

40

50

、5 mmが使用され、コネクタ上の2つの導電層16、28の間隔は0.635 mmが選定された。ヒートシンクの幅及び厚さは、それぞれ5.1 mmと5 mmに設定された。ワイヤボンドの直径は、0.508 mmが使用され、シミュレーションは、2つの周波数 f_s = 直流と1 MHzとで実施された。これは、単なる例証の目的としてシミュレーションを行うために使用される例示に過ぎず、これらの値は、どのようにも本発明を制限するものとして見做されるべきではない。この実施例では、シミュレーション結果には、スイッチモジュールの全インダクタンスが0.93 nHであり、ゲートインダクタンスは1 MHzにおいて9.2 nHであり、スイッチモジュールの静電容量が406.4 pFであり、ヒートシンクとコレクタプレート間の静電容量が207.5 pFであることが含まれていた。

10

【0031】

図4 - 図6に関してパワーモジュール組立体80を説明する。パワーモジュール組立体80は相脚構成に関して説明されるが、パワーモジュール組立体80は他の構成にも等しく適用可能であることは当業者であれば理解するであろう。例えば図5に示すように、パワーモジュール組立体80は、幾つかのパワーモジュール10を含む。上述のように、例示的なパワーモジュール10は、基板12、エッジカードコネクタ18、及び電気的接続部42、43を含む。パワーモジュール10用の例示的なパワーデバイス14は、上記で説明された。パワーモジュール組立体80は更に、エッジカードコネクタ18のそれぞれを受け入れるように構成された幾つかのレセプタクル44を含む。例示的なレセプタクルを図4に示す。特定の実施形態によれば、レセプタクル44は、少なくとも100アンペア(100 A)の電流定格を有し、より詳細には少なくとも400アンペア(400 A)の電流定格を有する。パワーモジュール組立体80は更に、例えば図5に示すように、正の直流DCバス層48、出力層50、及び負の直流DCバス層52を有するバックプレーン46を含む。レセプタクル44は、図5に示すようにバックプレーン46上に取り付けられる。

20

【0032】

図5及び図8の例示的な実施形態では、パワーモジュール組立体80は、2つのパワーモジュール10と2つのレセプタクル44とを含む。図5及び図8に示すように、パワーモジュール10は、これらのそれぞれのベースプレート30が互いに向い合うように配置される。有益なことには、この構成によって、低い寄生インダクタンスがもたらされる。或いは、寄生インダクタンスの制御があまり重要ではなく、実装上の制約が図5に示す構成を妨げる用途では、パワーモジュール10及びレセプタクル44は、バックプレーン46上に隣接構成で配置することができる。例えば図9は、単一スイッチパワーモジュール10が並んで配置されたフルブリッジ構成を示している。図9の構成では、単一スイッチパワーモジュール10は、1つのヒートシンク30を共有する。代替的に、単一スイッチパワーモジュール10の各々はまた、別個のヒートシンクを有しても良い。

30

【0033】

1つの特定の実施形態によれば、パワーモジュール組立体80は更に、それぞれのパワーモジュール10内に取り付けられたパワーデバイス14を冷却するための少なくとも1つのヒートシンク30を含む。ヒートシンク30は、図3に関して上記で説明された。更に特定の実施形態によれば、電気絶縁体26は熱導体である。

40

【0034】

特定の実施形態によれば、基板12は、銅直接接合(DBC)又は活性金属銅回路(AMB)法で形成される。図6の例示的な実施形態では、パワーモジュール組立体80は更に、基板12の導電性パターン17上に取り付けられた幾つかのパワーデバイス14を含む。例示的な電気的接続部は、ワイヤ又はリボンボンド42、及びパワーオーバレイ43を含む。図6の例示的な実施形態では、電気的接続部はワイヤボンド42の形態を取る。上述のように本発明の1つの利点は、電気的接続部が静的及び動的電流共有化に対して対称的とすることができることである。

【0035】

50

上述のように、パワーモジュール組立体の寄生インダクタンスを低減することが望ましい。図8に示す相脚の実施形態では、パワーモジュール組立体80は更に、少なくとも1つの低インダクタンスコンデンサ82を含む。例示的な低インダクタンスコンデンサ82は、多層セラミックコンデンサ及びフィルムコンデンサを含む。図示のように、1つの低インダクタンスコンデンサ82は、バックプレーン46の裏面84に取り付けられる。有益なことには、低インダクタンスコンデンサ82の使用は更に、直流バスリンクからの寄生インダクタンスに対する寄与度を低減させる。

【0036】

パワーモジュール組立体80の利点には、低寄生インダクタンス、モジュール構造、及び大電流に対する拡張性(scaleability)が含まれる。

【0037】

別の実施形態では、パワーモジュール組立体80は、スイッチトリラクタンスモータ(SRM)ドライブとして構成される。2相脚組立体SRMドライブパワー回路に関する図15の実施例で示すように、パワーモジュール組立体80は少なくとも4つのパワーモジュール10を含み、該パワーモジュールのうち少なくとも2つがスイッチモジュール10であり、少なくとも2つがダイオードモジュール10である。この例示的な4つのパワーモジュール10構成では、本SRMドライブは、SRMの1つの巻線を駆動するように構成されることになる。本SRMドライブは、少なくとも2つの相脚を有し、該相脚の各々は、スイッチモジュールの少なくとも1つとダイオードモジュールの少なくとも1つを含む。図示のように、スイッチモジュールは、少なくとも1つのトランジスタ、例えばIGBTを含み、ダイオードモジュールは少なくとも1つのダイオードを含む。パワーモジュール10は、2つのパワーモジュールの場合の図8に示すように、バックプレーン46に沿ってペアで配置される。しかしながら、図15に示すSRMの実施形態では、4つのパワーモジュール10が2つのペアを成して配置され、各ペアは、同じ相脚からのスイッチ及びダイオードモジュールから成る。図9は、図15のSRMの実施形態の1つの可能な物理的構成を示す。或いは、SRMドライブは、図10に示すように構成することができる。SRMの実施形態は、別の数の相脚を使用するSRMドライブパワー回路に一般化することができる。より一般的には、SRMはN個(Nは整数)の巻線を含み、その対応するSRMドライブは、巻線の各々を駆動するために2相脚として配置された4つのパワーモジュール10(2つのスイッチモジュール10、2つのダイオードモジュール10)を含む。例えば、3巻線SRMでは、SRMドライブは、6相脚として配置される12個のパワーモジュール(6つのスイッチモジュール及び6つのダイオードモジュール)を含み、3つのペアの相脚がそれぞれ3つの巻線を駆動する。3相SRMインバータは、図10に描かれている標準的な3相インバータと同様のものとなるが、スイッチモジュールとダイオードモジュールとから構成されるモジュールの交互のペアが追加されている点異なり、その結果、図15のトポロジーがSRMインバータの各位相について繰り返されるようになる。

【0038】

有利には、パワーモジュール10は、より一般的なパワーモジュール組立体80の具体的な実施形態であるモジュール式相脚組立体80を形成するように組み合わせることができる。モジュール式相脚組立体80は、図5-図8を参照しながら検討され、上述の2つのパワーモジュール10を含む。特定の実施形態に従い、並びに図6及び図7において例証として示されたように、パワーモジュール10は、該パワーモジュール10のうち1つに属するベースプレート30が、他のパワーモジュール10のベースプレート30と向い合うように一体的に積み重ねられる。有利には、図6及び図7に示すようにパワーモジュールを背中合わせに配置することによって、バックプレーンに起因する寄生インダクタンスが低減される。図9は、単一のスイッチモジュール10がフルブリッジを形成する、パワーモジュール10の別の配置を示している。図9の配置では、モジュール10は、単一のヒートシンク30を共有する。或いは、単一スイッチパワーモジュール10の各々はまた、別個のヒートシンクを有しても良い。

【 0 0 3 9 】

例示的なモジュール式相脚組立体をシミュレートすると、図 1 3 は例示的な相脚組立体に関する回路図である。相脚組立体の寄生インダクタンスは以下のように計算される。

【 0 0 4 0 】

(数 3)

$$L_{s w L +} = L_{c o n n} + L_{B u s} / 2 + L_{s D 1} + L_{s Q 1}$$

【 0 0 4 1 】

(数 4)

$$L_{d L +} = L_{c o n n} + L_{B u s} / 2 + L_{s D 2}$$

【 0 0 4 2 】

(数 5)

$$L_{s w L -} = L_{c o n n} + L_{B u s} / 2 + L_{s D 2} + L_{s Q 2}$$

【 0 0 4 3 】

(数 6)

$$L_{d L -} = L_{c o n n} + L_{B u s} / 2 + L_{s D 1}$$

【 0 0 4 4 】

本明細書で使用される、 $L_{s w L +}$ は出力端子と正極端子との間の上部スイッチ経路の寄生インダクタンス、 $L_{d L +}$ は出力端子と正極端子との間の上部ダイオード経路の寄生インダクタンス、 $L_{s w L -}$ は出力端子と負極端子との間の下部スイッチ経路の寄生インダクタンス、及び $L_{d L -}$ は出力端子と負極端子との間の下部ダイオード経路に対する寄生インダクタンスである。 $L_{B u s}$ はバックプレーンの寄生インダクタンス、 $L_{c o n n}$ は層状相互接続部の寄生インダクタンスである。 $L_{s Q 1}$ ($L_{s Q 2}$) は、スイッチ Q 1 ($Q 2$) ダイと逆並列ダイオード D 1 ($D 2$) ダイとの間のワイヤボン相互接続に付随するパッケージインダクタンスに対する寄与度である。 $L_{s D 1}$ ($L_{s D 2}$) は、少なくとも1つのワイヤボン4 2、及びダイオード D 1 ($D 2$) ダイと層状相互接続部との間の導電性パターン 1 7 の部分とに付随するパッケージインダクタンスに対する寄与度である。この実施例では、以下のパラメータ値が使用された。モジュール上の導体幅が 5 1 m m に設定され、コネクタ上の導体幅が 5 6 m m に選定された。導電性パターン 1 7 上の導体間隔は 2 . 5 m m が使用され、コネクタ上の2つの導電層の間隔は 0 . 6 3 5 m m が選定された。ヒートシンクの幅は 4 0 m m が使用された。このシミュレーションは、単なる例証の目的としてシミュレーションを行うために使用される例示に過ぎず、これらの値は、どのようにも本発明を制限するものとして見做されるべきではない。この実施例では、シミュレーションにより、低インダクタンス直流バスコンデンサの正極端子から負極端子までの全ループインダクタンスである相脚ループインダクタンスは、図 8 の背中合わせの構成に対して 2 . 7 8 n H である結果が得られた。比較すると、並べて配置された2つの同一のパワーモジュール 1 0 では、これらのパラメータ値に対して 3 6 . 6 6 n H のはるかに大きな寄生インダクタンスがもたらされた。このことは、図 5、図 6、図 7、及び図 8 において例証として示されたように、パワーモジュール 1 0 のうちの1つに属するベースプレート 3 0 が他のパワーモジュール 1 0 のベースプレート 3 0 と向い合うようにパワーモジュールを積み重ねることが重要であることを明確に示している。

【 0 0 4 5 】

図 5 及び図 8 に例証として示されるように、モジュール式相脚組立体 8 0 はまた、層状相互接続部 1 8 のそれぞれを受け入れるように構成された少なくとも2つのレセプタクル 4 4 とバックプレーン 4 6 とを含む。レセプタクル 4 4 は、バックプレーン 4 6 上に取り付けられる。少なくとも1つの低インピーダンスコンデンサ 8 2 は、バックプレーン 4 6 の裏面 8 4 上に取り付けられる。例示的な低インピーダンスコンデンサ 8 2 には、多層セラミックコンデンサ及びフィルムコンデンサがある。

【 0 0 4 6 】

図 1 4 は、3 レベル相脚組立体の等価回路図であり、該回路図は寄生素子を含まない。図示のように、パワーモジュール組立体 8 0 は、6 つのパワーモジュール 1 0 を含み、こ

10

20

30

40

50

のパワーモジュール10のうちの4つはスイッチモジュールであり、パワーモジュール10のうちの2つはダイオードモジュールである。この実施形態では、パワーモジュール10は3レベル相脚として配置されている。更なる特定の実施形態によれば、パワーモジュール組立体80は更に、バックプレーン46上に垂直に(図8に示すようにy方向に沿って)配置された6つのレセプタクル44を含み、パワーモジュール10はy方向に積み重ねられている。

【0047】

パワーモジュール10は、有利には、上記に説明した6つのパワーモジュール10を含むモジュール式3相インバータ組立体90を形成するよう組み合わせることができる。例示的なモジュール式3相インバータ組立体90を図10に示す。図10に示すように、パワーモジュール10は3つのペアで配置されており、ペアの各々が相脚91に対応する。相脚91は、図10で例示的にA、B、及びCでラベル付けされている。相脚ループのインダクタンスを低減するために、ペアを形成するパワーモジュール10は、図6、図7及び図10に例示的に示すように、パワーモジュール10のうちの1つに属するベースプレート30が他のパワーモジュール10のベースプレート30と向い合うように一体的に積み重ねられる。図10に示すように、モジュール式3相インバータ組立体90はまた、それぞれの層状相互接続部18を受け入れるように構成された少なくとも6つのレセプタクル44と、バックプレーン46とを含む。レセプタクル44は、バックプレーン46上に取り付けられる。

【0048】

図10に示す例示的な3相インバータ組立体90は、DCバスに接続された電界コンデンサ93を含むが、寄生インダクタンスに対するDCバスの寄与度を低減させるために、低インダクタンスコンデンサ82を用いることができる。図10には示されていないが、低インダクタンスコンデンサ82は、図8に関連して上記で検討された。特定の実施形態によれば、モジュール式3相インバータ組立体90は更に、多層セラミックコンデンサ又はフィルムコンデンサなどの少なくとも1つの低インダクタンスコンデンサ82を含む。低インダクタンスコンデンサは、図8に例証として示されるように、バックプレーン46の裏面84上に取り付けられる。

【0049】

本発明の特定の機能のみを本明細書において図示し説明してきたが、当業者であれば多くの修正及び変更が想起されるであろう。従って、添付の請求項は、本発明の真の精神に含まれるこうした全ての修正及び変更を保護するものである点を理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】ワイヤボンダを使用する本発明の単一のスイッチパワーモジュールの実施形態。

【図2】パワーオーバーレイを使用する本発明の別の単一のスイッチパワーモジュールの実施形態。

【図3】パワーモジュール用の例示的なヒートシンクを概略的に示す図1又は図2の単一のスイッチパワーモジュールの側面図。

【図4】2種類のエッジカードコネクタ及びレセプタクル構成。

【図5】バックプレーン上に取り付けられたそれぞれのレセプタクルに接続された2つの例示的なエッジカードコネクタを含む相脚組立体の断面図。

【図6】明瞭化のためにハウジングが取り除かれた、基板に取り付けられるパワーデバイスの数を明らかにした本発明の相脚の実施形態。

【図7】ハウジングが所定位置にある図6の相脚を示す図。

【図8】2つの単一のスイッチパワーモジュールと、バックプレーンの裏面に取り付けられた低インダクタンスコンデンサとを備える図5の相脚組立体の斜視図。

【図9】幾つかのパワーモジュールが1つのヒートシンクを共有する本発明のフルブリッジの実施形態。

【図10】図5に示す相脚の3つを使用して形成されたモジュール式3相パワーインバー

10

20

30

40

50

タ組立体。

【図 1 1】従来のパワーモジュール。

【図 1 2】例示的なパワーモジュールと望ましくない寄生インダクタンスの位置示す等価回路図。

【図 1 3】例示的な相脚組立体と望ましくない寄生インダクタンスの位置示す等価回路図。

。

【図 1 4】寄生素子を除外した 3 レベル相脚組立体の等価回路図。

【図 1 5】本発明のスイッチトリラクタンスモータ (S R M) の実施形態の等価回路図。

【符号の説明】

【 0 0 5 1 】

1 0	パワーモジュール	10
1 2	基板	
1 4	パワーデバイス	
1 6	上部層	
1 7	導電性パターン	
1 8	層状相互接続部	
1 9	パワーデバイスの表側	
2 0	第 1 の導電層	
2 2	絶縁層	
2 4	第 2 の導電層	20
2 6	電気絶縁体	
2 8	熱結合層	
3 0	ベースプレート	
3 2	ハウジング	
3 4	スイッチ	
3 6	トランジスタ	
3 8	逆並列ダイオード	
4 2	電氣的接続部	
4 3	パワーオーバレイ	
4 4	レセプタクル	30
4 6	バックプレーン	
4 8	正の直流 (D C) バス層	
5 0	出力層	
5 2	負の D C バス層	
8 0	パワーモジュール組立体	
8 2	低インダクタンスコンデンサ	
8 4	バックプレーンの裏面	
9 0	モジュール式 3 相インバータ組立体	
D C	直流	
S R M	スイッチトリラクタンスモータ	40

【図1】

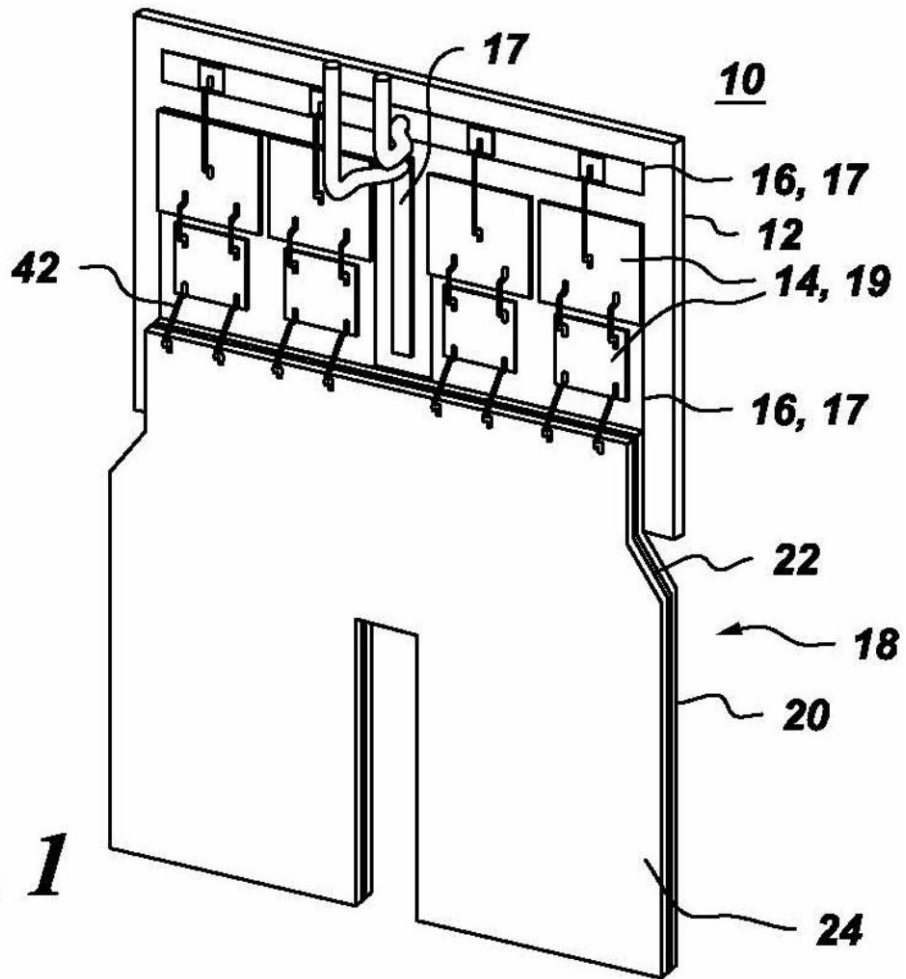


Fig. 1

【 図 2 】

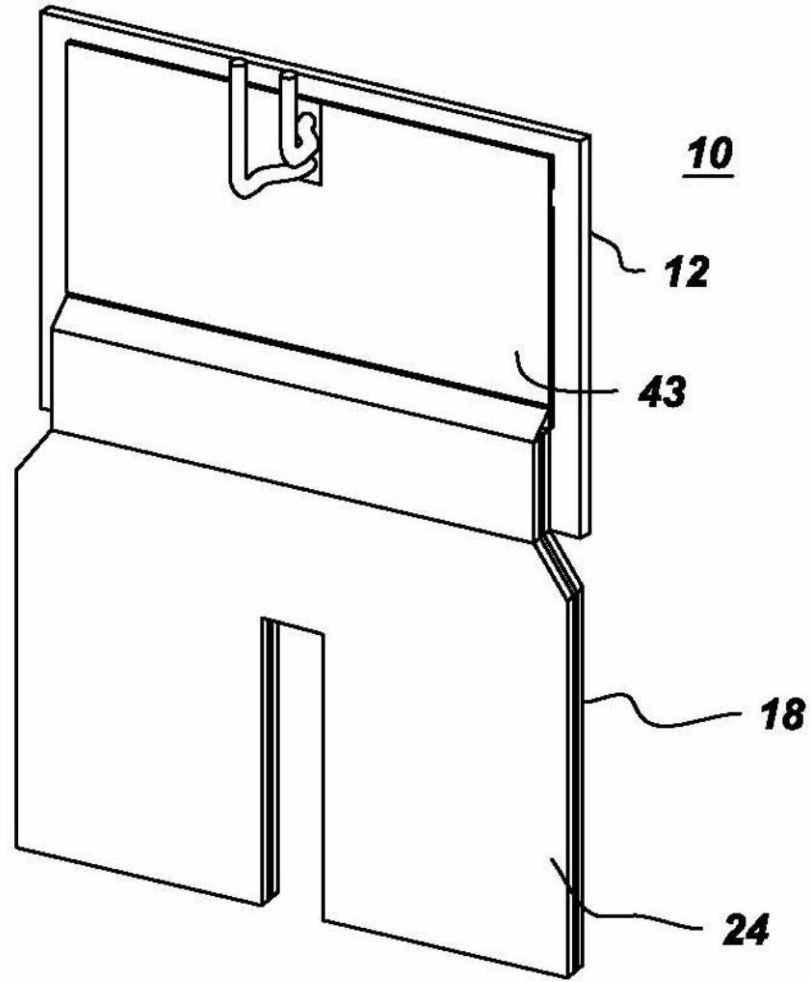


Fig. 2

【 図 3 】

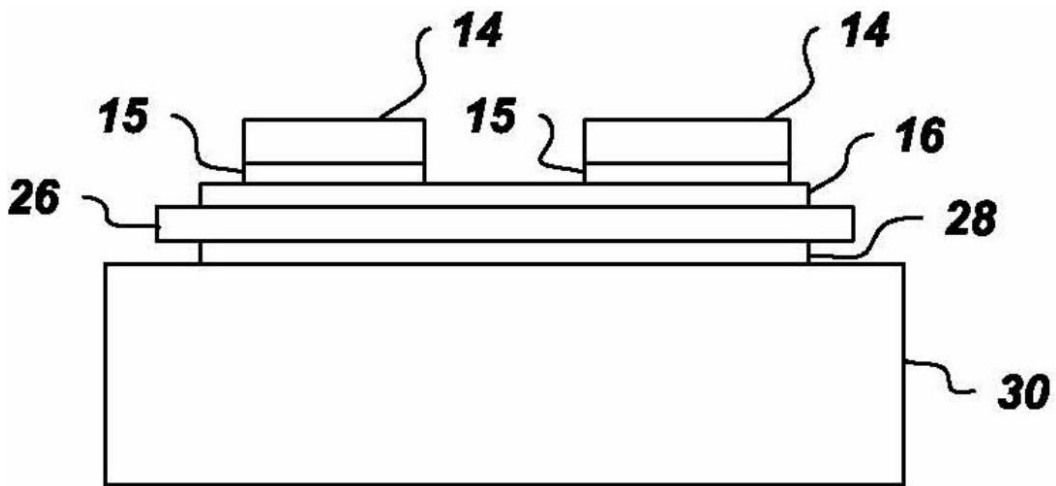


Fig. 3

【 図 4 】

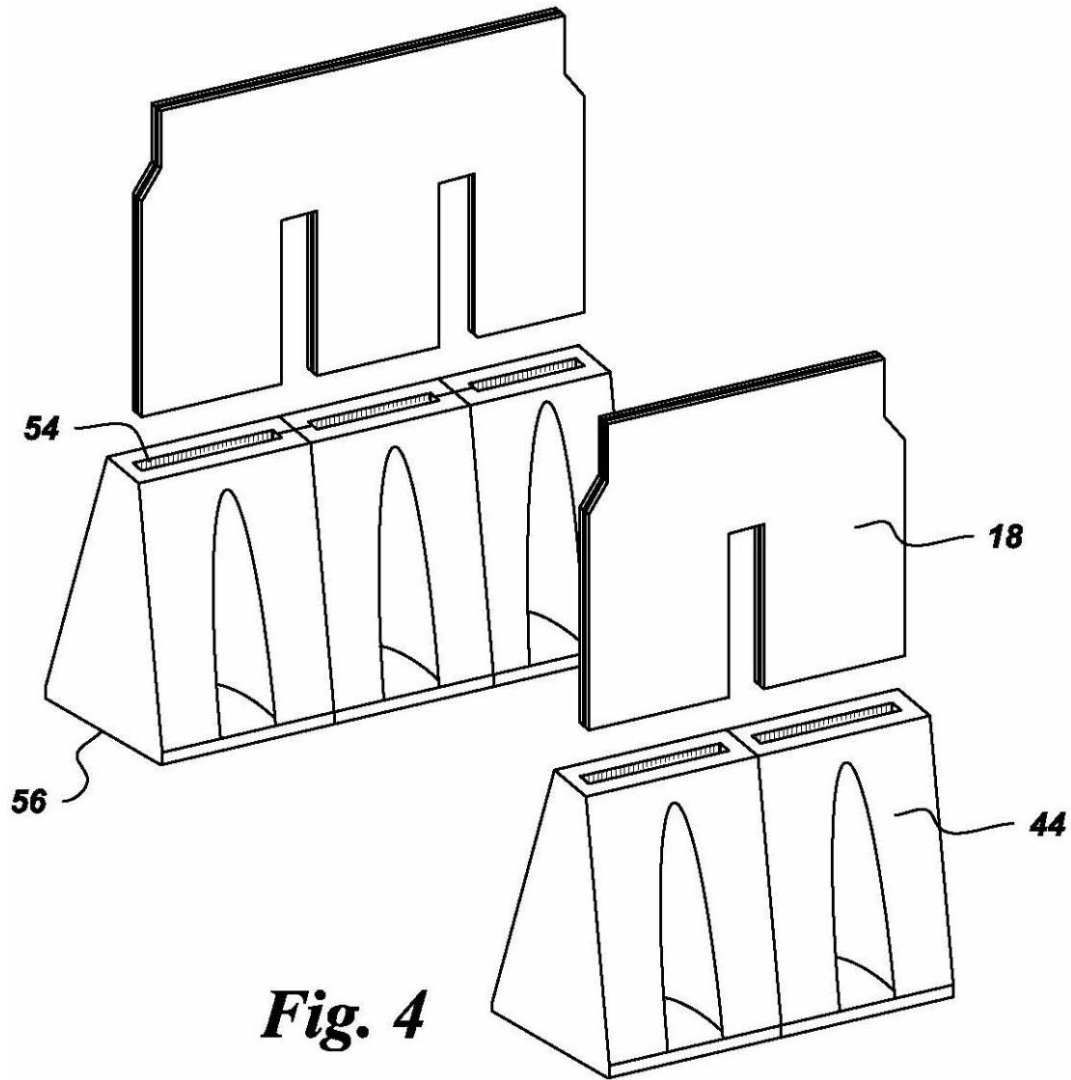


Fig. 4

【 図 5 】

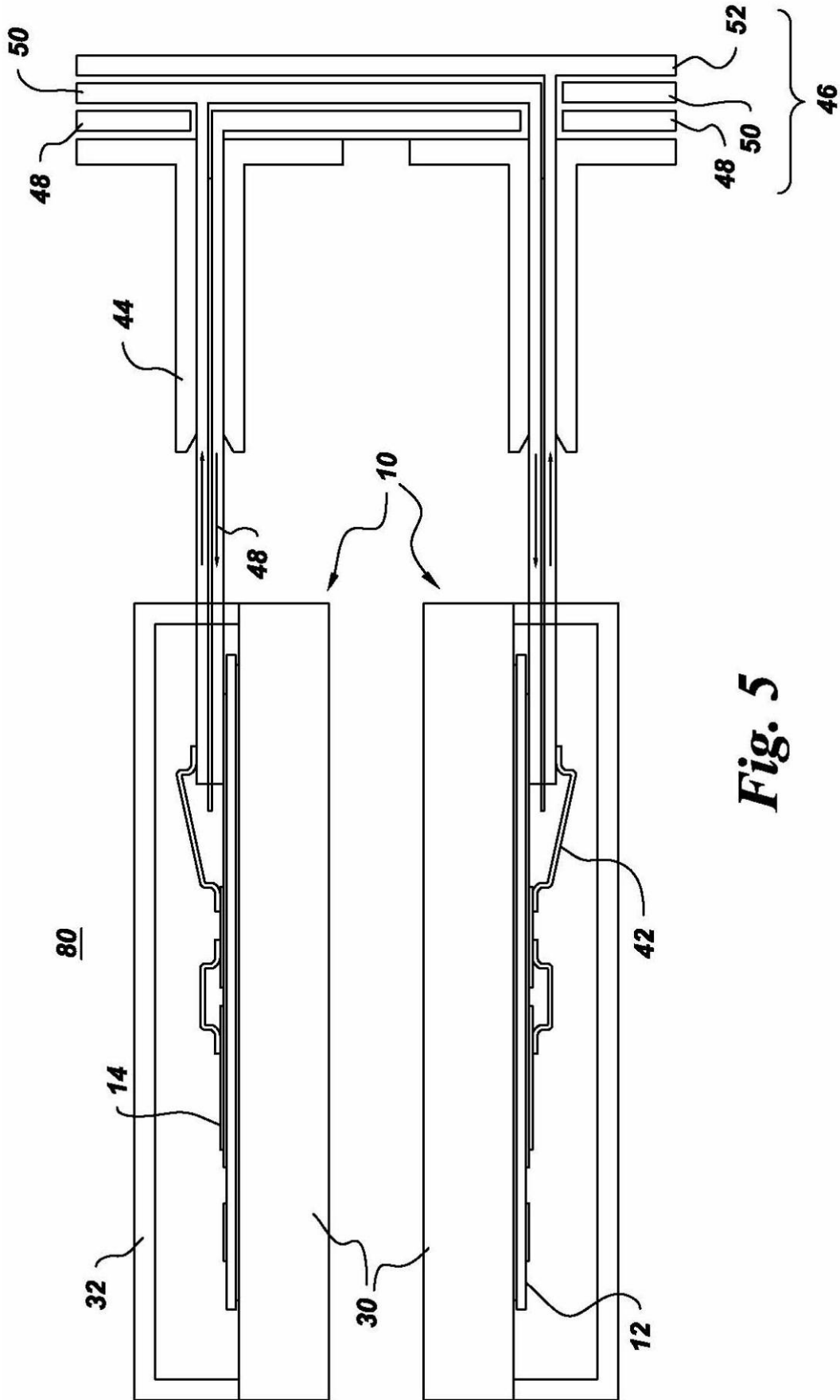


Fig. 5

【 図 6 】

80

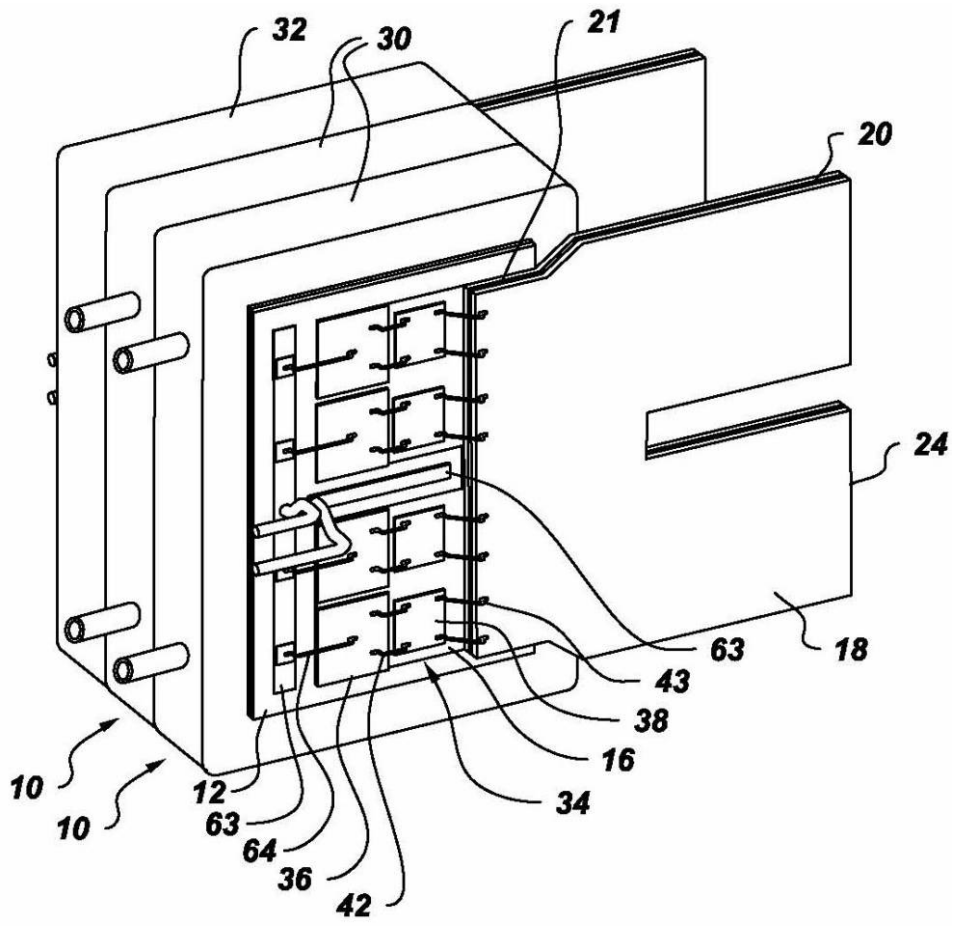


Fig. 6

【 図 7 】

80

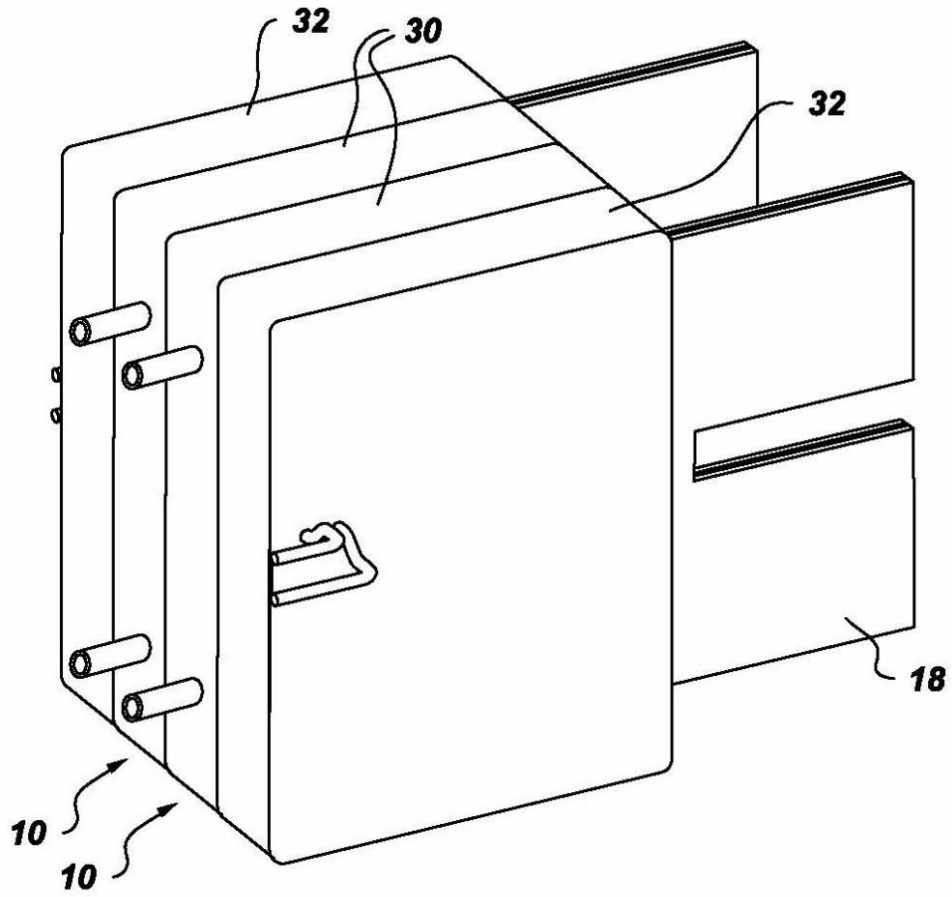


Fig. 7

【 図 8 】

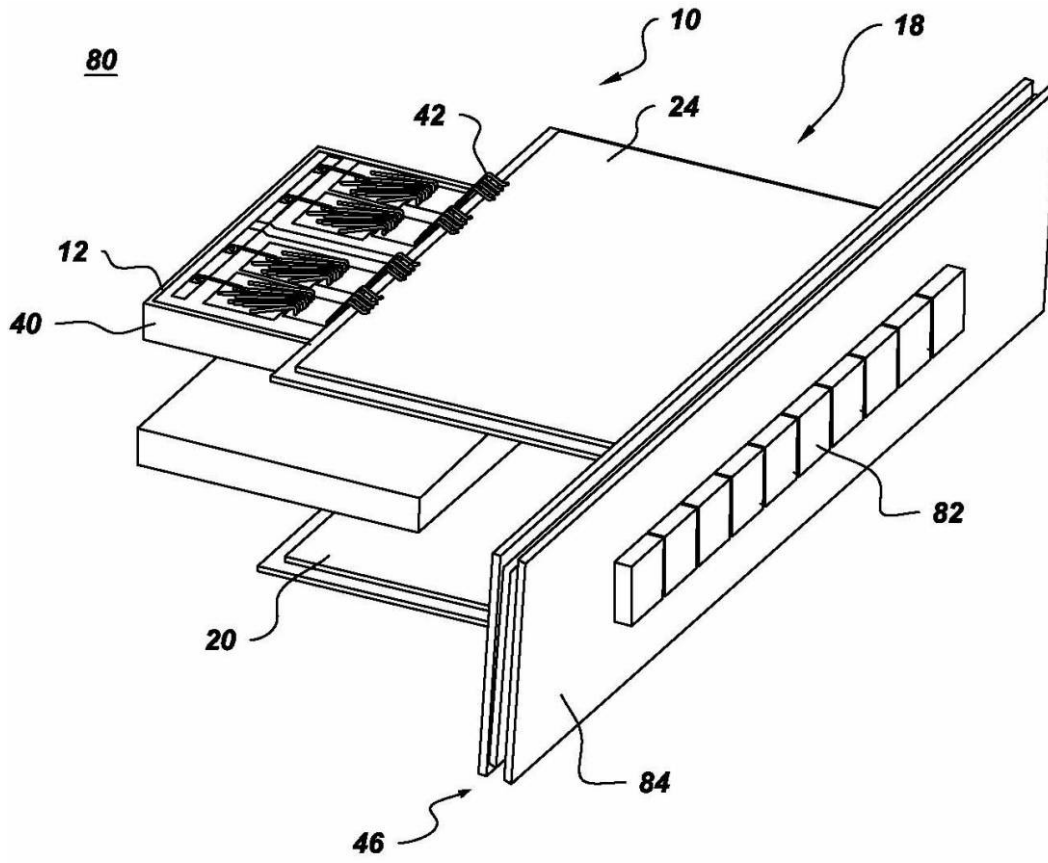


Fig. 8

【 図 9 】

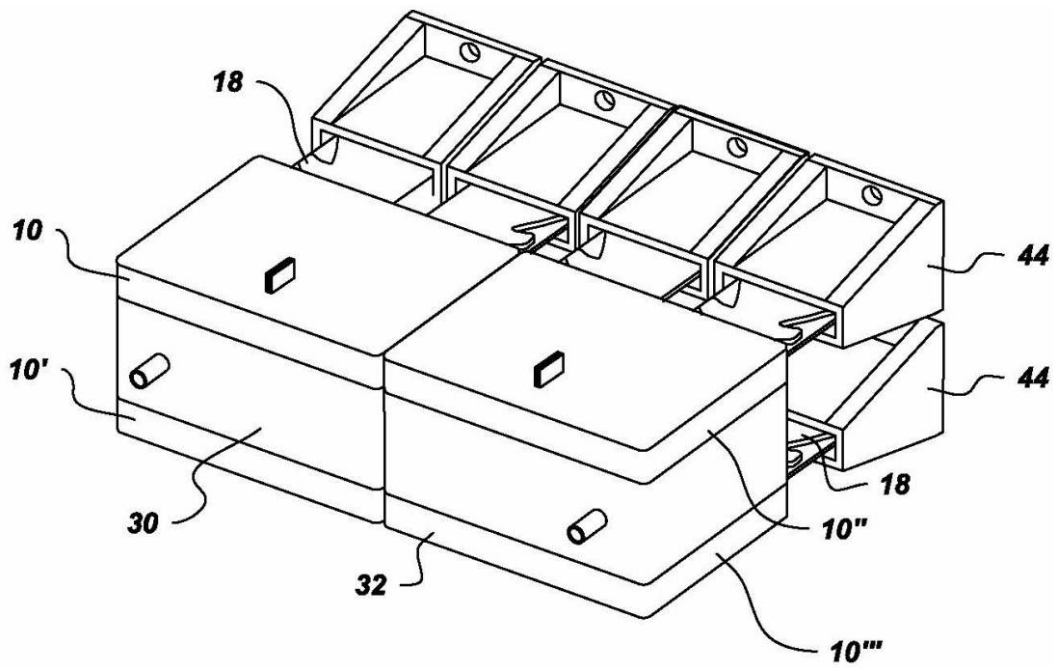


Fig. 9

【図10】

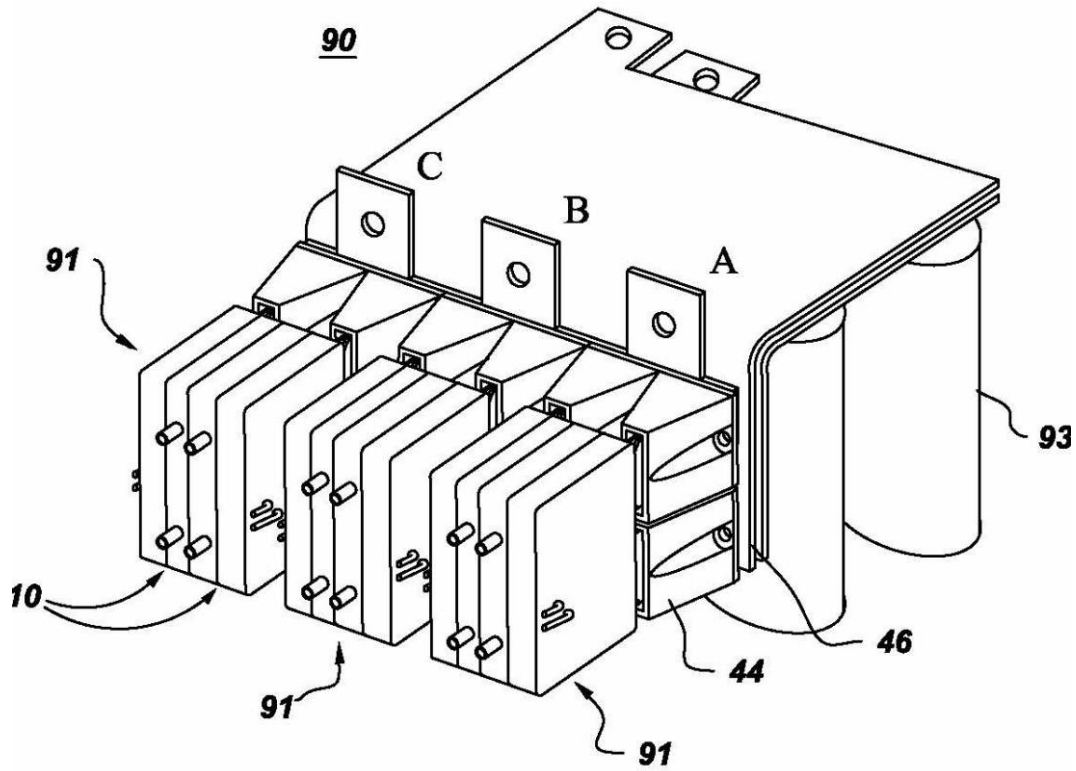


Fig. 10

【図11】

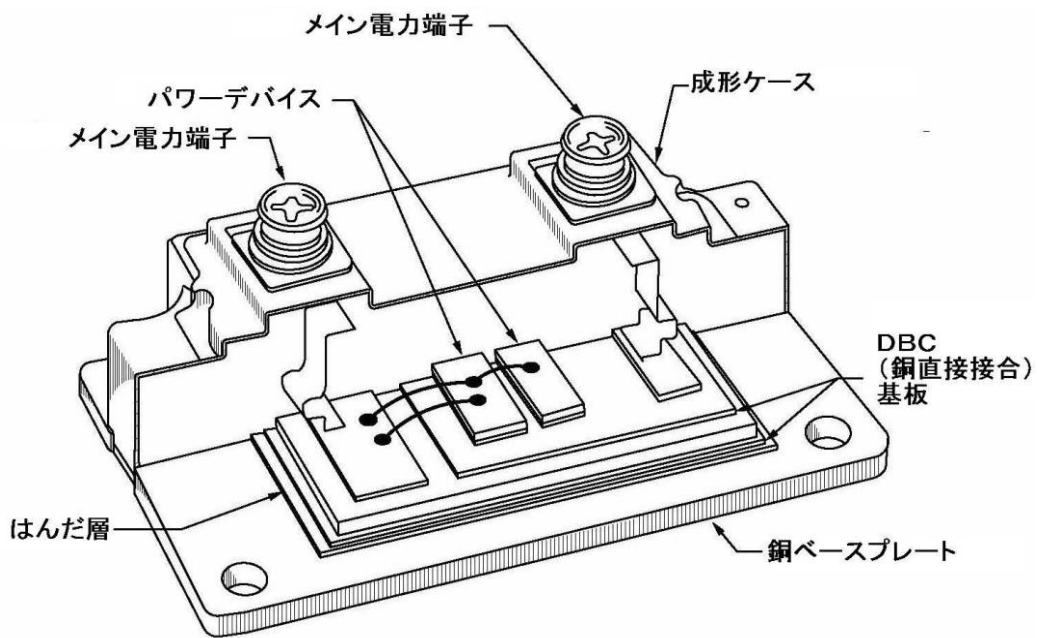


Fig. 11 従来技術

【圖 12】

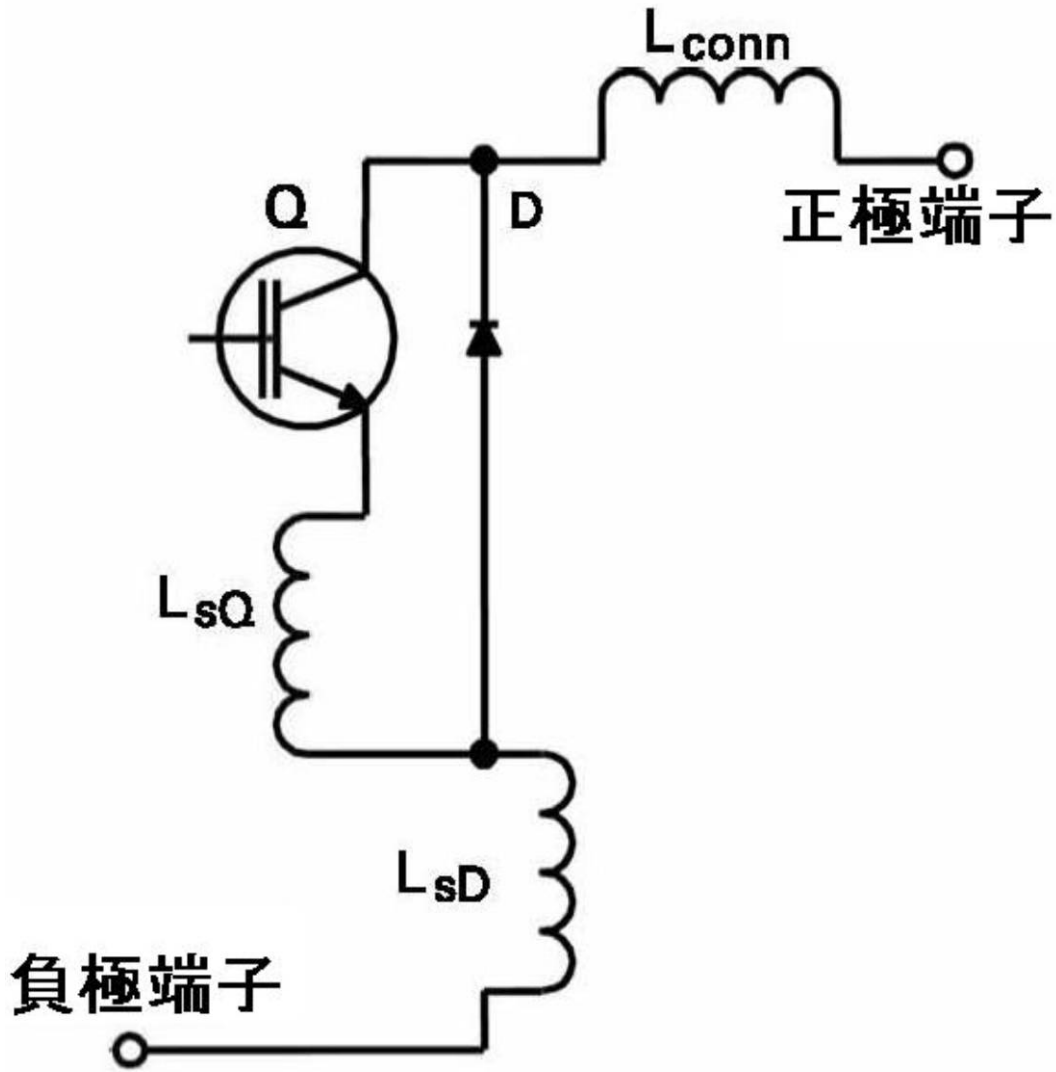


Fig. 12

【図13】

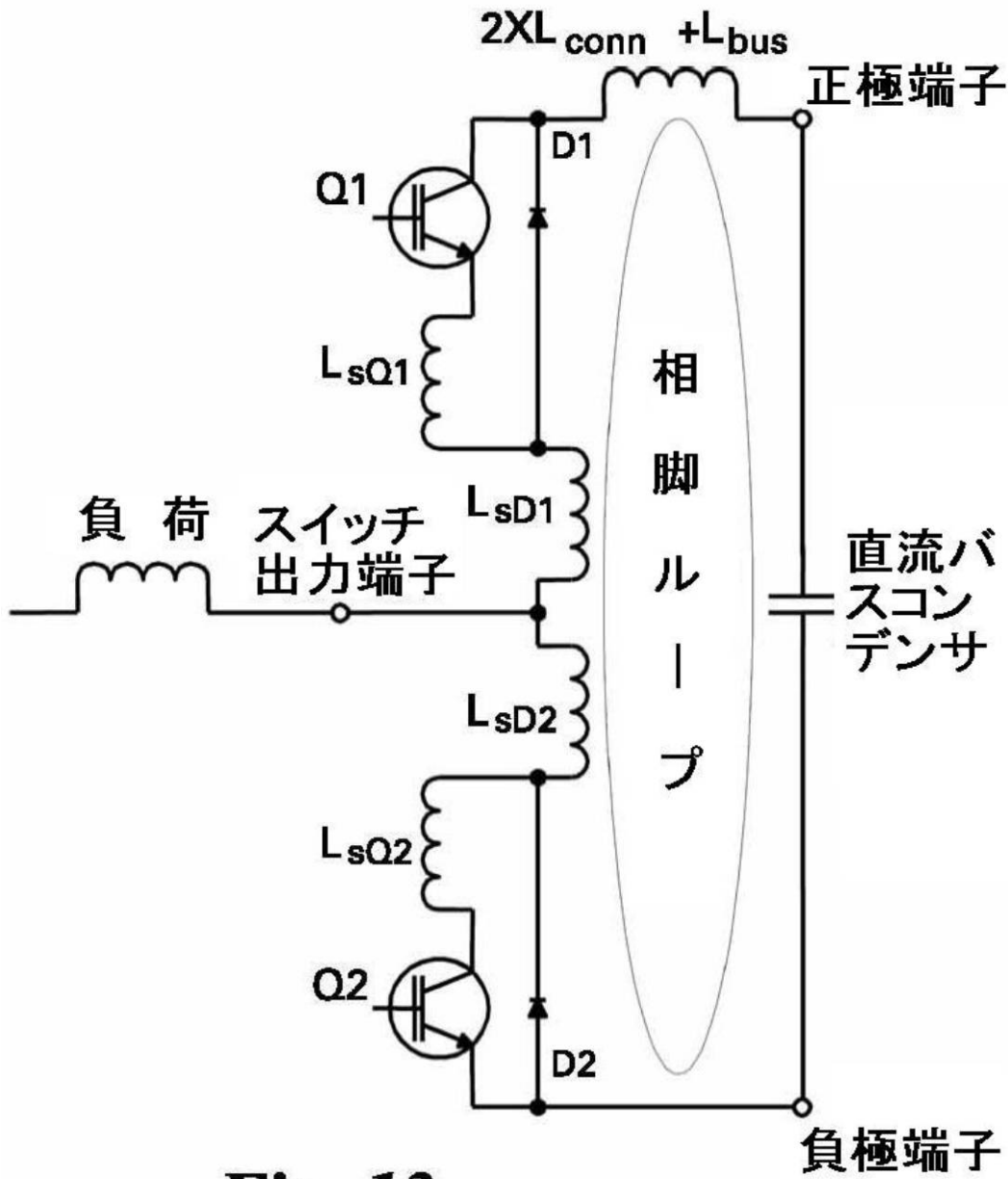


Fig. 13

【図14】

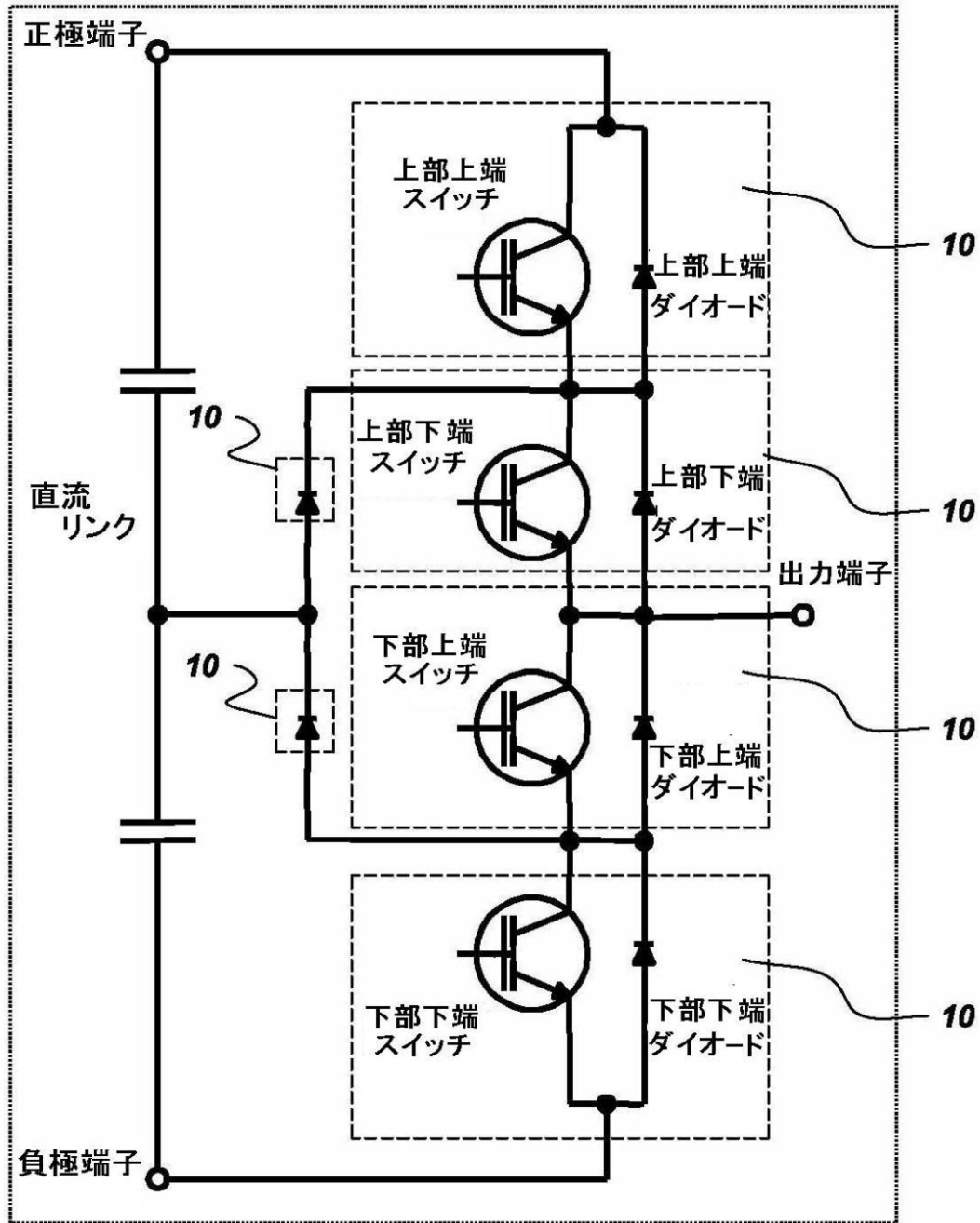


Fig. 14

【図15】

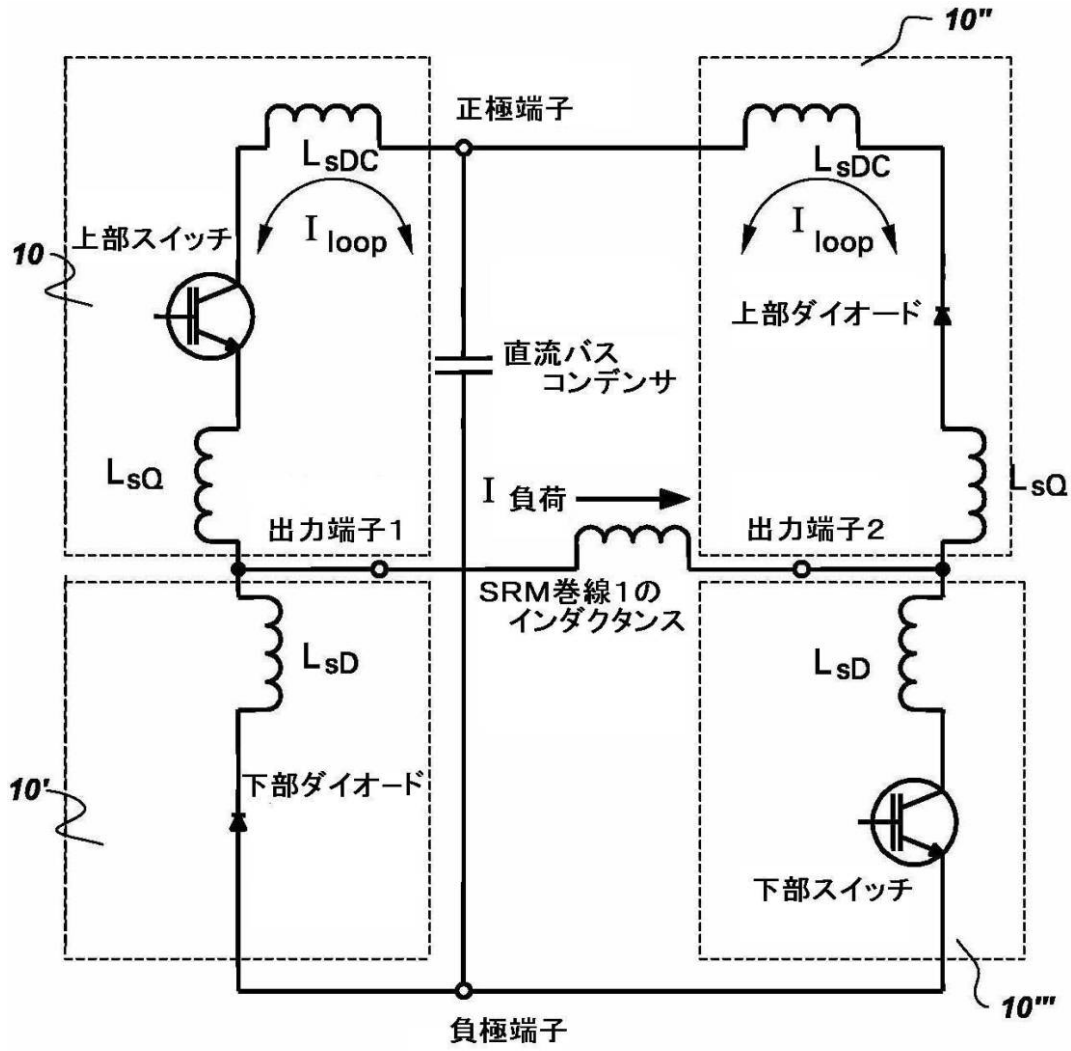


Fig. 15

フロントページの続き

- (72)発明者 エラディオ・クレメンテ・デルガド
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、バートン・ヒルズ、ローズランド・ブルヴァード、2番
- (72)発明者 マイケル・ジョセフ・シュッテン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ロツテルダム、インナー・ドライブ、1016番
- (72)発明者 リチャード・アルフレッド・ポーブル
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ピッツフィールド、コネチカット・アベニュー、151番
- (72)発明者 マイケル・アンドリュウ・デュ・ローヤ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、イースタン・パークウェイ、1814番

審査官 関根 崇

- (56)参考文献 特開2002-373971(JP,A)
特開2002-184941(JP,A)
特開平09-219492(JP,A)
特開2003-060157(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 25/07
H01L 25/18