特集論文

自動車用パワー半導体モジュール“JシリーズIPM／T-PM”

斉藤省二*　波多江慎治*
飯塚　新*
ハリッド・フッセイン**

Power Module "J Series IPM/T-PM" for EV and HEV

Shoji Saito, Arata Iizuka, Khalid Hussein, Shinji Hatae

要　旨

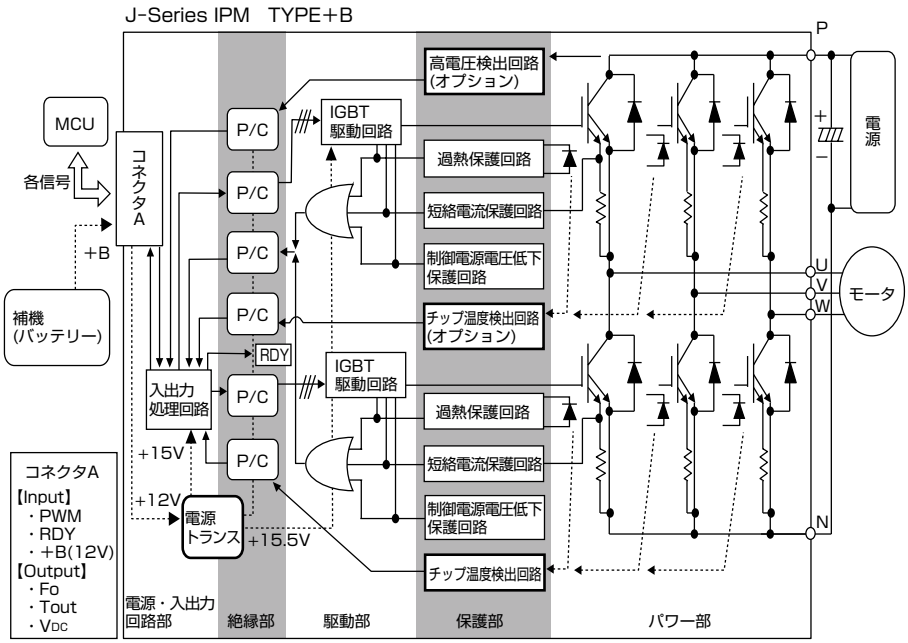
近年，電気自動車(Electric Vehicle：EV)・ハイブリッド車(Hybrid Electric Vehicle：HEV)といった環境適合車の開発が盛んになってきており，自動車用パワー半導体モジュールの需要も急速に伸びている。自動車には高い安全性が要求されるため，パワーモジュールにも高い信頼性とそれを達成するための機能が望まれる。三菱電機はこの要望に応えるために1997年から自動車用パワー半導体モジュールとして半導体素子と駆動回路，保護回路を内蔵したIPM(Intelligent Power Module)を製品化し，環境適合車の発展に貢献してきた。そして，更なる環境適合車の普及と発展のために高機能・高信頼性・汎用性を兼ね備えた自動車用パワー半導体モジュール“JシリーズIPM”を現在開発している。

今回，従来のJシリーズIPMのラインアップTYPE-A(650V／300A，1,200V／150A)とTYPE-B(650V／600A，1,200V／300A)に加え，新たにTYPE＋B(650V／800A，1,200V／500A)を開発した。

TYPE＋Bは，TYPE-Bと同一搭載面積で大容量化と温度サイクル性の向上を実現するとともに，新規開発した専用ICを採用することで，従来の高機能性を損なうことなく電源機能と全相のチップ温度検出機能を追加したオールインワンパッケージのIPMである。

このように，TYPE＋BはJシリーズIPMの高機能・高信頼性を強化したラインアップであり，従来の4品種とともに自動車用として高機能かつ安全設計に寄与できる製品である。

JシリーズIPM　TYPE＋Bの外観
165×144×32(mm)
(PM800CJG060G，PM500CJG120G)



JシリーズIPM　TYPE＋Bの内部ブロック図

MCU：Main Controller Unit，PWM：Pulse Width Modulation，IGBT：Insulated Gate Bipolar Transistor，RDY：ReaDY

JシリーズIPM TYPE＋Bの外観と内部ブロック図

JシリーズIPMは駆動回路，保護(過熱・短絡電流・制御電源電圧低下)回路に加え，フェールセーフ機能としてIPM信号許可(RDY)機能，チップ温度検出(Tout)機能，高電圧検出(V_{DC})機能を持っている。TYPE＋Bは，それらの機能に加え，スイッチング電源を内蔵している。

*パワーデバイス製作所　**同製作所(工博)

1. まえがき[1]

近年，EV・HEVモータ駆動用インバータ用途としてパワー半導体の需要が高まっている。当社は自動車用パワー半導体モジュールとして1997年にIPM，2004年にT-PM(Transfer-molded Power Module)を製品化してきた。これらの製品化実績を基に，自動車用パワー半導体モジュールに求められる高機能・高信頼性・汎用性を兼ね備えた製品としてJシリーズIPM，JシリーズT-PMを開発継続中である。Jシリーズは自動車用途として環境適合車仕様に応じた様々なモータ定格に対応するために各種ラインアップを備えている。今回新たに，大容量モータ定格に対応するためJシリーズIPM TYPE+Bをラインアップに追加した。

本稿では，JシリーズIPM TYPE+Bの特徴を中心に述べる。

2. JシリーズIPM TYPE+B

2.1 概　要

JシリーズIPMは6アームのインバータブリッジ構成のパワー部と駆動回路・保護回路を搭載した制御基板から構成され，自動車用パワー半導体モジュールに求められる機能と信頼性を兼ね備えたIPMである。TYPE-A(650V／300A，1,200V／150A)，TYPE-B(650V／600A，1,200V／300A）のラインアップに加え，今回新たにTYPE+B(650V／800A，1,200V／500A)の2品種をラインアップに追加した(**表1**，**図1**)。TYPE+BはTYPE-Bと同一搭載面積のまま大容量化を実現している。

次に，JシリーズIPM TYPE+Bの特徴について述べる。

2.2 構　造

JシリーズIPM TYPE+Bの構成を**図2**に示す。TYPE+BはTYPE-Bと同一搭載面積であり，放熱用ベース板には低線膨張係数の銅系複合材料を採用することで，温度サイクル性の向上を実現した。パワー半導体の封止材には高振動耐量のシリコーンゲルを採用することで，自動車用途としての振動耐量を実現した。パワー半導体と制御基板の間にノイズ遮蔽用のAlシールド板を内蔵することで，パワー半導体からの放射ノイズを遮蔽している。そして，制御基板には自動車専用コネクタを採用することで，上位システムとの接続作業性と耐振動性を向上させた。また，Pbフリーはんだを使用し，欧州ELV(End of Life Vehicle)対応とした。

TYPE+Bでは，大容量化に対応するためにPN電極構造を3対化するとともに，U，V，Wの出力端子の電極寸法を拡大している。これによって，大電流による電極端子発熱の低減を図った。電極端子の発熱例として，端子発熱シミュレーション結果を**図3**に示す。シミュレーション結果から，TYPE+Bの電極構造はTYPE-Bと比較し，PN電極温度で65%の発熱低減を達成した。さらに，PN間の配線インダクタンスを低減するために電極構造と配置を最適化しており，TYPE-BのPN間配線インダクタンス値に対して40%の低減を達成した。

2.3 制御回路

JシリーズIPMは，駆動回路，保護回路に加え，フェールセーフ機能としてIPM信号許可(RDY)機能，チップ温度検出(Tout)機能，高電圧検出(V_{DC})機能を持っている。TYPE+Bは，それらの機能に加え，IGBT駆動用と制御信号処理用のスイッチング電源を内蔵した。TYPE-Bと同一のベース板面積を達成するために，ドライブ機能や各

表1．JシリーズIPMラインアップ

電流／電圧	150A	300A	500A／600A	800A
650V	–	PM300CJG060G (TYPE-A)	PM600CJG060G (TYPE-B)	PM800CJG060G (TYPE+B)
1,200V	PM150CJG120G (TYPE-A)	PM300CJG120G (TYPE-B)	PM500CJG120G (TYPE+B)	–

(a) TYPE-A　(b) TYPE-B　(c) TYPE+B

図1．JシリーズIPM

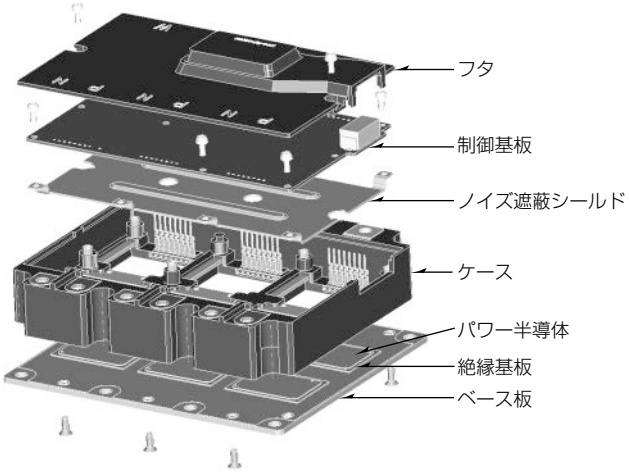
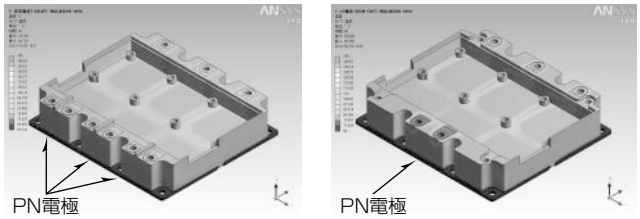


図2．JシリーズIPM TYPE+Bの構成



(a) TYPE+B　(b) TYPE-B

評価条件：初期温度：105℃，冷却温度：65℃，60s後，出力：85kW

図3．端子発熱シミュレーション結果の温度分布(モデル)

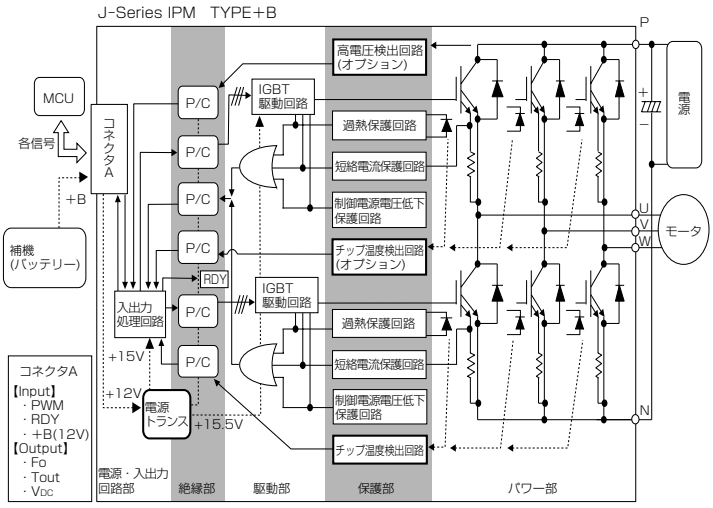


図4．JシリーズIPM(TYPE+B)の内部ブロック図

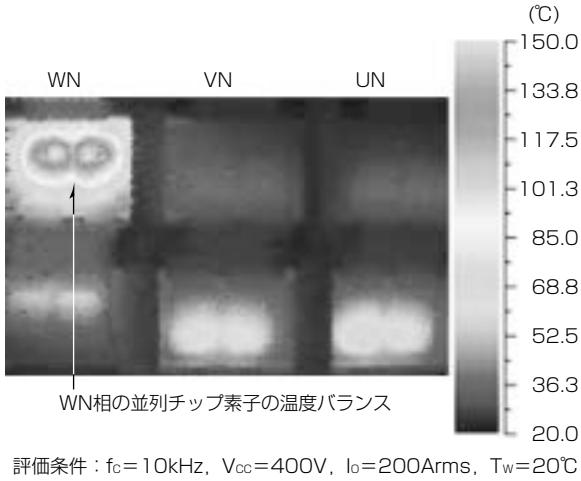


図5．モータロックモード想定時の赤外線サーモグラフィ画像

種センシング機能を集約化した専用ICを新規に開発した。**図4**にTYPE＋Bの内部ブロック図を示す。次にこのIPMの特徴である電源・入出力回路部，保護部及び制御機能について述べる。

2.3.1　電源・入出力回路部

スイッチング電源を制御基板に搭載することで，バッテリー電圧＋B(標準値12V)の1電源入力から，制御基板内部でIPM駆動に必要な5電源(UP相，VP相，WP相，N側3相のIGBT駆動回路電源，入出力回路電源)を生成することが可能となり，インバータシステムの小型化に貢献する。

2.3.2　保護部

(1)　IPM信号許可(RDY)機能

フェールセーフ機能として，MCU又はECU(Engine Control Unit)からIPMへのPWM駆動可否を受け付けるRDY信号端子を持っている。MCU又はECU側からRDY信号を解除しない限り，インバータ動作は開始しないためシステム起動時の安定性が確保可能となる。

(2)　制御電源電圧低下保護(UV)機能

UV(Under Voltage)トリップレベルを超える状態になれば当該相のIGBTゲートを遮断するとともに外部へエラー信号を出力する。バッテリー電源に異常が発生した際は，UV保護機能で安定してシステム動作を停止させる機能を持つ。

(3)　チップ温度検出(Tout)機能

JシリーズIPMはIGBTチップ温度をモニタするための，温度センスダイオードを用いた高精度チップ温度検出機能を持つ。サーミスタなどによるベース板温度モニタに比べ，チップ温度を高精度かつリアルタイムに検出できるため，IPMの性能を十分に活用できるとともに，正確な過熱保護やインバータ出力等の制御が可能となる。TYPE＋Bでは，N側3相(オプション仕様として全6相対応)の温度チップセンサ検出機能を持ち，最大全6相の温度検出を行い，最高温度を選択して出力する機能を持つ。

EVなどで発生するモータロックモードを考慮した場合，これまでは上位システムを含めてモジュールの温度状態を検出する必要があったが，TYPE＋Bでは全6相の中での最高チップ温度をリアルタイムで把握することができるため，モータロックモード時でも正確な温度出力を行う(**図5**)。また，並列チップの特性を合わせることで電流のアンバランスを防止した。その結果，**図5**に示すようにWN相の並列チップ素子の温度バランスは良好な結果が得られた。

(4)　過熱保護(OT)機能

JシリーズIPMはオンチップ温度センサを用いてチップ素子の過熱保護(Over Temperature：OT)機能として，全相保護を行う。IPMの保護だけでなく，インバータシステムの安全性の確保が可能となる。

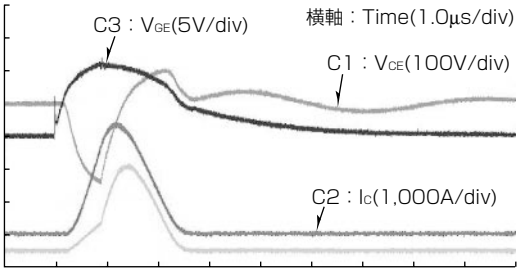
(5)　DC-Link電圧アナログ出力(V_{DC})機能

高電圧検出部をIPMに内蔵しており，PN間電圧値をモニタしアナログ出力することができるため，バッテリーマネジメントシステムなどの高機能化に使用できる。また，フォトカプラ絶縁方式を採用することで，絶縁性も考慮している。

(6)　短絡電流保護(SC)機能

IGBTのオンチップ電流センサによって電流を検出し，SC(Short Circuit)レベルを超える状態になれば当該相のIGBTのゲートをソフト遮断するとともに，外部へエラー信号を一定期間出力する機能を持つ。専用IC使用によって，これまでの短絡遮断時間から20%の遮断時間の改善を行うことで，短絡時に発生するエネルギー低減を図った。安定した短絡電流保護動作によって，短絡耐量とトレードオフの関係にある低$V_{CE(sat)}$特性の実現が可能となる。

一例として**図6**にTYPE＋B(650V／800A)“PM800CJG060G”のアーム短絡時のソフト遮断電流波形を示す。ここで，C1はコレクタ－エミッタ間電圧V_{CE}波形，C2はコレクタ電流I_C波形，C3はゲート－エミッタ間電圧V_{GE}波形



評価条件：V_{CC}=400V，+B=12V，Tj=125℃

図6．ソフト遮断電流波形(アーム短絡波形)

表2．JシリーズIPMの制御機能と仕様

項目		TYPE-A，B	TYPE+B
制御機能	IGBT駆動	○	○
	SC，UV，OT	○	○(SC改善)
	RDY	○	○
	Tout	○(VN相)	◎(全相)
	V_{DC}	○	○
	駆動電源	−	◎
	絶縁	○	○
	コネクタ	○(2種)	◎(1種)

◎：TYPE+Bの新規導入機能
○：従来Jシリーズ(TYPE-A／B)の搭載機能
―：機能搭載なし

を示す。**図6**の波形から，ゲート電圧入力が確認されてから約1μsでゲート電圧がソフト遮断されていることが分かる。

2.3.3 制御機能

JシリーズIPMの制御機能と仕様を**表2**に示す。

2.4 信頼性

JシリーズIPMには自動車用途に適した信頼性判定基準を設けている。温度サイクル性は産業用の5～10倍，パワーサイクル性は産業用の1.5～2倍の耐量を持つ。その他，車両対応のノイズ試験，静電気試験を実施している。

3．JシリーズT-PM

JシリーズT-PMは自動車用途向けに開発したトランスファモールド形パッケージの大容量パワーモジュールである。650V／300A，650V／600A，1,200V／300Aの3品種をラインアップし(**表3**)，外形サイズは3品種とも同じサイズとした(**図7**)。また，T-PMの評価用キットを準備している。

図8にJシリーズT-PMの内部構造を示す。パワー素子(IGBT，ダイオード)の裏面電極をヒートスプレッダにはんだ付けし，表面電極は主端子を延長したインナーリードに直接はんだ付けすることによって主回路配線を形成する。このパワー素子表面側の配線構造をDLB(Direct Lead Bonding)構造と呼んでいる。DLB構造の採用によって，従来のアルミワイヤボンドで主回路配線を行っていた構造と比較して，①配線抵抗の低減，②自己インダクタンスの低減，③パワーサイクルの長寿命化が実現できている。ヒートスプレッダの下面にはモールド封止樹脂よりも熱伝導率の高い絶縁シートを配置している。チップで発生した熱をヒートスプレッダで広げた後に絶縁層を通過させる構造とすることで過渡熱抵抗を低減できる構造としている。さらに，これらの内部構造をモールド樹脂で封止することによってモジュールとしての機械的構造と強度，絶縁性，環境耐久性を確保している。

表3．JシリーズT-PMラインアップ

電圧＼電流	300A	600A
650V	CT300DJH060	CT600DJH060
1,200V	CT300DJH120	−

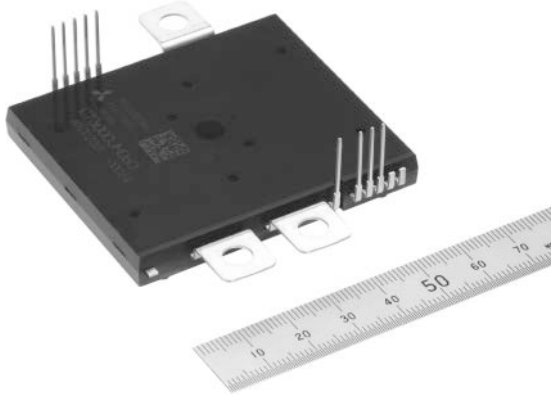


図7．JシリーズT-PM“CT300DJH060”

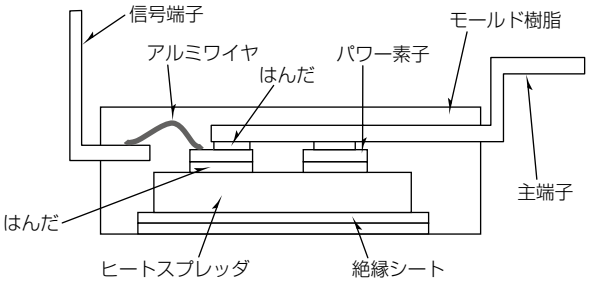


図8．JシリーズT-PMの内部構造

4．むすび

電気自動車・ハイブリッド自動車用に使用されるパワーモジュールとして自動車用パワー半導体モジュール“JシリーズIPM／T-PM”を開発してきた。今回，大容量ラインアップを拡充するとともに，今後も更に高信頼性，小型化を追求し，ユーザーがより使いやすいパワーモジュールの製品化を実現していく。

参考文献

(1) 猪ノ口誠一郎，ほか：自動車用IPM／T-PM“Jシリーズ”，三菱電機技報，**86**，No.5，283～286（2012）