

# 第四世代 IGBT-PIM

沖田 宗一(おきた そういち)

有川 典男(ありかわ のりお)

星 保幸(ほし やすゆき)

## 1 まえがき

近年の飛躍的なパワーエレクトロニクスの発展とともに数々のパワー半導体素子が開発され、産業分野においては高速スイッチング、電圧駆動および従来のバイポーラトランジスタ以上の電圧・電流定格を持つことで IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) が大きな注目を浴び、世代交代を重ねつつ発展してきた。特にインバータ装置の発展に支えられ、IGBT は製品の小型化、高性能化、使いやすさの追求から、複数個の IGBT チップを目的に応じて結線し、電極と放熱側のベース板とを内部で絶縁し、パッケージ化した IGBT モジュールとして産業、家電、交通など幅広い分野で適用されてきている。

このような状況のなか、インバータ装置の小型化のため、整流回路、ダイナミックブレーキ回路をモジュール内に取り込み、低損失化、低コスト化を図ったパワー集積モジュール (PIM : Power Integrated Module) の要求が強まってきた。富士電機では、小容量定格をターゲットとしてすでに N シリーズ IGBT-PIM を 1995 年に発売し、市場要求にこたえてきたが、最近ではさらなる低損失化や高機能化に加え、中容量品の製品化など、系列拡大の要求が強くなってきた。本稿では、富士電機が第四世代 IGBT チップを適用し、新たに開発したパッケージで小型化と容量拡大を実現した一般産業分野向け PIM について紹介する。

## 2 インバータ回路の構成と PIM の課題

インバータ装置には用途や制御方式により幾つかの種類があるが、現在市場で最も多く適用されているものは、図 1 に示すような回路構成を持つ電圧形 PWM (Pulse Width Modulation) 制御方式のインバータである。そのなかで、交流電源を整流し直流電源に変換するコンバータ回路部、PWM 制御により直流電源から三相交流電源を出力するためのインバータ回路部、およびモータの回生動作時に発生するエネルギーによる電圧の上昇を抑制する回生電力放電回路 (ダイナミックブレーキ) 部にパワー半導体デバイス

が適用されている。

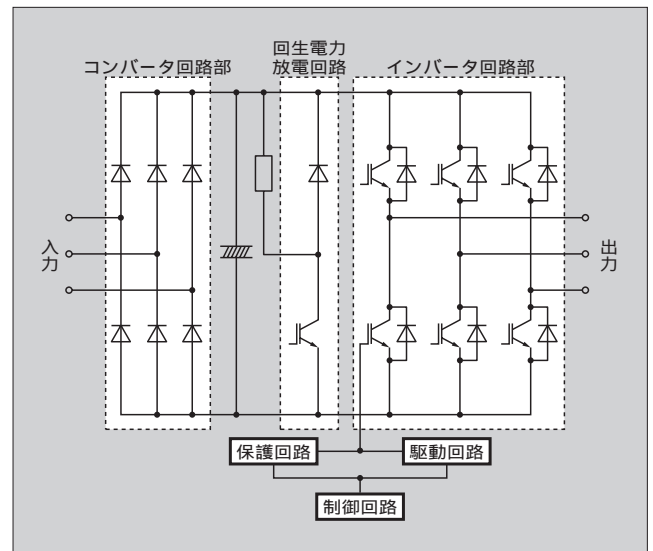
これらのパワー半導体素子は、適用するインバータ装置の容量に応じ、トランジスタモジュールやダイオードモジュールが選定されるが、比較的インバータ容量の小さな領域では、装置の小型化やコストの関係でディスクリート製品が適用される場合もある。しかしながら、モジュールを適用する場合に比べ、部品点数が多く回路配線が複雑になることや、素子と放熱器との間の絶縁をとる必要があることなど、インバータ装置を設計する側で留意すべき点が多くなる。

このため、インバータ回路の主回路を構成するパワー半導体素子を一つのパッケージに収めたパワー集積モジュールが製品化されてきた。

この PIM の適用拡大を図るためには、以下のような課題がある。

- (1) 省エネルギー、高効率化ニーズに対応する低損失化
- (2) 装置小型化に対応できるモジュール外形の小型化
- (3) はんだ付け実装を容易にするオールピン端子形状化
- (4) より確実な温度保護のための温度センサ内蔵

図 1 電圧形 PWM 制御方式インバータの回路構成



**沖田 宗一**  
IGBT 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。



**有川 典男**  
IGBT モジュールの開発・設計に従事。現在、松本工場パワーモジュール部。



**星 保幸**  
IGBT 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。

③ 第四世代 IGBT-PIM の開発

②章で述べた課題に対応した製品設計を推進し、富士電機が今回開発した第四世代 IGBT-PIM の特徴を以下に述べる。

3.1 第四世代 IGBT チップの適用による低損失化

IGBT モジュールはその高速スイッチング性能から低騒音形インバータを中心に適用範囲を拡大してきたが、放熱器の小形化や効率向上、信頼性向上などの強い要求から発生損失の低減が最も強く求められる特性改善である。

本製品では新規に開発した第四世代 IGBT チップを搭載したことで、順電圧 ( $V_F$ ) を低減した FWD (Free Wheeling

Diode) チップの採用により、図 2 に示すように 600 V 系、1,200 V 系おのおのにおいてインバータ動作時の発生損失を従来品比で約 20 %改善している。

第四世代 IGBT チップでは、セルの微細化技術を適用し、特にゲート幅 ( $L_g$ ) の最適化によりコレクタ-エミッタ間飽和電圧 ( $V_{CE(sat)}$ ) とターンオフ損失 ( $E_{off}$ ) のトレードオフを改善した結果、従来品に比べ約 0.5 V 低い  $V_{CE(sat)}$  特性を実現した。

また、1,200 V 系では NPT (Non Punch Through) チップ技術を併せて適用し、ライフタイムコントロールレス化によるターンオフ損失の温度依存性低減を図った。これにより実使用条件下での発生損失低減が可能になっている。

一方、FWD は従来その高速スイッチング性能とソフトリカバリー性追求のため、 $V_F$  とリカバリー損失 ( $E_{rr}$ ) のトレードオフ上比較的  $V_F$  を高めの設計にしているが、インバータの出力周波数が低い場合には FWD のオン期間が長くなるため平均発生損失が増加し、インバータの低周波、高トルク出力時の温度上昇が課題になりつつある。これに対し、電極構造の最適化などにより  $V_F$ - $E_{rr}$  トレードオフを改善し、FWD の  $V_F$  を 0.4 ~ 0.5 V 低減した低損失 FWD を開発した。この FWD チップの採用により図 3 に示すように低周波動作時の FWD 損失を約 20 %改善した。

図 2 インバータ動作時の発生損失比較

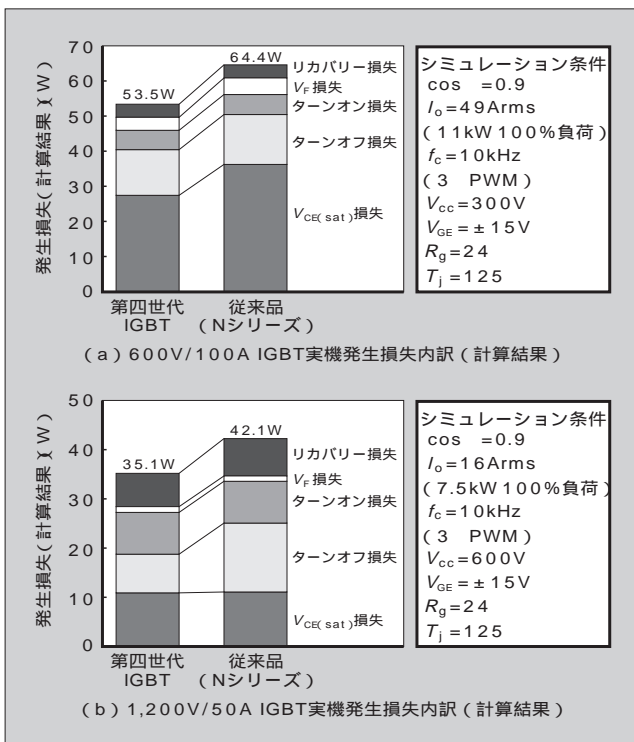


図 3 低周波動作時の発生損失比較

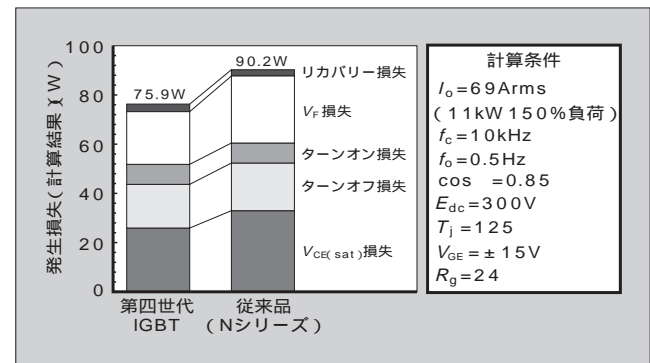


表 1 第四世代 IGBT-PIM の系列

形式	インバータ部				ブレーキ部				コンバータ部				外形
	$V_{CES}$ (V)	$I_C$ (A)	$P_C$ (W)	$V_{CE(sat)}$ 代表値 (V)	$V_{CES}$ (V)	$I_C$ (A)	$V_{RRM}$ (V)	$V_{RRM}$ (V)	$I_O$ (A)	$V_{FM}$ 代表値 (V)	$I_{FSM}$ (A)		
7MBR 30SA060	600	30	120	1.8	600	20	600	800	30	1.1	210	M711 [図5(a)]	
7MBR 50SA060		50	200			30			350				
7MBR 50SB060		50	200			30			350				
7MBR 75SB060		75	300			50			525				
7MBR100SB060		100	400			50			700				
7MBR 15SA120	1,200	15	110	2.1	1,200	15	1,200	1,600	15	1.1	155	M711 [図5(a)]	
7MBR 25SA120		25	180			15			260				
7MBR 35SB120		35	240			25			360				
7MBR 50SB120		50	360			25			520				

3.2 小形パッケージによる中容量品系列化

これまでの系列ではPIM 構成モジュールとして、600 V系では 50 A、1,200 V 系では 25 A が最大定格であった。今回、第四世代 IGBT チップ搭載により、高密度実装を実現し、小形・薄形パッケージとして、M711、M712 の 2 タイプを開発し、N シリーズ従来品の電流定格の 2 倍まで系列を拡大した。表 1 に系列の一覧を、図 4 ~ 6 にパッケージの外観および外形、等価回路を示す。

3.3 構造上の特徴

3.3.1 はんだ付け実装を容易にしたピン端子構造適用

インバータ装置に使用されるパワーモジュールと周辺回路との接続は、プリント基板に一括してはんだフローを行う方式が採用されつつある。これに対応するため、制御端子と主回路端子両方を同一面に配列し、全端子を細形のピン端子形状に統一することで、一括はんだフロー実装が可能な構造とした。また、細形ピン端子については、通電による温度上昇を踏まえ M711、M712 それぞれのパッケージに対し最適な形状および寸法設計を行った。図 7 は、インバータ定格から決定される電流通電時の主端子温度上昇値をパッケージ別に示したものである。M711、M712 とともにプリント基板などの配線導体を接続することで熱吸収、放散が期待でき、実際にはプリント基板導体側の温度上昇に支配されていることが分かる。したがって、モジュール外部に接続される導体断面積を必要に応じ確保することで、

端子部の温度上昇を 10 以下に抑えて適用することが可能である。また、ケース四隅にポジショナを設けることで、プリント基板への固定が容易にできる構造とした。

3.3.2 パッケージ内部構造の特徴

従来品モジュールと第四世代 IGBT-PIM の内部構造の比較を図 8 に示す。従来品の構造では、IGBT チップ、FWD チップおのおのからセラミック基板にワイヤボンディング接続を行い、外部端子への接続は、配線されたセラミッ

図 5 M711、M712 パッケージの外形

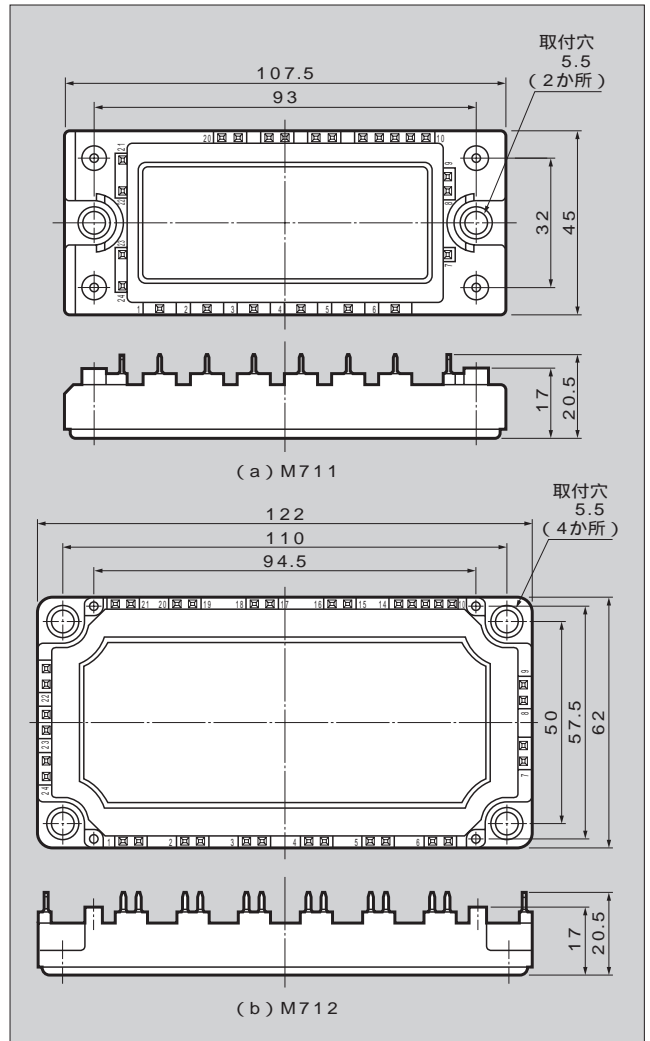


図 4 M711、M712 パッケージの外観

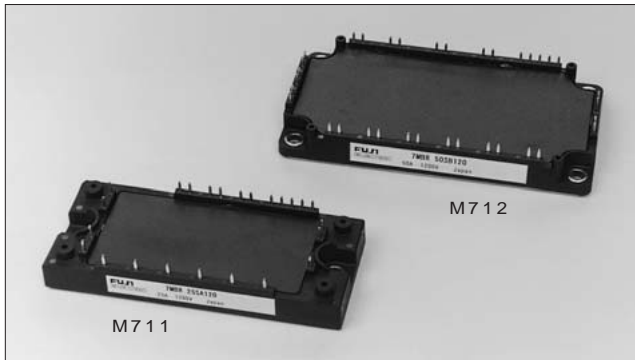


図 6 第四世代 IGBT-PIM の等価回路

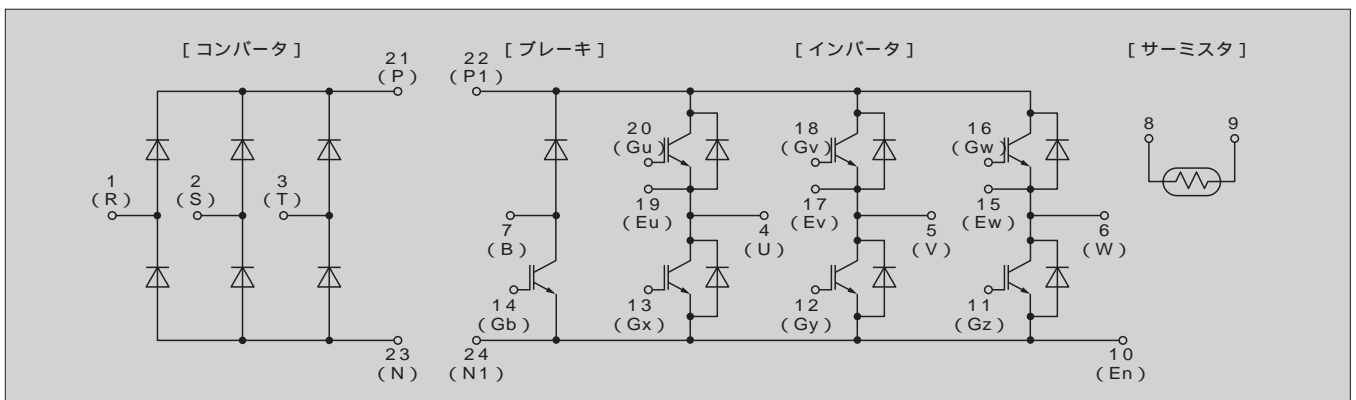
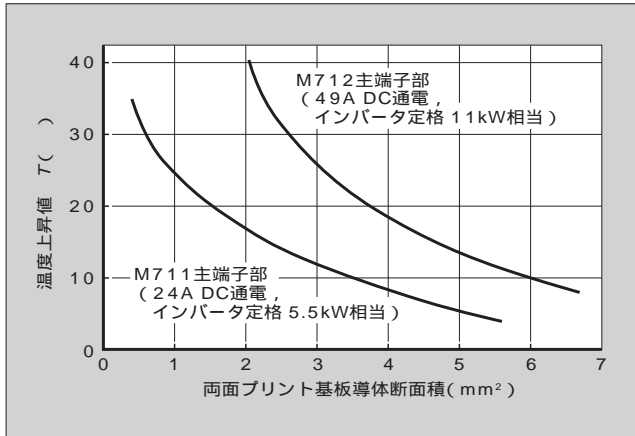


図7 プリント基板接続時の主端子温度上昇



ク基板へのはんだ付けを行う方式であった。それに対し、第四世代 PIM では、チップ、セラミック基板、端子をすべてワイヤボンディング接続することで、はんだ付けスペースをなくし、パッケージ構造の簡素化、小形化を実現した。また、端子のはんだ付け工程をなくすことで、組立工程の短縮が可能となった。

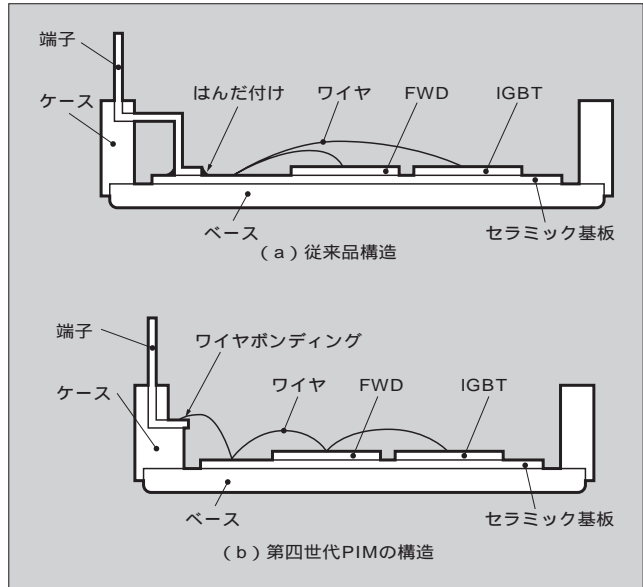
3.4 内部素子温度検出による高信頼性の確保

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 N シリーズ PIM では、モジュール内部に検出機能がないため、外部にサーモスタットなどの温度検出機能を付加しなければならなかった。今回開発した第四世代 PIM では、モジュール内部に主回路と絶縁した構成で温度検出用のサーミスタを内蔵することで、より確実な温度保護を可能にした。

4 あとがき

以上、富士電機が第四世代 IGBT モジュールとして新規開発した一般産業分野向け PIM の製品概要と新技術につ

図8 内部構造の比較



いて紹介した。この PIM は、インバータ装置の性能向上、設計の容易性に貢献し、省エネルギー化、高信頼性化、高付加価値化を実現するものと確信する。

今後はさらに、高機能化、システム化のニーズに加え、小形化、シンプル化したパワーデバイスの開発要求が強くなるものと予測される。

富士電機ではこれらの要求を満足する新製品を今後も開発し、パワーエレクトロニクス産業の発展に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 中島修ほか：小・中容量産業用 NPT-IGBT モジュール，富士時報，Vol.71，No.2，p.112-116（1998）
- (2) 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）



\*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。