

汎用小容量インテリジェントパワーモジュール

梶原 玉男(かじわら たまお)

佐々木 隆興(ささき たかおき)

鳥羽 進(とば すずむ)

① まえがき

近年、パワーエレクトロニクス応用装置である汎用インバータ、数値制御(NC)工作機械、産業用ロボット、エレベータや、エアコンディショナ(エアコン)などの白物家電製品では電力を効率よく制御するインバータ化が急速に進んできている。これは、これらに使用される電力用パワー半導体の技術革新が大きく寄与している。特に最近では高速化、低損失化を実現したIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)が主流になってきた。

一方、IGBTの進歩とともに駆動回路、各種保護回路などの周辺回路をモジュール内部に取り込むインテリジェント化によって、装置の電力回路部の設計時間の短縮を可能にし、さらに装置の小形化、高信頼性化に貢献してきた。

富士電機は1988年にパイボラ形インテリジェントパワーモジュール(IPM)を開発し、その後IGBT形IPMを開発、市場へ展開してきた⁽¹⁾⁻⁽³⁾。さらに1997年には高コストパフォーマンス、高信頼性、高機能化を追求したRシリーズIGBT-IPM(R-IPM)を開発した⁽⁴⁾⁻⁽⁸⁾。

② 汎用小容量 R-IPM の開発

富士電機では、1998年、前述したR-IPMの技術をベースにエアコン用途向け小容量R-IPMの開発を行った⁽⁹⁾。今

回、このエアコン用IPMを一部改良し、高周波スイッチング(キャリア周波数15kHz)に対応した汎用産業分野向け高周波タイプ600V/15A、20A、30Aの3形式を開発した。表1に製品系列、特性および内蔵機能を示す。また、図1に外観、図2に外形図、図3に適用回路例を示す。

③ 汎用小容量 R-IPM の特長

表2に示す顧客ニーズをもとに小容量R-IPMの開発コンセプトを明確にし、開発を行った。以下にその特長と技

図1 汎用小容量 R-IPM の外観

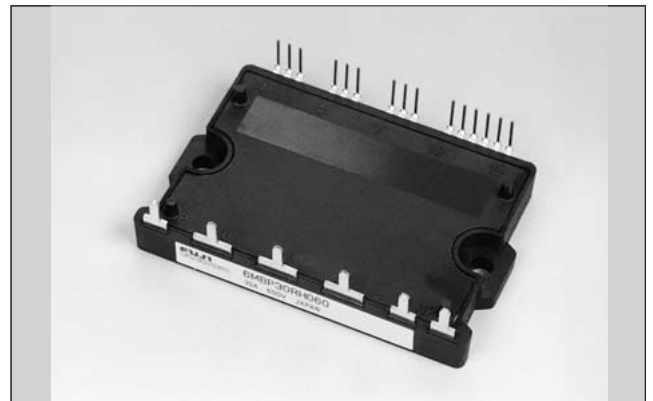


表1 汎用小容量R-IPMの系列、特性および内蔵機能

形式	主要特性					内蔵機能					パッケージ
	V _{DC} (V)	V _{CE(s)} (V)	I _C (A)	P _C (W)	V _{CE(sat)} 標準(V)	Dr	UVT	OCT	T _J -OHT	ALM	
6MBP15RH060	450	600	15	40	2.0	上アーム		x		x	P617
						下アーム					
6MBP20RH060	450	600	20	63	2.0	上アーム		x		x	P617
						下アーム					
6MBP30RH060	450	600	30	85	2.0	上アーム		x		x	P617
						下アーム					

Dr: 駆動回路, UVT: 制御電源電圧不足保護, OCT: 過電流保護, T_J-OHT: IGBT接合温度保護, ALM: アラーム信号出力
: 内蔵する, x: 内蔵しない



梶原 玉男

インテリジェントパワーモジュールの開発に従事。現在、松本工場半導体開発センターパワー半導体開発部。



佐々木 隆興

IGBT, FWD チップの開発・設計に従事。現在、松本工場半導体開発センターパワー半導体開発部。



鳥羽 進

インテリジェントパワーモジュールの構造開発・設計に従事。現在、松本工場半導体開発センターパワー半導体開発部主任。

図2 汎用小容量 R-IPM の外形図 (P 617)

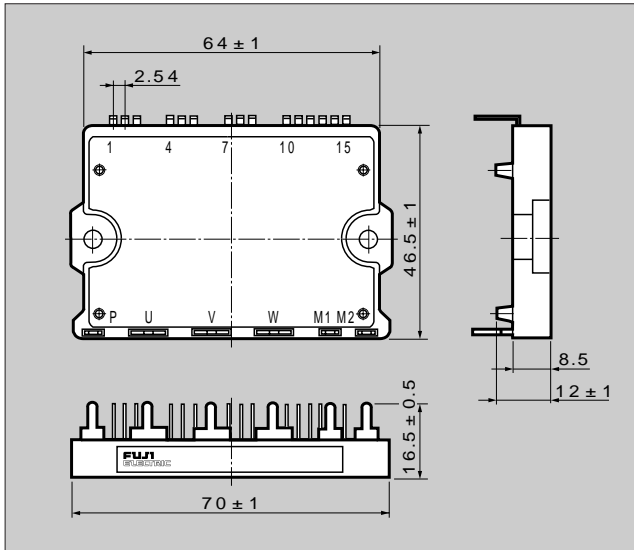
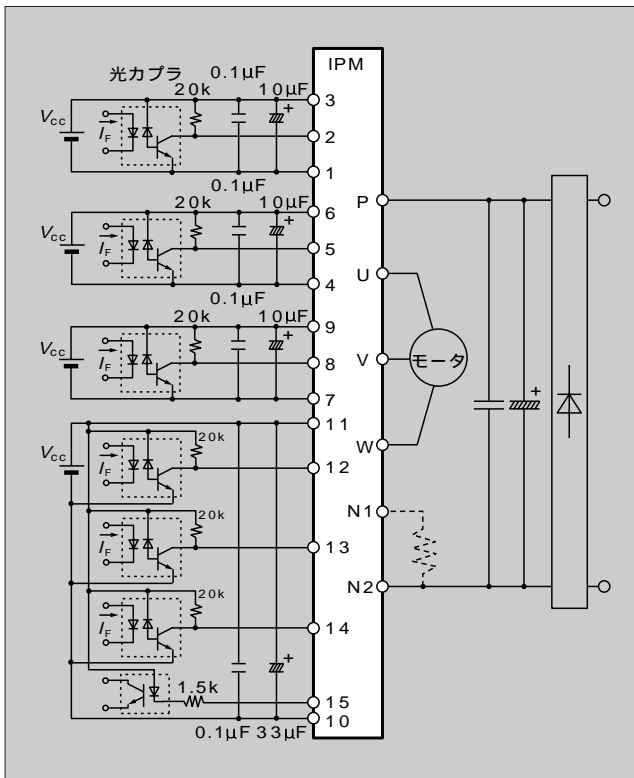


図3 汎用小容量 R-IPM の適用回路例



術を紹介する。

3.1 マルチチップモジュールの実現

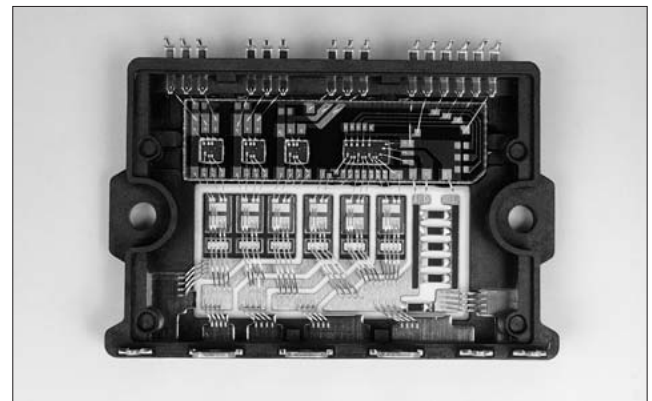
従来の IPM では IC を設計後、実際に IGBT チップと組み合わせて IPM 全体の設計、評価を行っていた。このため、制御回路は IC 以外の追加外部回路で IGBT のドライブ能力や各種保護機能の調整、ノイズ対策などを行うこととなり、IPM を構成する電子部品が多く、小形化、低価格化を実現するには限界があった。

そこで、新シミュレーション技術を導入し、これまでの IPM の開発経験と新技術を駆使して、すべての回路を 1

表2 顧客ニーズとIPMの開発アイテム

顧客ニーズ	デバイスへの要求	IPM開発アイテム
省エネルギー化	低損失化	第四世代IGBTの適用
小形化	駆動回路、保護回路内蔵	専用ICの開発 マルチチップモジュールの実現
低価格化	コンパクト化	
高信頼性の確保	高精度な保護回路	シャント抵抗検出による過電流保護の適用
	高機能な保護回路	IGBTチップ温度検出による過熱保護の実現
漏れ電流の低減	絶縁層間の静電容量の低減	セラミック基板構造の適用

図4 小容量 R-IPM の内部写真



チップに集積した専用 IC を開発した。これにより、IGBT、FWD (Free Wheeling Diode) および IC といったシリコン半導体チップのみの構成による IPM、すなわちマルチチップモジュール形 IPM を実現した。その内部写真を図 4 に示す。

3.2 高精度・高機能過熱保護の実現

IGBT チップの破壊の主要因の一つに IGBT の損失増大による異常発熱がある。従来の IPM ではモジュール内部絶縁基板上に温度センサ (サーミスタまたはダイオード) を搭載し、IGBT チップの温度を間接的に検出して熱破壊に対する保護を行ってきた (ケース温度過熱保護機能)。

しかし、モータロックモードのように IGBT 損失が大きくなり、チップ温度が急激に上昇した場合、基板のセンサの温度が IGBT チップの温度上昇に追従できない。したがって、従来のケース温度検出方式ではモータロック時に熱破壊を防ぐことができない場合があった。

この問題を解決するために、部分的 SOI (Silicon On Insulator) 技術を適用して IGBT チップ上に温度検出素子を構成し、IGBT チップの接合温度を直接検出し保護する新技術を確認した。図 5 に IGBT チップの断面図を示す。これにより、モータロック時の IGBT チップ異常発熱に対する保護が可能となり、高信頼性を実現した。

3.3 第四世代 IGBT チップの適用と最適化

富士電機では、1992年に第三世代 IGBT モジュールを開

図5 IGBT チップ断面図

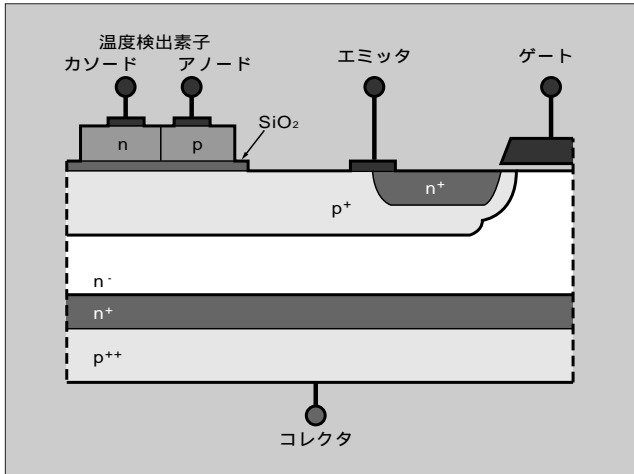
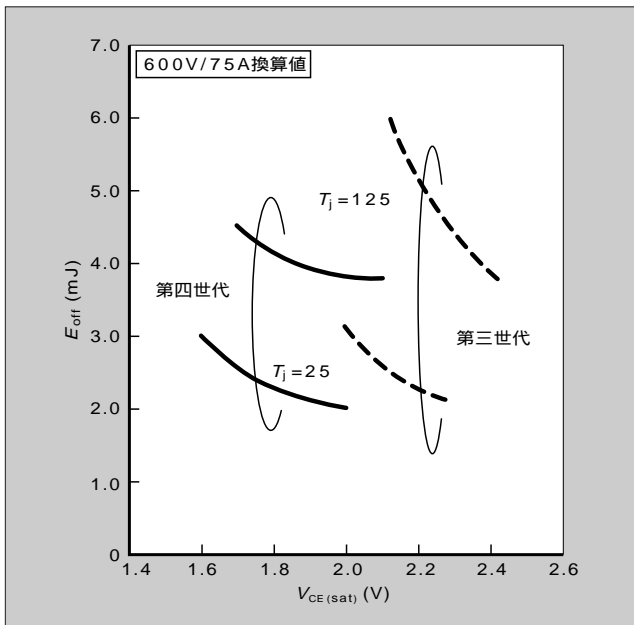


図6 IGBT チップのトレードオフカーブ



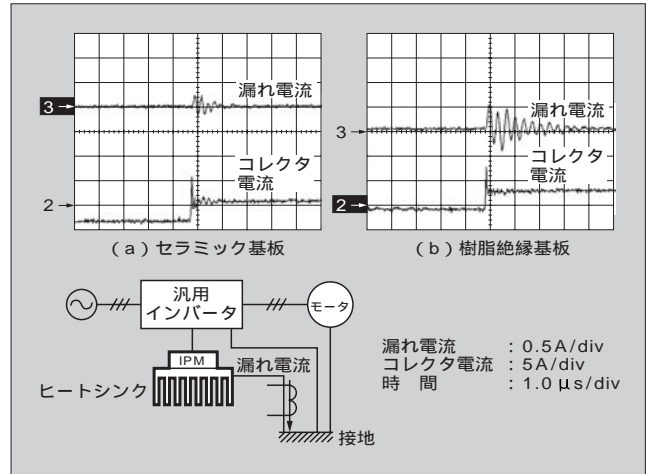
発し、市場へ大きく展開してきたが、最近になりさらなるトレードオフ改善、低損失化の要求が強くなってきた。そこで、最新の微細加工技術を駆使した第四世代 IGBT の開発に着手した。

今回、新規に開発した第四世代 IGBT チップを製品として初めて適用し、低損失化を図った。図6に第三世代および第四世代 IGBT チップのトレードオフカーブを示す。そして、発生損失シミュレーションを実施し、特性とコストの両面において高パフォーマンスを発揮できるような IGBT チップの最適設計を行った。

3.4 シャント抵抗検出方式過電流保護の採用

従来、IGBT-IPM では過電流保護に IGBT センス電流検出方式を採用していたが、デバイスの特性や温度に対する依存性を持っているため、小さい電流領域になるほどその精度を向上させることが困難になる。本製品では IPM の N ラインに流れる電流を高精度のシャント抵抗で検出す

図7 漏れ電流波形の比較



る方式を採用した。これにより、デバイスの特性や温度に依存することがなく、高精度で温度特性のよい過電流保護を実現した。

また、種々のモータ定格に対応するためにシャント抵抗の両端を IPM 外部に電極端子として出し、IPM 外部からでもこの端子にシャント抵抗を付けることで過電流保護のレベルを調整できる構成とした。

3.5 セラミック基板構造の採用

パワーモジュールの絶縁基板は、その内部配線パターンとベース面との間の絶縁層で形成されるコンデンサ成分(静電容量)を持っている。一方、先述したようにパワーデバイスは BJT から IGBT へと移り変わり、そのスイッチング速度は急速に速くなってきたが、そのときの電圧変化 dv/dt も大きくなった。このため基板の静電容量とパワーデバイスのスイッチングによる dv/dt が原因となって装置の筐体(きょうたい)から接地アースに流れる電流(漏れ電流)が増加してしまう。

従来の小容量分野の製品には、絶縁基板として一般的に樹脂絶縁基板を主に適用しているが、これは絶縁層で形成される静電容量が非常に大きい。また、最近の産業用パワーエレクトロニクス応用装置は静音化を目的にキャリア周波数は10 ~ 15 kHz と高く、漏れ電流がさらに増加する問題が起こっている。

この問題を解決するために、中容量(50 A ~)以上のモジュール構造で主に適用されているセラミック基板を本製品にも適用した。セラミック基板は樹脂絶縁基板に比べて絶縁層間の静電容量が非常に少ない。

この結果、高速スイッチングの IGBT を適用したにもかかわらず、樹脂絶縁基板形 IGBT に比べモジュールの漏れ電流を半分に以下に低減することができた。スイッチング時にそれぞれの絶縁層間を流れる漏れ電流の波形を図7に示す。

また、セラミック基板構造の適用により、熱抵抗も樹脂絶縁基板構造に比べて約 50% 低減することができた。

4 あとがき

以上、富士電機のパワーデバイスにおける最新の技術を取り込んだ小容量 IGBT-IPM を紹介した。この IPM はパワーエレクトロニクス応用装置のインパータ化をさらに推し進め、その省エネルギー化、高効率化、高信頼性化、高付加価値化を実現し、市場の期待に貢献できるものと確信する。

さらに今後は、高耐圧 IC 技術をベースにさらなる高機能化、高システム化した IPM の開発が重要テーマとなる。富士電機では市場の要求を満足する新製品を開発し、パワーエレクトロニクスの発展に努める所存である。

参考文献

- (1) Shigekane, H. et al. : High Power Transistor Modules with Intelligent Functions. 1990 ISPSD. p.150-155 (1990)
- (2) 重兼寿夫・宝泉徹：インテリジェントパワーモジュール，電気学会誌，Vol.115，No.2，p.114-119 (1995)
- (3) 渡辺学・梶原玉男：インテリジェントパワーモジュール，富士時報，Vol.67，No.5，p.268-274 (1994)
- (4) 山口厚司・市川裕章：新形 IGBT-IPM (R シリーズ) の開発，富士時報，Vol.70，No.4，p.237-242 (1997)
- (5) 山口厚司ほか：中・大容量 R シリーズ IGBT-IPM，富士時報，Vol.71，No.2，p.101-105 (1998)
- (6) Kajiwara, T. et al. : New Intelligent Power Multi-Chips Modules With Junction Temperature Detecting Function. 1998 ISPSD. p.281-284 (1998)
- (7) Eschrich, F. et al. : New Intelligent Power Multi-Chips Modules With Junction Temperature Detecting Function. PCIM Europe 98 (1998)
- (8) Kajiwara, T. et al. : New Intelligent Power Multi-Chips Modules With Junction Temperature Detecting Function. 1999 IEEE-IAS. p.1085-1090 (1998)
- (9) 梶原玉男ほか：小容量民生用 IGBT-IPM，富士時報，Vol.71，No.2，p.106-111 (1998)
- (10) 武井学・大月正人：パワー半導体シミュレーション技術，富士時報，Vol.71，No.2，p.141-145 (1998)
- (11) Onishi, Y. et al. : Analysis on Device structures for Next generation IGBT. 1998 ISPSD. p.85-88 (1998)
- (12) 百田聖自ほか：パワーモジュール用チップ技術，富士時報，Vol.71，No.2，p.128-134 (1998)

技術論文社外公表一覧

標 題	所 属	氏 名	発 表 機 関
エアバッグ制御用自動車乗員の光学的位置姿勢検出センサ	富士電機総合研究所 " "	佐野 安一 田中 秀幸 谷川 太一	電気学会センサ・マイクロマシン部門誌，119-E，1 (1999) 電気学会
低電圧動作レギュレータに適した OP アンプの構成	松 本 工 場	三添 公義	電子情報通信学会回路とシステム研究会技術研究報告，98，514 (1999) 電子情報通信学会
6.3 シーメンス製ガスタービン	富士・シーメンス エネルギーシステム 推進本部	池田 忠司	将来の高効率蒸気サイクルに関する調査研究分科会成果報告書 (1999-2) 日本機械学会
YAG レーザによる微細マーキング	富士電機総合研究所 東京システム製作所	葛西 彪 川村 浩徳	レーザ協会誌，23，4 (1999) レーザ協会
Direct Linked Type Frequency Changer Based on DC-Clamed Bilateral Switching Circuit Topology	富士電機総合研究所 " "	三野 和明 大熊 康浩 黒木 一男	IEEE Transaction on Industry Applications，34，6 (1998) IEEE
Super Junction デバイス	松 本 工 場	藤平 龍彦	電気学会パワーデバイス高性能化インテリジェント化技術調査専門委員会 (1999-1)
クリーンエネルギー太陽電池	富士電機総合研究所	市川 幸美	高分子学会第24回プラスチックフィルム研究会 (1999-2)
磁気駆動型マイクロアクチュエータ	富士電機総合研究所	中澤 治雄	神奈川県産業技術総合研究所 (1999-2)
固体高分子電解質水電解技術の開発 (ホットプレス法)	富士電機総合研究所	山口 幹昌	WE-NET 水素エネルギーシンポジウム (1999-2)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。