

(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2012-50176

(P2012-50176A)

(43) 公開日 平成24年3月8日(2012.3.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO2M 7/48 (2007.01)</b>	HO2M 7/48 Z	5H007
<b>HO1L 29/861 (2006.01)</b>	HO1L 29/91 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2010-187364 (P2010-187364)  
 (22) 出願日 平成22年8月24日 (2010.8.24)

(71) 出願人 000005234  
 富士電機株式会社  
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号  
 (74) 代理人 100092152  
 弁理士 服部 毅巖  
 (72) 発明者 田久保 拡  
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号  
 富士電機ホールディングス株式会社内  
 Fターム(参考) 5H007 AA06 BB06 CA01 CB05 CC23  
 HA03 HA04

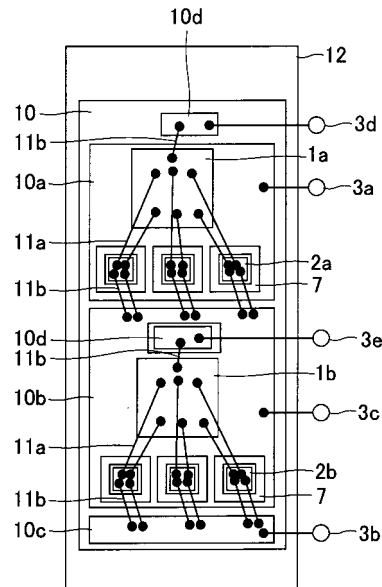
(54) 【発明の名称】 電力変換装置のパワーモジュール

(57) 【要約】

【課題】半導体スイッチング素子に逆並列に接続される炭化ケイ素のFWDが逆回復動作をするときに共振が抑制されて電磁ノイズの発生を防止できるようにする。

【解決手段】回路パターン10a, 10b上で、半導体スイッチング素子であるIGBT1a, 1bと炭化ケイ素で構成されたワイドバンドギャップデバイスであるFWD2a, 2bとが逆並列に接続されている。FWD2a, 2bの外周部には、これを取り囲むようにして磁性体のフェライトリング7が接着されている。これにより、等価回路的には、FWD2a, 2bにフェライトリング7のインピーダンス成分である抵抗分が直列に接続された形になる。この抵抗分は、FWD2a, 2bの逆回復動作のときに生じる共振現象を抑制し、電磁ノイズの発生を防止することができる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

自己消弧形半導体スイッチング素子と、炭化ケイ素から成るワイドバンドギャップのダイオードとを逆並列に接続した並列回路を少なくとも 1 組内蔵するパワーモジュールであって、

前記ダイオードのチップの外周部に前記ダイオードのチップを取り囲むように磁性体リングを形成して、等価回路的に前記ダイオードに直列に抵抗分が接続されていることを特徴とする電力変換装置のパワーモジュール。

## 【請求項 2】

前記ダイオードのチップが複数個並列に接続され、それぞれの前記ダイオードのチップにこれを取り囲むように前記磁性体リングが形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の電力変換装置のパワーモジュール。

10

## 【請求項 3】

前記抵抗分は、前記ダイオードの接合容量を  $C$ 、モジュールの内部配線インダクタンスおよびモジュール外部に配される電源コンデンサまたはスナバコンデンサまでの配線インダクタンスの合算値を  $L$  とすると、

$$R^2 \leq 4L/C$$

なる関係が成り立つような抵抗分  $R$  の値を有していることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の電力変換装置のパワーモジュール。

## 【請求項 4】

自己消弧形半導体スイッチング素子と、炭化ケイ素から成るワイドバンドギャップのダイオードとを逆並列に接続した並列回路を少なくとも 1 組内蔵するパワーモジュールであって、

前記ダイオードと直列に抵抗デバイスを接続したことを特徴とする電力変換装置のパワーモジュール。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) や MOS-FET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) などのパワー半導体スイッチング素子と、炭化ケイ素からなるワイドバンドギャップ半導体素材を適用したダイオードとを逆並列に接続した並列回路を内蔵する電力変換装置のパワーモジュールに関する。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

電動機駆動用インバータなどの電力変換装置では、IGBT、MOS-FET などの自己消弧形半導体スイッチング素子をスイッチングさせることにより負荷であるモータに制御された電力を供給することが一般に行われている。

## 【0003】

図 6 はスイッチング素子に IGBT を使用した電動機駆動用インバータの回路構成例を示す図である。

40

電動機駆動用インバータは、IGBT 1a, 1b と還流用のダイオードである FWD (フリー・ホイリング・ダイオード) 2a, 2b とが逆並列に接続され、これらを上下に直列に接続したアーム 3 を有している。このアーム 3 には、主回路の主端子 3a, 3b, 3c と補助端子 3d, 3e とを有している。この電動機駆動用インバータは、このようなアーム 3 を 3 個並列に接続して三相電力変換装置を構成している。電動機駆動用インバータは、その入力に直流電源 4 が接続され、出力には、負荷である電動機 5 が接続され、さらにアーム 3 と並列に低インピーダンスのスナバコンデンサ 6 が接続されている。スナバコンデンサ 6 は、スイッチング素子がスイッチングする際に発生するスパイク電圧を抑制するためのものである。

## 【0004】

50

以上の構成の電動機駆動用インバータは、各アームの上下のスイッチング素子を交互にオン、オフさせることにより、電動機 5 に任意の電圧、周波数の電力を供給するように構成されている。また、スイッチング素子をオン、オフするタイミングは、正弦波など出力の指令（電圧指令）と三角波などの搬送波との大小比較により生成される。

#### 【0005】

一方、上述のようなパワー半導体チップは、装置への実装、および半導体チップの放熱処理を容易にする目的により、樹脂などにより形成された、いわゆるモジュール・パッケージとして構成されて提供されることが一般的である。図 6 においては、IGBT 1 a, 1 b および FWD 2 a, 2 b を含む波線で囲ったアーム 3 の部分がパワーモジュールとして形成され、したがって三相電力変換装置では、3 個のこのようなパワーモジュールを組み合わせて構成していることになる。

10

#### 【0006】

図 7 はパワーモジュールの外観を示す図、図 8 はパワーモジュールの内部構成を示す断面図、図 9 はパワーモジュールの内部構成を示す平面図である。

パワーモジュールは、その外観例を図 7 に示したように、主回路配線用の主端子 3 a, 3 b, 3 c および IGBT 1 a, 1 b をオン、オフさせるための制御信号を入力する補助端子 3 d が設けられ、樹脂によってモールドされている。

#### 【0007】

パワーモジュールの内部は、図 8 および図 9 に示したように、IGBT 1 a, 1 b および FWD 2 a, 2 b が薄いセラミックやエポキシ樹脂により形成された絶縁基板 1 0 に搭載されている。すなわち、絶縁基板 1 0 は、その上に回路パターン 1 0 a, 1 0 b, 1 0 c, 1 0 d が作成され、回路パターン 1 0 a, 1 0 b の上に IGBT 1 a, 1 b および 3 個の FWD 2 a, 2 b がはんだなどによりろう付けされている。また、IGBT 1 a, 1 b のエミッタ電極および FWD 2 a, 2 b のアノード電極の間は、アルミニウムや金製のワイヤ 1 1 a に接続され、これらと回路パターン 1 0 a, 1 0 b, 1 0 c, 1 0 d との間は、ワイヤ 1 1 b により接続されている。なお、パワーモジュールの主端子 3 a は、回路パターン 1 0 a に接続され、主端子 3 b は、回路パターン 1 0 c に接続され、主端子 3 c は、回路パターン 1 0 b に接続され、補助端子 3 d, 3 e は、回路パターン 1 0 d に接続されている。

20

#### 【0008】

また、絶縁基板 1 0 は、銅板 1 2 上にろう付けされ、樹脂封止されて、1 つのパワーモジュールが形成されている。このパワーモジュールは、銅板 1 2 を冷却体 1 3 に密着させて使用される。これにより、IGBT 1 a, 1 b および FWD 2 a, 2 b が通電することに伴う発熱は、絶縁基板 1 0 を介して銅板 1 2 へ伝達され、更に銅板 1 2 に取り付けられた冷却体 1 3 へ伝達されて放熱される。

30

#### 【0009】

上述のように電力変換装置のパワーモジュールでは、近年シリコン製パワー半導体デバイスに代わり、炭化ケイ素、いわゆるワイドバンドギャップデバイスの開発が進み、炭化ケイ素ダイオードの実用化が進んでいる。特に、ワイドバンドギャップデバイスは、シリコンデバイスよりも破壊電界強度が高いため、半導体チップを薄くすることが可能であり、そのため通電時のオン電圧を低くできるという特徴を有する。そのため、ワイドバンドギャップデバイスを使用することにより、装置の損失が低減し、高効率化を図ったり、半導体チップ自体の小形化を図ったりすることが可能である。

40

#### 【0010】

一方、スイッチングに関しても、ワイドバンドギャップデバイスではユニポーラ形デバイスでも必要な電圧定格を満足できることから高速なスイッチングが可能であり、シリコン製デバイスよりもスイッチング特性が向上できる。

#### 【0011】

しかし、パワー半導体デバイスは高圧大電流の直流電源をスイッチングするため、スイッチングする際に発生する電磁ノイズが大きいという問題点がある。さらに、従来のシリ

50

コンデバイスよりも高速スイッチングが可能なワイドバンドギャップデバイスでは、より電磁ノイズの増大が顕著となり、電力変換装置の近傍に設置された他機器が誤動作し、ラジオなどに雑音が入るなどの悪影響を及ぼす可能性が高くなる。

【0012】

図10はパワーモジュールのスイッチング動作時における電氣的な等価回路であり、図11はFWDの逆回復時における波形を示す図である。なお、図11において、IDは、FWDの電流変化、VDは、FWDの電圧変化を示している。

【0013】

パワーモジュールのスイッチング動作時における電氣的な等価回路は、スナバコンデンサ6、配線上に存在する寄生インダクタンス分L、およびIGBT1a, 1bおよびFWD2a, 2bの接合部容量CからなるLC直列共振回路により表すことができる。特に、FWD2a, 2bをワイドバンドギャップデバイスにより構成した場合、高速な逆回復動作によりこのLC直列共振回路に共振が発生し、高周波の共振電流が流れ、この電流により発生する磁界がノイズの原因となる。

10

【0014】

ワイドバンドギャップデバイスにより構成した炭化ケイ素のFWD2a, 2bは、図11に示したように、逆回復動作のタイミングで非常に高い電圧変化率(dV/dt)が生じ、これがトリガとなって数十MHzという非常に高い周波数の共振を引き起こしている。

【0015】

これに対し、炭化ケイ素を材料とするダイオードを含むLCR回路の共振を抑制する方法が提案されている(たとえば、特許文献1参照)。この特許文献1によれば、炭化ケイ素ダイオードに並列に抵抗を接続している。これにより、外部配線によって形成されるLCR回路の抵抗成分の変化を抑えたことで、共振の発生を抑えている。

20

【0016】

また、スイッチング素子にIGBTおよびFWDにバンドギャップの大きなデバイスを用いた電力変換装置においてノイズを低減する別の方法も提案されている(たとえば、特許文献2参照)。この特許文献2によれば、炭化ケイ素ダイオードに並列にシリコンPINダイオードを接続し、逆回復の際の閉回路のインピーダンス(R, L, C)に関して、 $R^2 > 4L/C$ を満たすようにして、共振の発生を抑えている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0017】

【特許文献1】特開2003-7832号公報

【特許文献2】特開2009-159184号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

しかしながら、炭化ケイ素ダイオードに並列に抵抗を接続する構成では、インバータの回路を組んだ際に、直流電源間に抵抗を接続することになってしまい、電力変換効率が低下するという問題点があった。また、炭化ケイ素ダイオードに並列にシリコンPINダイオードを接続する構成では、これらのダイオードの組み合わせのみで、 $R^2 > 4L/C$ なる条件を満たすように調整することが困難であるという問題点があった。

40

【0019】

本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、炭化ケイ素のFWDが逆回復動作をするとき、電力変換効率が低下することがなく、インバータを構成したときに非共振条件を満たすように調整可能な電力変換装置のパワーモジュールを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0020】

50

本発明では上記の課題を解決するために、自己消弧形半導体スイッチング素子と、炭化ケイ素から成るワイドバンドギャップのダイオードとを逆並列に接続した並列回路を少なくとも1組内蔵するパワーモジュールであって、前記ダイオードのチップの外周部に前記ダイオードのチップを取り囲むように磁性体リングを形成して、等価回路的に前記ダイオードに直列に抵抗分が接続されていることを特徴とする電力変換装置のパワーモジュールが提供される。

【0021】

このような電力変換装置のパワーモジュールによれば、炭化ケイ素から成るダイオードのチップを磁性体リングで囲うように構成した。これにより、共振を抑制する抵抗分が共振回路に挿入されるので、ダイオードが逆回復動作をするときに生じる急峻な電流・電圧変化に伴う回路の共振現象が抑制される。

10

【発明の効果】

【0022】

上記構成の電力変換装置のパワーモジュールは、炭化ケイ素のダイオードのチップを磁性体リングで囲うことで、磁性体リングのインピーダンス成分である抵抗分が共振回路に挿入されるため、共振回路の共振を容易に抑制できるという利点がある。また、その抵抗分は、等価回路的には、ダイオードに直列に挿入されるため、直流電源間に抵抗分が常に接続されていることがないので、電力変換効率の低下がなく、非共振条件を満たすように抵抗分の調整が可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】第1の実施の形態に係るパワーモジュールの内部構成を示す平面図である。

【図2】フェライトリングの周波数特性を示す図である。

【図3】パワーモジュールのスイッチング動作時における電氣的な等価回路図である。

【図4】FWDの逆回復時における波形を示す図である。

【図5】第2の実施の形態に係るパワーモジュールの内部構成を示す平面図である。

【図6】スイッチング素子にIGBTを使用した電動機駆動用インバータの回路構成例を示す図である。

【図7】パワーモジュールの外観を示す図である。

【図8】パワーモジュールの内部構成を示す断面図である。

30

【図9】パワーモジュールの内部構成を示す平面図である。

【図10】パワーモジュールのスイッチング動作時における電氣的な等価回路である。

【図11】FWDの逆回復時における波形を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明の実施の形態について、スイッチング素子にIGBTを使用し、FWDに炭化ケイ素デバイスで構成したダイオードを使用したパワーモジュールを電動機駆動用インバータに適用した場合を例に図面を参照して詳細に説明する。

【0025】

図1は第1の実施の形態に係るパワーモジュールの内部構成を示す平面図、図2はフェライトリングの周波数特性を示す図、図3はパワーモジュールのスイッチング動作時における電氣的な等価回路図、図4はFWDの逆回復時における波形を示す図である。なお、図1および図2において、上記の図9および図10に示した構成要素と同じまたは均等の構成要素については同じ符号を付してその詳細な説明は省略する。また、図4において、IDは、FWDの電流変化、VDは、FWDの電圧変化を示している。

40

【0026】

第1の実施の形態に係るパワーモジュールにおいて、絶縁基板10は、その下面に銅板12がろう付けされ、上面には、回路パターン10a, 10b, 10c, 10dが形成されている。回路パターン10aの上には、IGBT1aおよび3個のFWD2aが搭載されてろう付けされ、回路パターン10bの上には、IGBT1bおよび3個のFWD2b

50

が搭載されてろう付けされている。ここで、IGBT 1 a , 1 b は、主スイッチングデバイスであり、FWD 2 a , 2 b は、炭化ケイ素で構成されたワイドバンドギャップデバイスである。

【0027】

なお、ワイドバンドギャップデバイスは、大口径ウェハが製作困難であったり、ウェハの品質が安定しなかつたりすることで、半導体チップの大きさは、シリコン製デバイスに比べて小さくなる。このため、ワイドバンドギャップデバイスでは、大容量化を図るのに小さいサイズの半導体チップを複数個並列に接続して使用することが一般的に行われており、ここでも、FWD 2 a , 2 b は、それぞれ3個並列に接続して使用している。

【0028】

また、回路パターン10 aの上には、それぞれのFWD 2 aの外周部を取り囲むようにして磁性体のフェライトリング7が接着され、回路パターン10 bの上においても、それぞれのFWD 2 bの外周部を取り囲むようにフェライトリング7が接着されている。

【0029】

IGBT 1 a , 1 bの上面のエミッタ電極およびFWD 2 a , 2 bの上面のアノード電極は、ワイヤ11 aによって接続され、IGBT 1 a , 1 bおよびFWD 2 a , 2 bは、逆並列に接続されている。IGBT 1 a , 1 bのエミッタ電極は、ワイヤ11 bによって回路パターン10 dに接続され、回路パターン10 dは、補助端子3 d , 3 eに接続されている。FWD 2 aのアノード電極は、ワイヤ11 bによって回路パターン10 bに接続され、FWD 2 bのアノード電極は、ワイヤ11 bによって回路パターン10 cに接続されている。そして、回路パターン10 aは、主端子3 aに接続され、回路パターン10 bは、主端子3 cに接続され、回路パターン10 cは、主端子3 bに接続されている。

【0030】

フェライトリング7は、その抵抗およびインダクタンスに関して一般的に、図2に示したような周波数特性を有している。フェライトリング7は、低周波領域でインダクタンス成分が現れ、高周波領域ではインダクタンス値が減少するのに伴い、抵抗値が増加する。本発明では、IGBT 1 a , 1 bおよびFWD 2 a , 2 bの接合部容量および配線に浮遊する寄生インダクタンス分で決まる共振周波数に合わせて、上述の抵抗値が増加する特性としたフェライトリング7を装着している。

【0031】

これにより、図1のパワーモジュールを等価回路で示した図3によれば、等価回路的には、FWD 2 a , 2 bにフェライトリング7のインピーダンス成分が直列に接続された形になる。したがって、フェライトリング7は、FWD 2 a , 2 bに直列に接続される抵抗デバイスとして機能する。

【0032】

フェライトリング7は、配線の寄生インダクタンス分Lおよび接合部容量Cで形成されるLC共振回路に抵抗デバイスとして挿入されることにより、その共振回路の共振を抑制することができる。このとき、LC共振を防止するためのフェライトリング7の抵抗分Rは、下記の式が成立するように選定することが望ましい。

$$R^2 = 4L / C \cdots (1)$$

ここで、Cは、IGBT 1 a , 1 bおよびFWD 2 a , 2 bの接合部容量である。Lは、フェライトリング7によるインダクタンス分を含む配線に浮遊する寄生インダクタンス分であって、モジュールの内部配線インダクタンスおよびモジュール外部に配される電源コンデンサまたはスナバコンデンサ6までの配線インダクタンスの合算値である。

【0033】

フェライトリング7が上記の式(1)を満たす抵抗分Rを有するようになるには、フェライトリング7の透磁率( $\mu$ )、複素透磁率( $\mu'$ )、大きさ(断面積、磁路の長さ)などを適宜調整すればよい。ここで、透磁率および複素透磁率は、フェライトリング7の素材を調整することによって調整される。

【0034】

10

20

30

40

50

以上のように、FWD 2 a , 2 b の外周部を取り囲むようにフェライトリング 7 を設けたことにより、図 4 に示す FWD 2 a , 2 b の逆回復波形によれば、逆回復時に生じる急峻な電流・電圧変化に伴う回路の共振現象が抑制されている。この電流・電圧の振動が抑制された結果、パワーモジュールは、自身からの電磁ノイズの発生を防止することができる。

【 0 0 3 5 】

図 5 は第 2 の実施の形態に係るパワーモジュールの内部構成を示す平面図である。なお、この図 5 において、図 1 に示した構成要素と同じまたは均等の構成要素については同じ符号を付してその詳細な説明は省略する。

【 0 0 3 6 】

この第 2 の実施の形態に係るパワーモジュールによれば、それぞれの FWD 2 a , 2 b に直列に抵抗デバイス 8 が接続されている。この抵抗デバイス 8 は、たとえば表面実装タイプの抵抗チップとすることができ、FWD 2 a , 2 b に隣接して回路パターン 1 0 a , 1 0 b 上に接着され、ワイヤによって FWD 2 a , 2 b のアノード電極と IGBT 1 a , 1 b のエミッタ電極との間に接続される。

【 0 0 3 7 】

抵抗デバイス 8 は、IGBT 1 a , 1 b および FWD 2 a , 2 b の接合部容量を C、配線上に浮遊する寄生インダクタンス分を L としたとき、上記の式 ( 1 ) を満足する抵抗 R と同じ抵抗値であればよい。

【 0 0 3 8 】

FWD 2 a , 2 b に直列に抵抗デバイス 8 を接続したことにより、逆回復時に生じる急峻な電流・電圧変化が抑制され、これによってパワーモジュールからの電磁ノイズの発生を防止することができる。

【 0 0 3 9 】

なお、上記の実施の形態では、自己消弧形半導体スイッチング素子として IGBT を使用したが、本発明はこれに限定されるものではなく、自己消弧形半導体スイッチング素子に MOS - FET を使用することもできる。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 0 】

- 1 a , 1 b IGBT
- 2 a , 2 b FWD (フリー・ホイリング・ダイオード)
- 3 アーム
- 3 a , 3 b , 3 c 主端子
- 3 d , 3 e 補助端子
- 4 直流電源
- 5 電動機
- 6 スナバコンデンサ
- 7 フェライトリング
- 8 抵抗デバイス
- 1 0 絶縁基板
- 1 0 a , 1 0 b , 1 0 c , 1 0 d 回路パターン
- 1 1 a , 1 1 b ワイヤ
- 1 2 銅板
- 1 3 冷却体

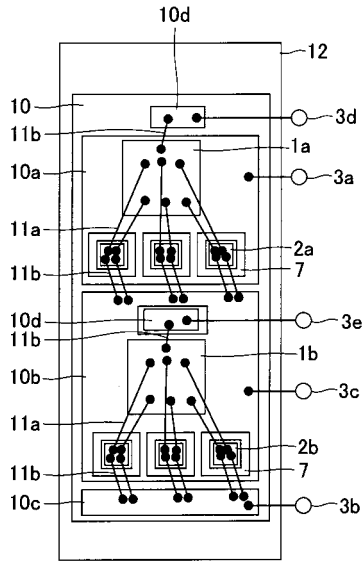
10

20

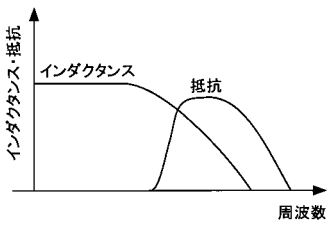
30

40

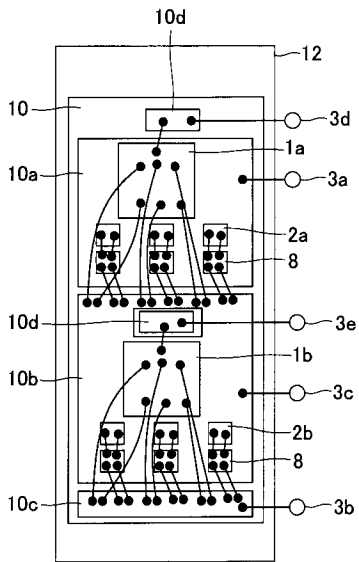
【図1】



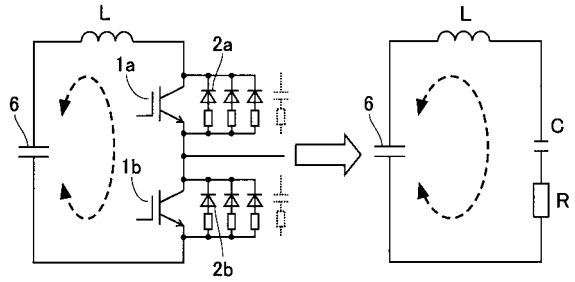
【図2】



【図5】



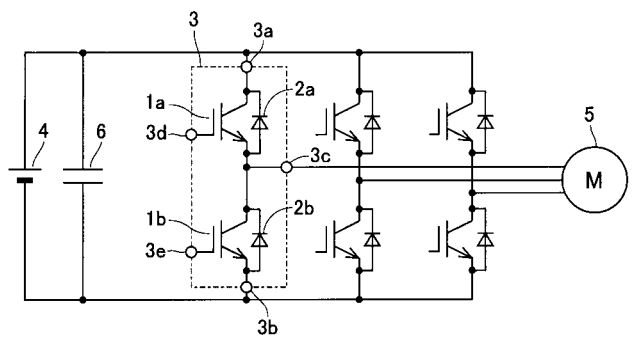
【図3】



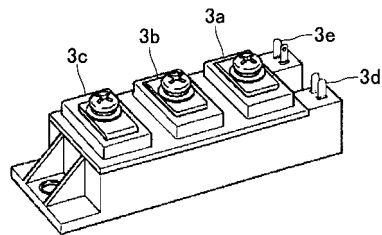
【図4】



【図6】

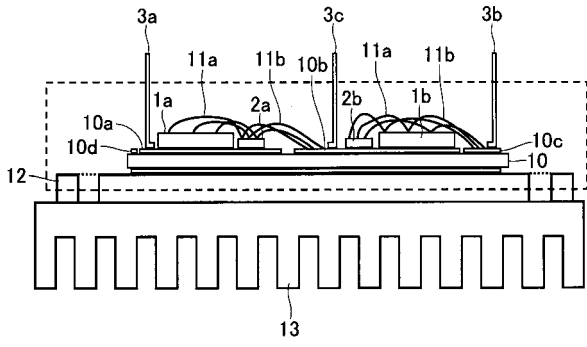


【図7】

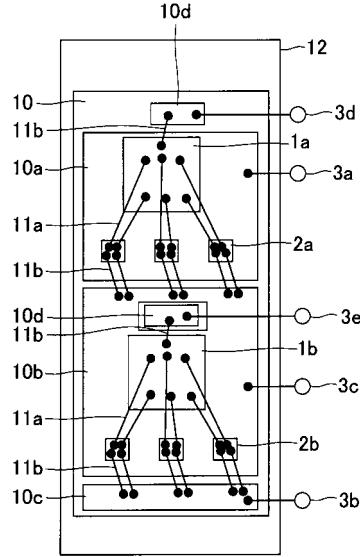




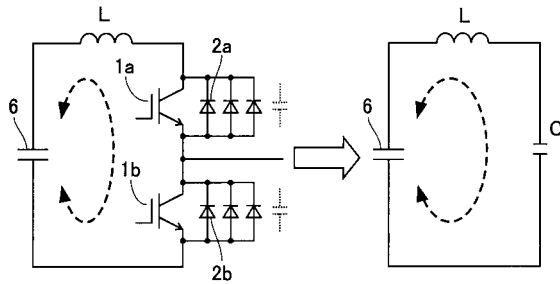
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】

