

車載用超小型“DIIPM”

秦 浩公*
池田直輝*

Super Mini "DIIPM" for Automobile

Hiroyuki Hata, Naoki Ikeda

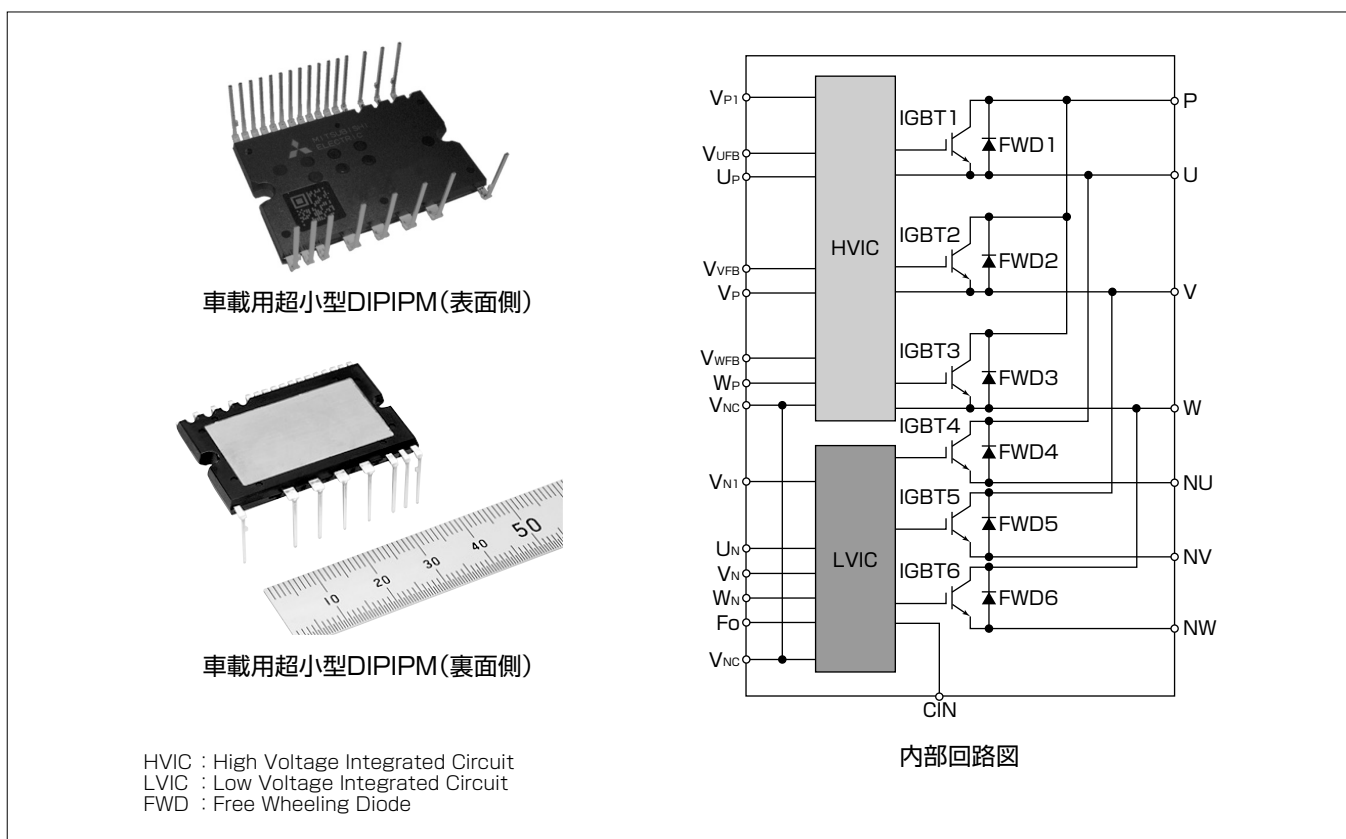
要 旨⁽¹⁾⁽²⁾

近年、世界的な地球環境保護への意識の高まりの中で、省エネルギー化がより一層重要視され始めた。温暖化対策の一つとして、電気自動車(Electric Vehicle : EV)、ハイブリッド車(Hybrid Electric Vehicle : HEV)等の環境対応車の普及が急速に進んでおり、ここで採用される半導体モジュールが重要部品となっている。三菱電機は1997年から“DIIPM”を製品化し、エアコン、洗濯機、冷蔵庫などの白物家電や、産業用モータのインバータ駆動に採用されてきた。ここで培った技術を駆使して、2008年から電動カーエアコン用インバータユニット向けに車載用小型DIIPMの量産を開始し、市場へ展開している。

近年のEV、HEV市場の発展は目覚ましく、電動カー

エアコン用インバータユニット向けの主要部品であるDIIPMについても、小型化、省エネルギー化及び性能改善がますます求められている。

このような市場要求に対応するため、当社では車載用超小型DIIPMを開発し、2015年2月から量産を開始した。このシリーズは、当社独自のパッケージ技術によって従来の車載用小型DIIPMに対して、体積比率を65%低減することでシステムの小型化を可能にし、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)発生損失の低減によって省エネルギー化を実現することでインバータシステム設計の自由度を向上させた。



車載用超小型“DIIPM”の外観及び内部回路図

車載用超小型DIIPMはIGBT×6素子、FWD×6素子によるインバータ回路と、それを駆動するHVICとLVICによって構成している。製品ラインアップは600V/30Aの1品種である。

1. ま え が き⁽¹⁾ (2)

当社は1997年からDIIPMを製品化し、エアコン、洗濯機、冷蔵庫などの白物家電や産業用モータのインバータ駆動に多数採用されてきた。ここで培った技術を駆使して、2008年からは、車載用として小型DIIPMを製品化し、電動カーエアコン向けインバータユニットの小型化、省エネルギー化に貢献してきた。

近年、世界的に地球環境保護活動への意識が高まり、小型化、省エネルギー化がより一段と重要視されている。

このような市場要求に対応するため、従来の小型DIIPMに対して、体積比65%削減して小型化を図り、これに加えてIGBT最適化による損失低減を実現した車載用超小型DIIPMを開発した。

本稿では、車載用超小型DIIPMの概要、特長などについて述べる。

2. 車載用超小型DIIPMの概要⁽¹⁾

内部回路は三相AC出力インバータ構成のパワー回路部と制御用HVIC及びLVICから構成される。図1に内部回路図、図2に車載用超小型DIIPMの外観、表1に車載用超小型DIIPMの仕様をそれぞれ示す。

2.1 パワー回路部

IGBT(6素子)及びFWD(6素子)による三相AC出力インバータ回路を構成している。

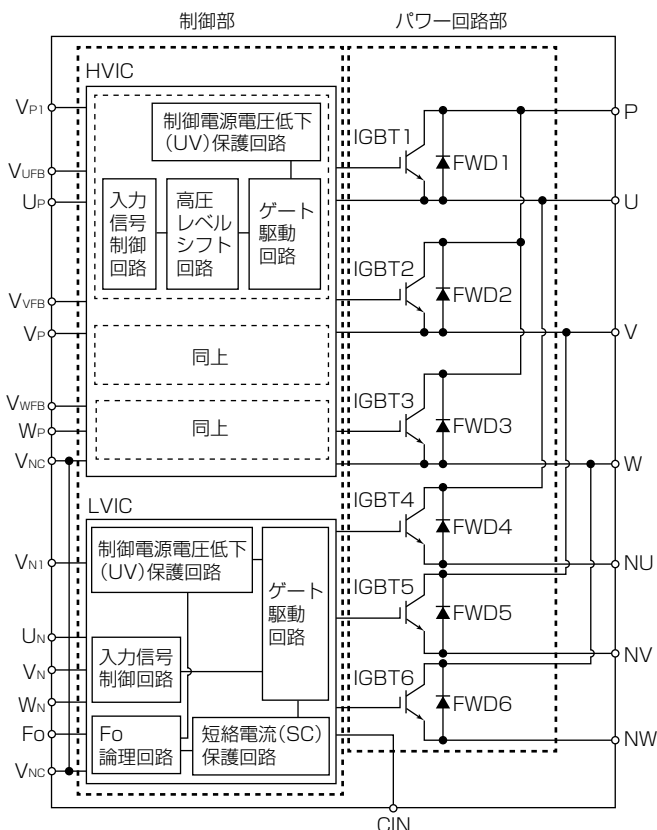


図1. 内部回路図

2.2 制御部

(1) HVIC(1素子)

P側IGBT用駆動回路、高圧レベルシフト回路、制御電源電圧低下保護(UV, Fo出力なし)回路を内蔵する。UV(Under Voltage)トリップレベルを超えれば当該相のIGBTゲートを遮断する。ブートストラップ回路方式の採用によって、15V単一電源駆動が可能になる。

(2) LVIC(1素子)

N側IGBT用駆動回路、制御電源電圧低下(UV)保護回路、短絡電流(SC)保護回路を内蔵する。UVトリップレベルを超えれば当該相のIGBTゲートを遮断するとともに外部へエラー信号(Fo)を出力する。

短絡電流保護回路は、外部接続シャント抵抗で過電流を検出し、SC(Short Circuit)レベルを超えれば当該相の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。

3. 車載用超小型DIIPMの特長⁽³⁾

3.1 小型化

図3に車載製品のパッケージサイズの比較を示す。システム基板の搭載スペース小容量化のためにパワーモジュールには小型化が求められる。車載用超小型DIIPMでは、従来の小型DIIPMに対して、①ICパッド部からIGBTゲートへのダイレクトワイヤボンド、②ハイサイドHVICのVS端子と出力端子の共通化を適用したことによって、パッケージ体積比の65%削減を実現した。

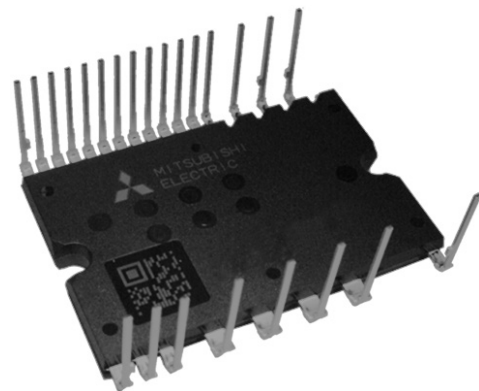


図2. 車載用超小型DIIPM(PS21997-J)

表1. 車載用超小型DIIPMの仕様

形名	PS21997-J
定格	30A/600V
外形サイズ	24.0×38.0×3.5(mm)
内蔵チップ	三相インバータを構成するIGBT, FWDi, HVIC, LVICの各チップ
内蔵機能	制御電源電圧低下保護(UV)→N側保護動作時Fo出力 短絡保護(SC)(外付けシャント抵抗)→保護動作時Fo出力
その他	インバータN側分割エミッタ(3シャント)方式

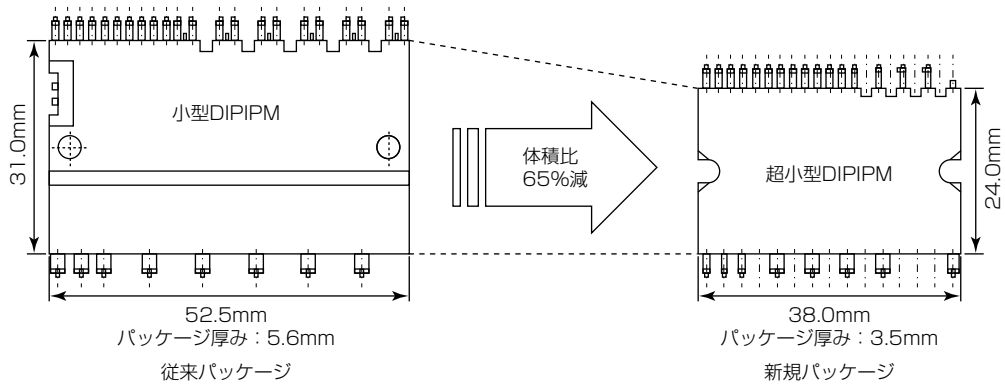


図3. パッケージサイズの比較

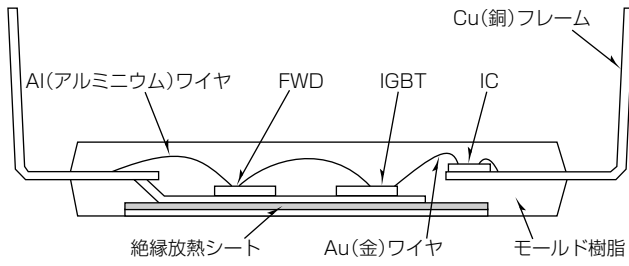


図4. 車載用超小型DIIPMの断面構造図

3.2 熱抵抗

図4に車載用超小型DIIPMの断面構造を示す。現行製品と同様に絶縁放熱シート構造を採用することによって低熱抵抗化を図っている。小型化を図りながら、IGBT熱抵抗 $R_{th(j-c)} = 2.1^\circ\text{C}/\text{W}$ 、FWD熱抵抗 $R_{th(j-c)} = 3.0^\circ\text{C}/\text{W}$ を実現した。

3.3 通電能力

図5にはこの品種のターゲットとしている出力電流-IGBTチップの温度上昇特性を示す。低熱抵抗化によって小型化を実現したパッケージサイズで出力実効電流 15Arms ($T_j = 125^\circ\text{C}$, $f_c = 5\text{kHz}$) と 10Arms ($T_j = 125^\circ\text{C}$, $f_c = 15\text{kHz}$) の通電能力を実現した。

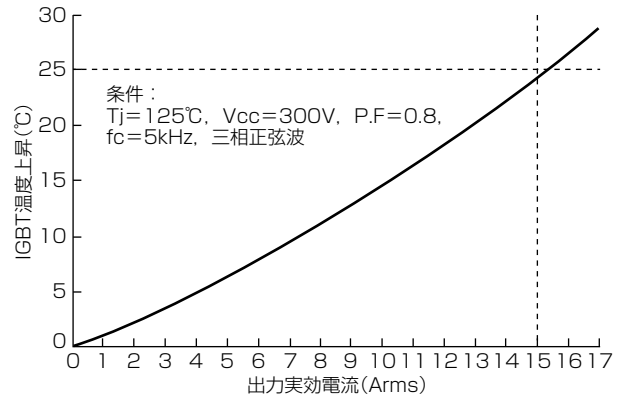
3.4 パワーサイクル寿命

車載用途では、高温で使用される頻度が高く、パワーサイクル寿命も $\Delta T_j = 120^\circ\text{C}$ など高温状態を想定した条件で確認している。DIIPMはパワーチップとアルミワイヤをモールド樹脂で封止しており、シリコンパワーチップとワイヤの線膨張係数差によって接合界面近傍に生じる応力を抑制している。図6にパワーサイクル寿命を示す。 $\Delta T_j = 100^\circ\text{C}$ で約7,000サイクルの寿命を示している(故障率1.0%代表例 $N = 3$)。

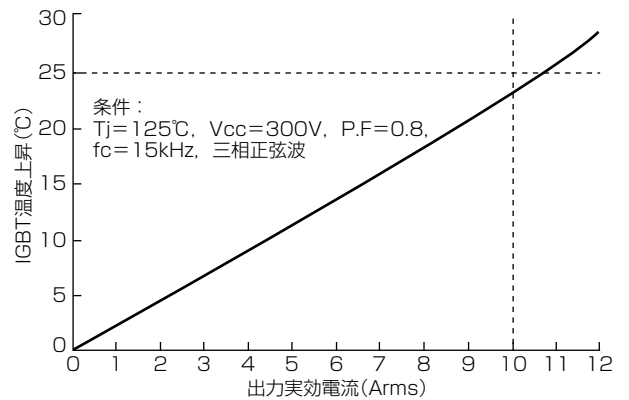
3.5 電気的特性

表2に車載用超小型DIIPM“PS21997-J”の電気的特性を示す。

また、図7にはこの品種のターゲットとしている出力電流-IGBT 1素子あたりの発生損失を示す。車載用超小型



(a) 出力電流15Armsの通電能力



(b) 出力電流10Armsの通電能力

図5. 車載用超小型DIIPMのIGBT温度上昇特性

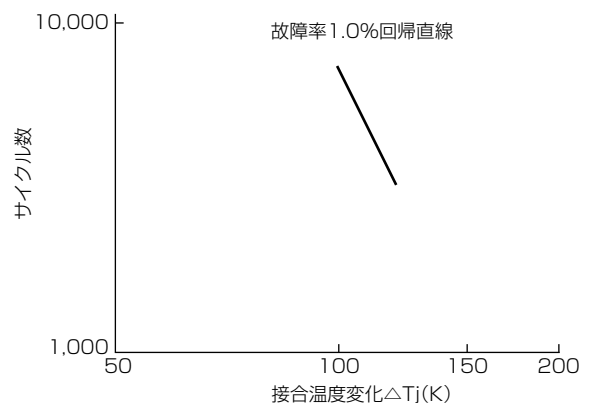


図6. パワーサイクル寿命

表2. 車載用超小型DIPIPM (PS21997-J)の電気的特性

項目	記号	条件	最小	標準	最大	単位	
コレクタ・エミッタ間飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	$V_D = V_{DB} = 15V, V_{IN} = 5V, I_C = 30A, T_j = 25^\circ C$	-	1.90	2.50	V	
FWD順電圧降下	V_{EC}	$-I_C = 30A, V_{IN} = 0V, T_j = 25^\circ C$	-	1.70	2.20	V	
スイッチング時間	t_{on}	$V_{DD} = 300V, V_D = V_{DB} = 15V$ $I_C = 30A, T_j = 25^\circ C$ $V_{IN} = 0 \sim 5V$ 誘導負荷	0.70	1.40	2.10	μs	
	t_{rr}		-	0.20	-		
	$t_{c(on)}$		-	0.40	0.70		
	t_{off}		-	1.60	2.40		
	$t_{c(off)}$		-	0.20	0.70		
コレクタ・エミッタ間遮断電流	I_{CES}	$V_{CE} = V_{CES}, T_j = 25^\circ C$	-	-	1.00	mA	
回路電流	I_D	$V_D = V_{DB} = 15V,$ $V_{IN} = 5V, T_j = 25^\circ C$	$V_{P1} - V_{NC}, V_{N1} - V_{NC}$ の総和	-	-	2.8	mA
			$V_{UFB} - U, V_{VFB} - V, V_{WFB} - W$	-	-	0.55	
		$V_D = V_{DB} = 15V,$ $V_{IN} = 0V, T_j = 25^\circ C$	$V_{P1} - V_{NC}, V_{N1} - V_{NC}$ の総和	-	-	2.8	
			$V_{UFB} - U, V_{VFB} - V, V_{WFB} - W$	-	-	0.55	
短絡電流トリップレベル	$V_{SC(ref)}$	$V_D = 15V, T_j = 25^\circ C$	0.43	0.48	0.53	V	
制御電源電圧低下保護	UV_{DBt}	$T_j = 125^\circ C$	トリップレベル	7.0	-	12.0	V
	UV_{DBr}		リセットレベル	7.0	-	12.0	
	UV_{Dt}		トリップレベル	10.3	-	12.5	
	UV_{Dr}		リセットレベル	10.8	-	13.0	

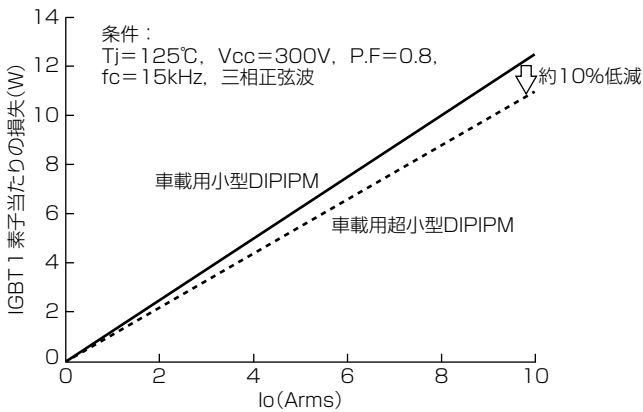


図7. 車載用小型DIPIPMと車載用超小型DIPIPMのIGBT 1素子当たりの損失 (30A品)

DIPIPMは、損失改善を目指してIGBT最適化を図っており、現行の小型DIPIPMに対して $I_o = 10Arms$ 時のIGBT 1素子あたりに発生する損失を約10%低減した。

3.6 トレーサビリティ

車載製品では、市場不具合等の品質問題が発生したときに波及性の判断が必要となる。該当する製品は、製造履歴を含めてテストデータ等の情報提示について迅速な対応が求められる。この要求に対応するため、この製品は、製品

ごとにロットNo、二次元コードを印字しており、これらの情報を基に製造日時、材料ロット及びテストデータなどへの追跡を可能にしている。

4. むすび⁽¹⁾⁽²⁾

今回開発・製品化した車載用超小型DIPIPMの機能、特長等について述べた。この製品は、小型化、高性能を実現した製品であり、電動カーエアコン向けインバータの発展に寄与できるものと考えられる。今後も市場ニーズに対応した製品を開発し、車載市場の発展に貢献していく。

参考文献

- (1) 加藤正博, ほか: 超小型DIPIPM“Ver.6シリーズ”, 三菱電機技報, **88**, No.5, 285~288 (2014)
- (2) 石原三紀夫, ほか: 次世代自動車用パワー半導体モジュール“J1シリーズ”, 三菱電機技報, **88**, No.5, 321~324 (2014)
- (3) 吉松直樹, ほか: 自動車用パワー半導体モジュール“J1シリーズ”のパッケージ技術, 三菱電機技報, **88**, No.5, 317~320 (2014)