

産業用第7世代IPM“G1シリーズ”

木村義孝*
荒木健宏**

7th IPM "G1 - Series" for Industrial Applications

Yoshitaka Kimura, Takehiro Araki

要 旨

地球環境保全の目的から省エネルギー化が求められる中、大電力の電力変換に欠かせないパワー半導体の需要は年々増加傾向にある。特にパワー半導体を搭載したパワーモジュールの中でも駆動回路と保護回路を同パッケージ内に持ったIPM(Intelligent Power Module)は多くのユーザーに使用されている。近年ではパワーモジュール適用分野も多岐にわたるため、ユーザーによって使用環境・実装方法に対する要求は様々である。

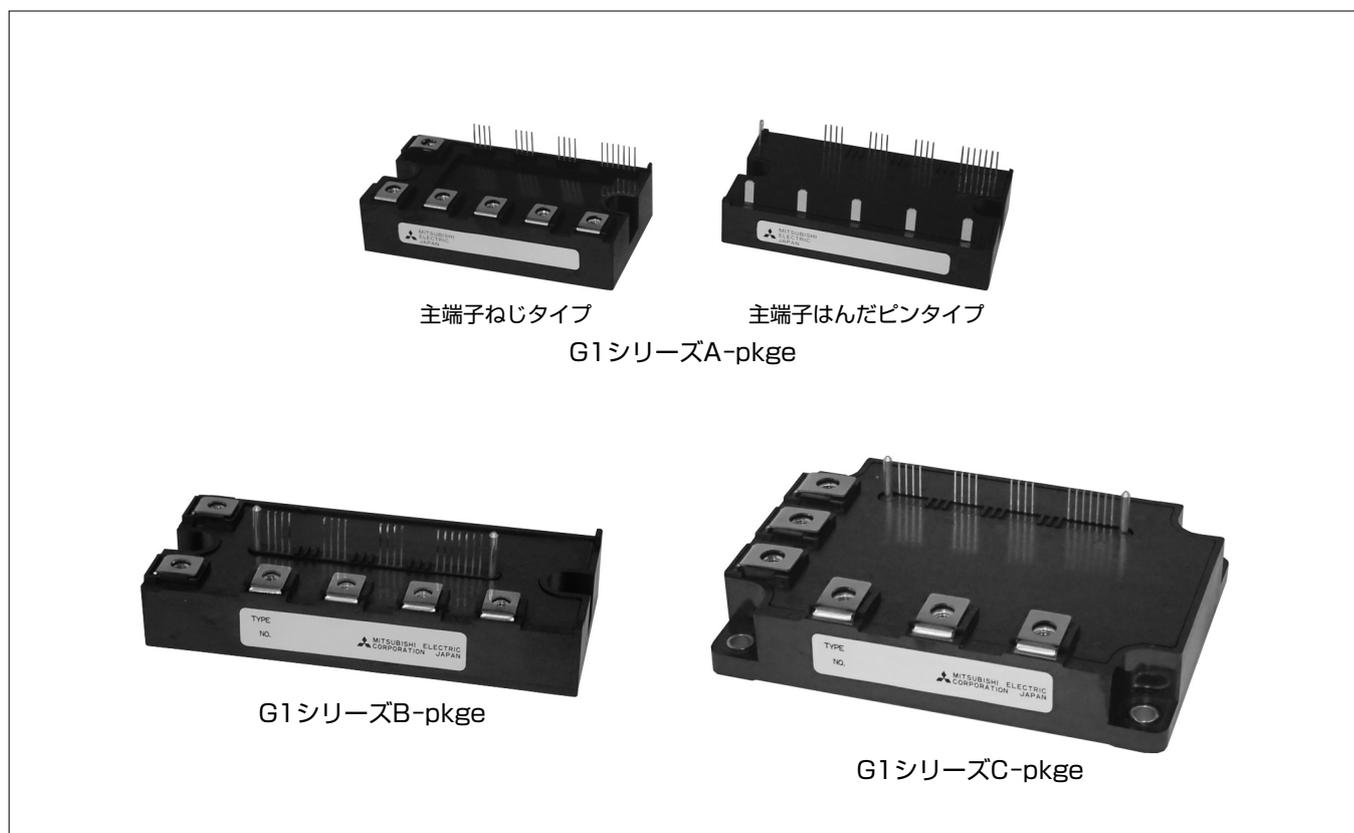
パワーモジュールの特性はもとより、パッケージの狭幅、小型化及びユーザーでの使いやすさに対する要求も強い。これらの要求に対応するため、三菱電機は産業用第7世代IPM“G1シリーズ”を開発した。

G1シリーズでは当社従来IPM比で約30%程度実装面

積を削減することに成功し、特に1つの筐体にパワーモジュールを複数実装する場合に、ユーザーの筐体の小型化が可能となる。G1シリーズIPMは7世代IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)チップ採用に加えて、パッケージ構造、駆動回路方式での新規要素を盛り込み、特性の改善とユーザーの使いやすさを実現している。

G1シリーズの特長は次のとおりである。

- (1) ユーザー要求に対応した狭幅・小型パッケージ開発とラインアップ拡充
- (2) 7世代IGBTチップを搭載して特性を改善
- (3) 樹脂絶縁銅ベース板構造を採用したセラミック絶縁基板下はんだレスによるサーマルサイクル寿命向上
- (4) 低ノイズIGBT駆動回路の採用による発生損失低減



第7世代IPM“G1シリーズ”

樹脂絶縁銅ベース板構造、低ノイズIGBT駆動回路を採用し、従来IPMから狭幅・小型化外形設計を実施したG1シリーズIPMを開発した。製品定格に応じた3タイプのパッケージを展開しており、“A-pkge”では、主端子仕様としてねじタイプとはんだピンタイプのどちらかを選択することが可能である。

1. ま え が き

省エネルギー化が求められる近年では、パワー半導体の需要は増加傾向にある。中でもIPMは駆動回路、保護回路を内蔵しており、ユーザーでの駆動回路設計、保護回路設計が不要となるため、使いやすいパワーモジュールとして多くのユーザーに使用されている。

最近の傾向としてユーザーでの筐体設計の効率化への要求が高まっており、パワーモジュールは組立性を考慮したモジュールが求められている。また、産業用途向けIPMはインバータシステム市場で広く使用されており、製品の小型化、軽量化やラインアップ充実化への要求が強い。

G1シリーズIPMは軽量化、ラインアップの充実化に加え、樹脂絶縁銅ベース板構造採用による高信頼性化と低ノイズIGBT駆動回路による損失低減効果を確保し、ユーザーにとって使いやすいモジュール仕様としている。

2. G1シリーズIPM

2.1 製品ラインアップ

G1シリーズIPMは第7世代パワーチップを搭載した新製品である。G1シリーズIPMのパッケージは表1に示すように製品定格に応じた3タイプのパッケージを展開しており、650V定格品は50Aから450A定格まで、1,200V定格品は25Aから200A定格までをラインアップした(図1)。また、パワーモジュールは近年小型化やラインアップ充実化が求められている。特に1つの筐体の中にパワーモジュールを複数実装することも多く、筐体の小型化を実現するためにパッケージの狭幅・小型化の要求が強い。G1シリーズIPMは現行の“L1シリーズ”IPMからパッケージを狭幅・小型化したことで同定格サイズ比で実装面積を“B-pkge”で25%、“C-pkge”で31%を削減し、インバータ機器の小型化と軽量化に貢献する。

表1. G1/L1シリーズIPMのパッケージ仕様

G1シリーズ	パッケージ外形仕様		
	A-pkge	B-pkge	C-pkge
ねじタイプ			
はんだタイプ			
L1シリーズ	typeS 	小pkg 	中pkg

図1にG1シリーズIPMのラインアップを示す。各パッケージ間で製品定格のラインアップをオーバーラップさせているため、用途に応じてパッケージを選択することが可能である。

2.2 A-pkgeの特長

G1シリーズA-pkgeは主端子仕様としてはんだピンタイプ、ねじタイプの2つをラインアップしている。各主端子仕様ではどちらも実装面積を同等にしており、ユーザーのパワーモジュールの実装プロセス、接続仕様に応じて選択可能とした。また、図2のようにG1シリーズIPMのA-pkgeとB-pkgeを同一筐体内に複数実装する場合、A-pkgeねじタイプは主端子高さをB-pkgeと統一しているため、図3のようにユーザー側の主配線高さを統一化することができ、ユーザーでの組立性を考慮した外形仕様となっている。

	電流容量								
	25A	35A	50A	75A	100A	150A	200A	300A	450A
650V 6in1			A						
			B						
							C		
650V 7in1			A						
			B						
							C		
1,200V 6in1	A								
	B								
							C		
1,200V 7in1	A								
	B								
							C		

図1. G1シリーズIPMのラインアップ

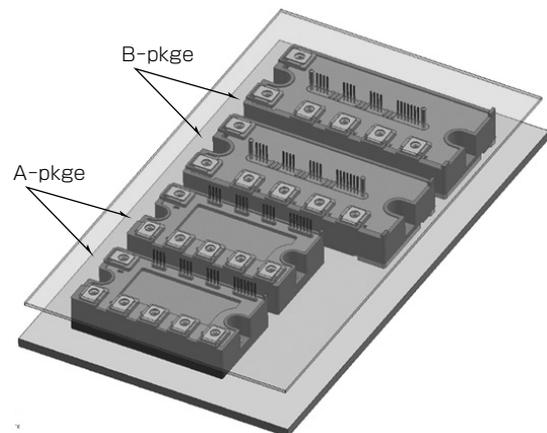


図2. IPMを複数実装した場合の配置例

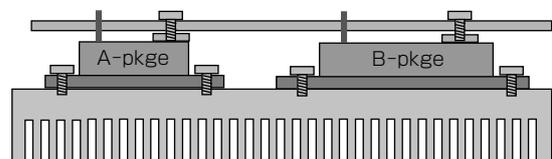


図3. A-pkge主端子ねじタイプとB-pkgeの主配線高さを統一化

3. パッケージ構造について

パワーモジュールで高放熱と絶縁を両立させるために従来はセラミック絶縁基板を使用してきたが、G1シリーズIPMでは製品寿命向上を目的として、それを樹脂絶縁銅ベース板に置き換えて絶縁基板下はんだレスの構造とし、封止材にエポキシ樹脂を用いてダイレクトボッティング技術を採用した。図4にL1シリーズIPMとG1シリーズIPMの縦構造の断面図を示す。

パワーモジュールの寿命試験の1つとしてサーマルサイクル試験がある。モジュールはシステムの起動、停止を繰り返すことでケース温度が変化し、構成部材に熱ストレスが発生し、各構成部材間の線膨張係数の違いによって接合材であるはんだ層の劣化(クラック)が進行する。従来のIPM構造では銅ベース板とセラミック絶縁基板の接合にはんだ材を使用しており、絶縁基板下はんだ層のクラックが進行することによってサーマルサイクル耐量劣化につながる⁽¹⁾。

G1シリーズIPMでは絶縁基板下はんだレス構造と封止材の線膨張係数を最適化することで構成部材にかかる熱ストレスを緩和し、はんだ層劣化に起因するサーマルサイクル耐量が向上し、モジュールの高信頼性を達成した。

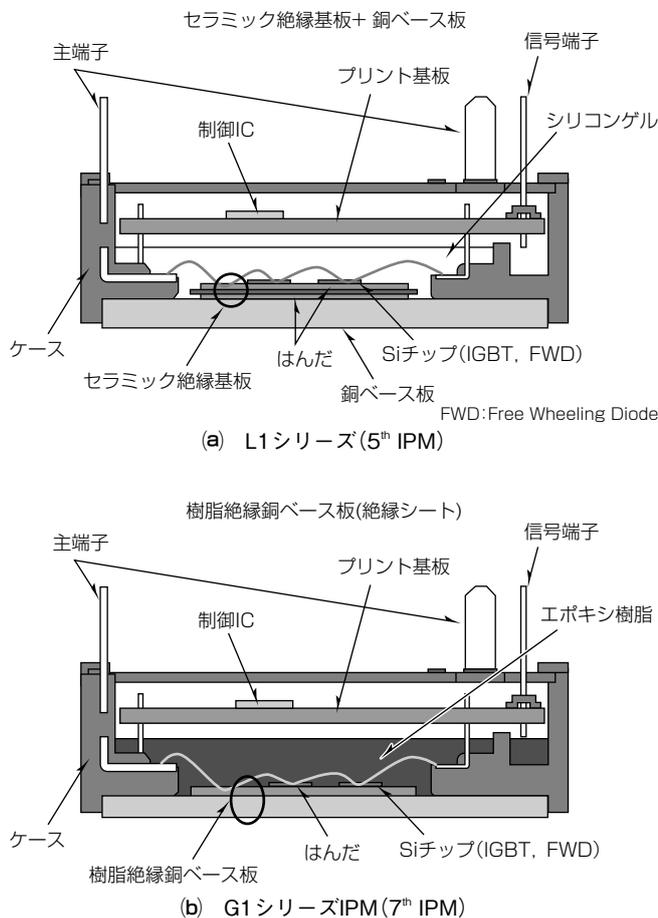


図4. L1シリーズIPMとG1シリーズIPMの構造比較

4. 搭載機能

4.1 低ノイズIGBT駆動回路

G1シリーズIPMではEMI(Electro Magnetic Interference)ノイズ低減のために“Lシリーズ”IPMに搭載していた低ノイズIGBT駆動回路を搭載している。低ノイズIGBT駆動回路の原理を図5に示す。

従来の駆動方式では低電流域で dv/dt が急峻(きゅうしゅん)になるため、EMIノイズが発生しやすくなる。このためEMIノイズを低減するために低電流域の dv/dt を低減した場合、全電流領域で発生損失が増加するというデメリットがあった。G1シリーズでは低ノイズIGBT駆動回路を採用することで低電流域で dv/dt を遅く設定してEMIノイズの発生を低減し、大電流域(定格電流)ではスイッチングスピードを速く設定して発生損失を低減する特性とした。G1シリーズIPMではIGBTチップ内に形成された素子を使用することでIGBTに流れる電流をリアルタイムに制御ICで検出し、あるしきい値以上で駆動能力が自動的に切り替わる仕様としている。チップ上の素子を利用して電流検出を行っているため、外部に検出用回路を構成することなく駆動方式の切替えを可能にしている。

この機能によって発生損失を低減しながらEMIノイズを抑えることが可能となる。またスイッチングスピードを切り替えるポイントはユーザー側で特性を最大限引き

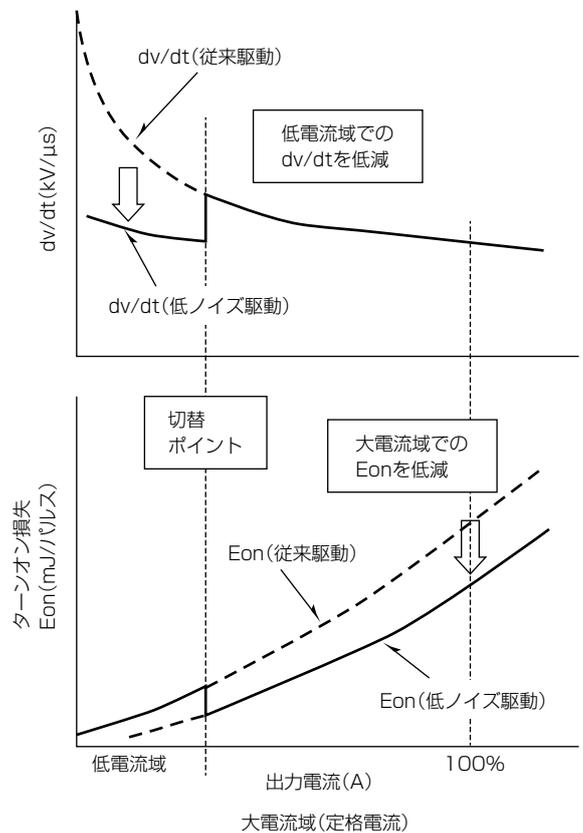


図5. 低ノイズIGBT駆動回路の原理

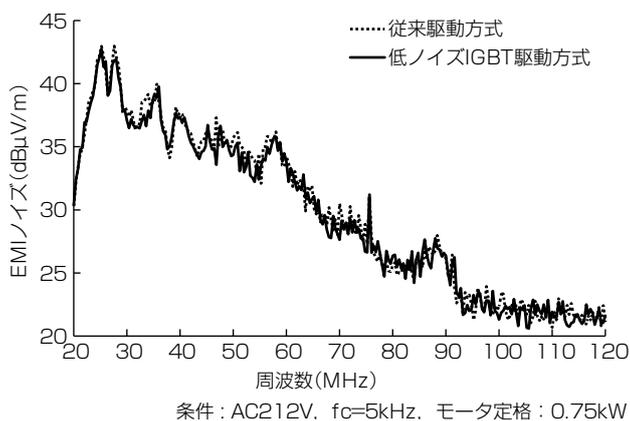
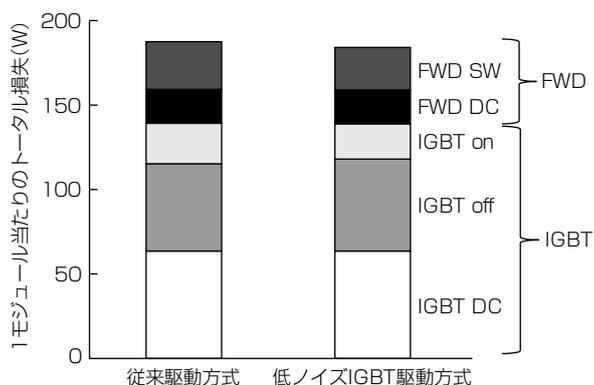
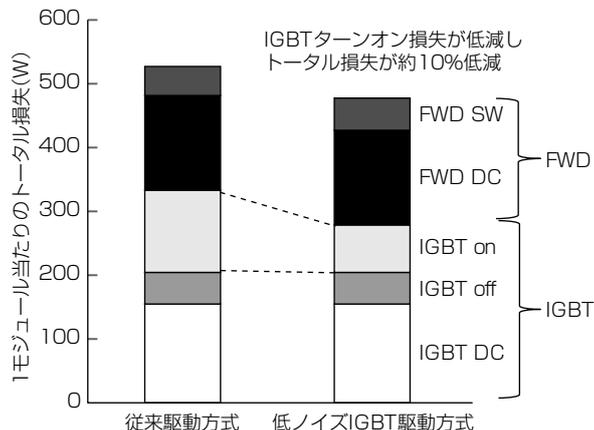


図6. EMIノイズの比較



【低電流域】定常運転モード条件($T_j=125^{\circ}\text{C}$)
電源電圧 $V_{cc}=300\text{V}$, $f_c=10\text{kHz}$, $I_o=30\text{Arms}$, 力率: 0.8,
変調率: 0.8

図7. 低電流域の発生損失シミュレーション比較



【大電流域(定格電流)】ロックモード条件($T_j=125^{\circ}\text{C}$)
電源電圧 $V_{cc}=300\text{V}$, $f_c=10\text{kHz}$, $I_o=100\text{A}$, Duty: 0.5

図8. 大電流域の発生損失シミュレーション比較

出すように設計を最適化している。

パワーモジュール主配線回路のチップは固定として、従来駆動方式とG1シリーズIPMに採用した低ノイズIGBT駆動回路方式の制御基板をそれぞれ搭載したサンプルでEMIノイズ試験を実施した結果を図6に示す。全ての周波数領域でEMIノイズはほぼ同等の値を示している。こ

のサンプルの低電流運転時(定常運転モード)と大電流運転時(ロック運転モード)での発生損失シミュレーション結果をそれぞれ図7, 図8に示す。低電流域では1モジュール当たりの発生損失がほぼ同等であるが、大電流域ではこの低ノイズIGBT駆動方式の方が発生損失が低減している。損失低減の大きな要因は、図5で示したとおりスイッチングスピードの切替えによって大電流領域でのIGBTチップのターンオン損失が低減し、トータル損失が約10%改善していることである。この機能を搭載することでEMIノイズを従来駆動方式と合わせた場合、スイッチング切替えポイント以上の電流領域では損失を低減することができ、特にモーターロックモードなど過酷な条件での発生損失低減につながる。

4.2 エラー識別機能

IPMでは異常動作時(素子温度増加, 大電流発生等)にIGBTをオフするための保護回路を持っている。G1シリーズIPMでは従来の保護機能(過熱保護(OT), 制御電源電圧低下保護(UV), 短絡保護(SC))のエラー出力機能に対してエラー識別機能を追加した。各種保護機能に対してエラー出力時間(F_o)を設定しており、規定の F_o 時間でパルス出力される。ユーザーで F_o 時間を検知することでエラーの内容を把握することが可能となる。

5. むすび

G1シリーズIPMの新規要素を中心に製品特性に関して述べた。このIPMはL1シリーズIPMからパッケージを狭幅・小型化したことで基板実装面積をB-pkgeで25%, C-pkgeで31%を削減し、インバータ機器の小型化と軽量化に貢献する。G1シリーズA-pkgeは主端子仕様としてはんだピンタイプ, ねじタイプをラインアップしており、ユーザー要求仕様に依じて選択可能である。また、A-pkge, B-pkgeは主端子高さを統一しているためユーザー側の主配線高さをそろえることができ、ユーザーでの組立性を考慮した外形仕様となっている。また、機能としては低ノイズIGBT駆動回路を搭載することによって過負荷領域での損失低減を実現した。

G1シリーズIPMは主端子の選択性を含む外形の最適化、ラインアップの充実化によって、ユーザーが使いやすいモジュールとしており、特性面でも従来IPMから向上しているため、幅広い市場での要求に対応することが可能と考える。

参考文献

- (1) Ohara, K., et al.: A New IGBT Module with Insulated Metal Baseplate(IMB) and 7th Generation Chips, PCIM Europe 2015, 1145~1148 (2015)