

## RC-IGBT搭載パワーモジュール “SLIMDIPシリーズ”

柴田祥吾\*  
張 洪波\*

"SLIMDIP Series" Power Module Using RC-IGBT

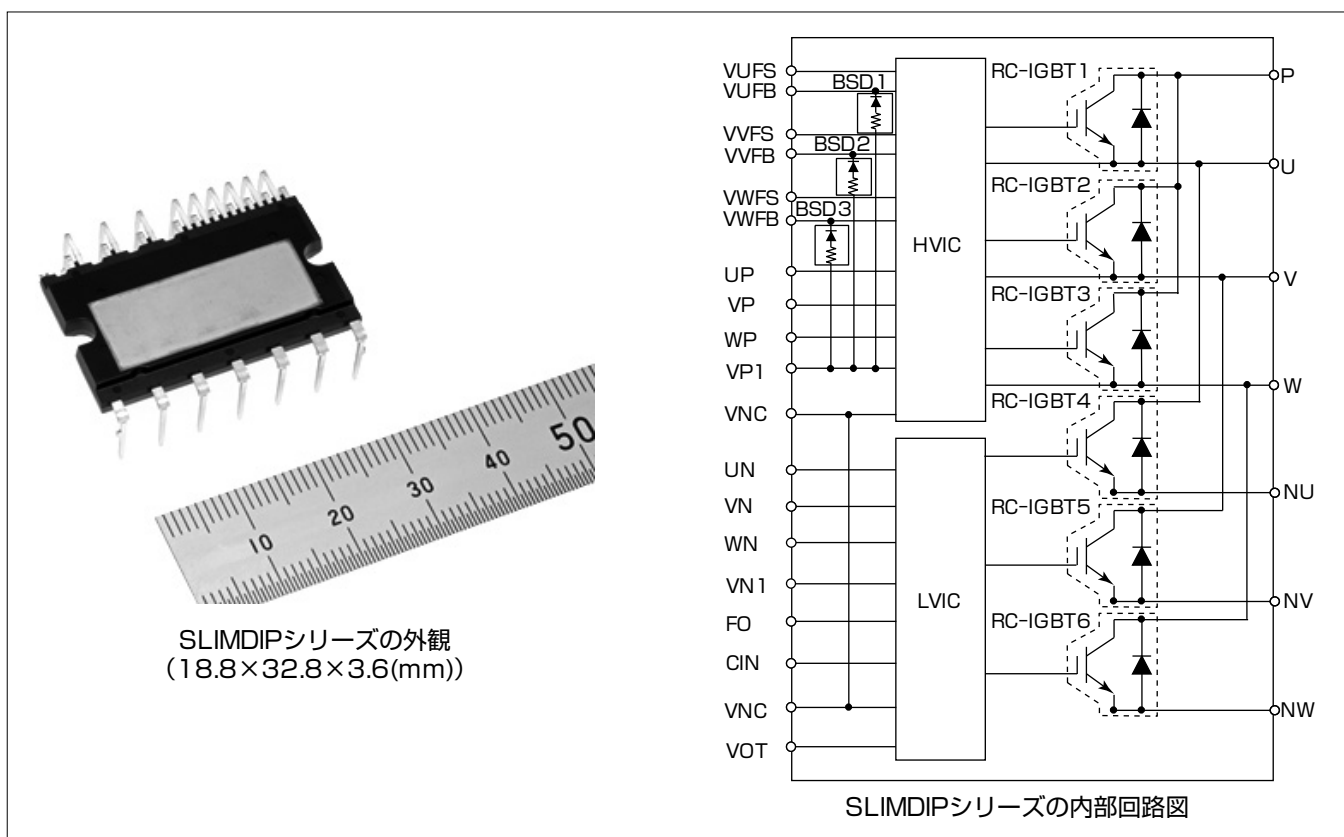
Shogo Shibata, Hongbo Zhang

### 要 旨

環境保護と節電への意識が高まり、省エネルギー化がより一層重要視されている中、一般家庭での消費電力が高いエアコン、洗濯機、冷蔵庫などの白物家電でも省エネルギー化が求められている。これらの省エネルギー化のキーとなるのがインバータシステムであり、搭載されるパワーモジュールもその中核を担う。

三菱電機は、パワーチップとそれを駆動するICチップを内蔵したトランスファーモールド構造の“DIIPM(Dual In-line Package Intelligent Power Module)”を1997年から製品化しており、1パッケージ化による品質向上及びインバータシステムの設計負荷軽減に貢献してきた。DIIPM

はこれまでアジア市場を中心に白物家電を始め多くのインバータ機器に採用されてきたが、欧米の低容量市場では価格面のメリット等から現在もディスクリート構成が広く用いられている。今回、このような市場にも対応可能な製品として“SLIMDIPシリーズ”を開発した。このシリーズは当社独自の第7世代IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)の薄厚ウェーハ技術を適用したRC(Reverse Conducting)-IGBTの搭載によって、パッケージサイズを従来の“超小型DIIPM Ver.6”から30%縮小させるとともに、配線しやすい端子配列とすることで、システムの小型化及びコスト削減に大きく貢献する。



### “SLIMDIPシリーズ”の外観及び内部回路図

SLIMDIPシリーズはRC-IGBT×6素子によるインバータ回路と、それを駆動するHVIC(High Voltage Integrated Circuit)、LVIC(Low Voltage Integrated Circuit)及びBSD(Boot Strap Diode)×3素子によって構成している。

## 1. ま え が き

当社は業界に先駆けてDIPIPMを製品化した以降も、市場要求の変化に対応した製品を次々と開発、量産化してきました。2010年に空調機器業界に新たな省エネルギー基準として導入されたAPF(Annual Performance Factor：通年エネルギー消費効率)の観点に対しても、2013年に当社独自の第7世代IGBTを内蔵した超小型DIPIPM Ver.6シリーズを製品化し<sup>(1)(2)</sup>、通電能力の拡大及び低電流域(定格電流の10分の1程度)の飽和電圧を15%低減することでインバータシステムの小型化、省エネルギー化に貢献している。

近年、環境保護と節電への意識が高まる中、システムの設計負荷を軽減可能なパワーモジュールは、幅広い分野のインバータシステムに普及しているが、欧米の低容量市場では基板の占有面積や価格面のメリットから現在もディスクリット構成が広く用いられる。また、新興国市場でもインバータ化が進む中、システムコスト低減が課題となっている。

本稿では、このような市場に対応して小型化、低コスト化を実現しつつ、設計負荷の軽減を目的として開発したSLIMDIPシリーズ<sup>(3)</sup>の概要、特長及び開発のベースとなったキーテクノロジーについて述べる。

## 2. SLIMDIPシリーズの概要

SLIMDIPシリーズはRC-IGBTを用いた三相AC出力インバータ回路と制御用HVIC、LVIC及びBSDから構成される。表1にラインアップを、図1に内部回路図をそれぞれ示す。

### 2.1 パワー部

IGBTとダイオードを1チップ化したRC-IGBT(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。

### 2.2 制御部

HVIC(1素子)にはP側IGBT用駆動回路、高圧レベルシフト回路、フローティング電源電圧低下保護回路(UV、エラー信号(Fo)出力なし)を内蔵している。また、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である。

LVIC(1素子)にはN側IGBT用駆動回路、制御電源電圧低下保護回路(UV)、短絡電流保護回路(SC)に加え、過熱保護回路(OT)及びアナログ温度出力回路(VOT)を内蔵している。短絡電流保護は、外部接続のシャント抵抗で過電流を検出し、LVICにフィードバックしてIGBTを遮断させる。UV、SC及びOTの動作時にFoを出力する。

ブートストラップ回路にはダイオード(電流制限抵抗付きBSD、3素子)を内蔵している。これによって外付け部品が不要となるため、基板の小型化につながる。

表1. SLIMDIPシリーズのラインアップ

形名	SLIMDIP-S	SLIMDIP-L
用途	冷蔵庫、ファンなど	エアコン、洗濯機など
外形サイズ	18.8×32.8×3.6(mm)	
内蔵チップ	三相インバータを構成するRC-IGBTチップ、HVICチップ、LVICチップ、制限抵抗付きBSDチップ	
内蔵機能	制御電源電圧低下(UV)保護機能：N側保護動作時Fo出力、短絡電流(SC)保護機能(外付けシャント抵抗による)：保護動作時Fo出力、過熱(OT)保護機能(N側のみ)：保護動作時Fo出力、アナログ温度出力機能(VOT)	
その他	インバータN側分割エミッタ(3シャント)方式	

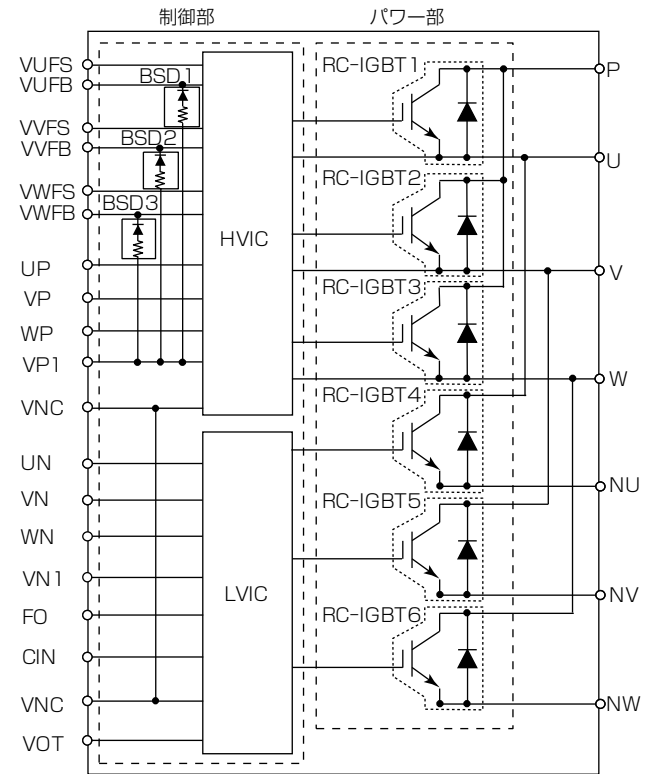


図1. 内部回路図

## 3. SLIMDIPの特長

### 3.1 薄厚技術を用いたRC-IGBT搭載

SLIMDIPでは、基板占有面積の縮小及びコスト低減を目的にパッケージサイズの小型化を追求するため、キーアイテムとしてRC-IGBTを適用した。このRC-IGBTには当社独自の第7世代IGBTの技術を用いて、図2に示すとおり従来のRC-IGBTと比較して極薄ウェーハ化を実現した。これによって、電気特性でも図3のようにコレクターエミッタ間飽和電圧( $V_{CEsat}$ )は従来のRC-IGBTに対して同一チップサイズで50%の低減を可能とし、パッケージサイズの小型化に大きく貢献した。

### 3.2 パッケージサイズの縮小

先に述べたRC-IGBTを適用して搭載するパワーチップ数を従来の超小型DIPIPMの12チップから6チップへと半減することで、チップ搭載エリアを縮小し、図4のように内部構造をシンプルにした。この結果、図5に示すパッケージサイズは従来品と比較して30%小型化した。

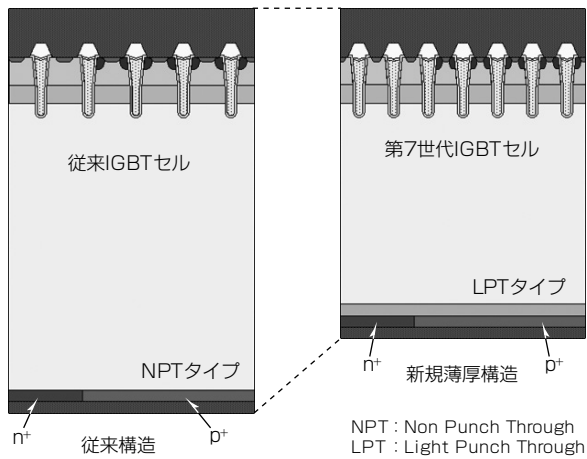


図2. RC-IGBT構造

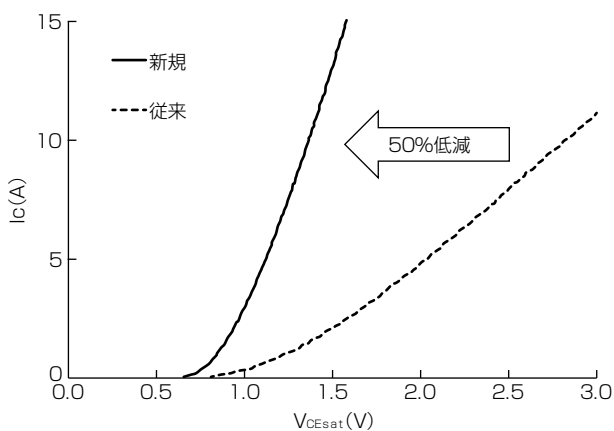


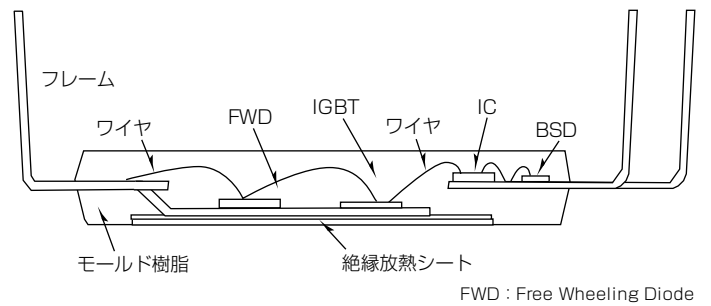
図3. コレクタ電流 $I_c$ -コレクタ・エミッタ間飽和電圧 $V_{CEsat}$ 特性

### 3.3 システム基板の配線簡素化

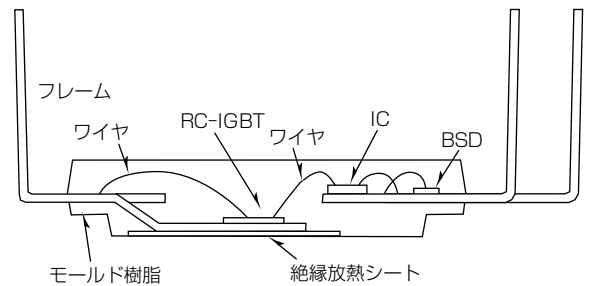
SLIMDIPではパッケージサイズの縮小に加え、システム基板上の配線パターンの簡素化も実現している。DIPIPMのP側IGBTを駆動させるために用いるブートストラップ回路には、電源電圧を安定させるため、外部にコンデンサを接続する必要がある。従来の超小型DIPIPMの端子配列では、このコンデンサは図6のように出力端子(U, V, W)とp側駆動電源端子(VUFB, VVFB, VWFB)間での引き回しが必要のため基板のパターンが複雑となり、余分な基板エリアが必要となっていた。そこで、SLIMDIPではP側駆動電源のGND(Ground)端子を新たに3本設けることで、長い配線パターンを基板上に引き回す必要をなくし、基板設計の簡素化、基板エリアの縮小に貢献した。

### 3.4 使いやすさの向上

SLIMDIPシリーズではシステムでの使いやすさの向上もコンセプトの1つとしており、ユーザーの保護設計、放熱設計、実装性の面で改良を加えている。保護設計については、従来の超小型DIPIPMはIGBTの過大な温度上昇時に自動的に保護する過熱保護機能(OT)と、制御IC部の温度をアナログ信号で出力する温度出力機能(VOT)のどちらかを選択する必要があったが、このシリーズでは両機能の

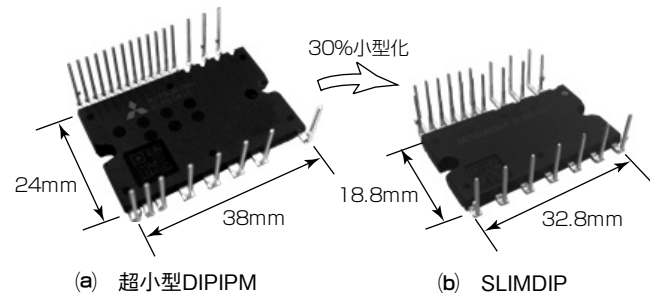


(a) 超小型DIPIPM



(b) SLIMDIP

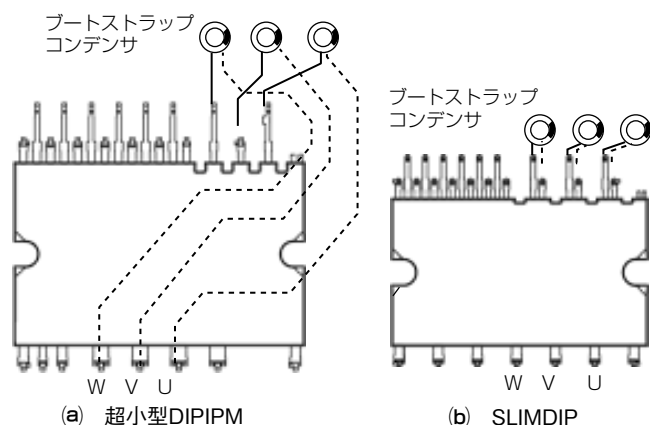
図4. 内部構造図



(a) 超小型DIPIPM

(b) SLIMDIP

図5. パッケージサイズ



(a) 超小型DIPIPM

(b) SLIMDIP

図6. 配線パターン例

搭載によって熱に対する保護設計の自由度向上に貢献する。また、放熱設計については最大許容ケース温度も15℃拡大して115℃までとすることで、設計の自由度を向上させた。

実装面では端子先端を先細りしたテーパ状にすることで基板のスルーホールへの挿入性を向上させた。

表2. SLIMDIP-Lの電気的特性

項目	記号	条件	Min.	Typ.	Max.	単位	
コレクター-エミッタ間飽和電圧	V <sub>CEsat</sub>	V <sub>D</sub> = V <sub>DB</sub> = 15V T <sub>j</sub> = 25°C	-	1.6	1.95	V	
		I <sub>C</sub> = 15A, V <sub>IN</sub> = 5V T <sub>j</sub> = 125°C	-	1.80	2.15		
FWD順電圧降下	V <sub>EC</sub>	-I <sub>C</sub> = 15A, V <sub>IN</sub> = 0V	-	1.4	1.9	V	
スイッチング時間	t <sub>on</sub>	V <sub>CC</sub> = 300V, V <sub>D</sub> = V <sub>DB</sub> = 15V, I <sub>C</sub> = 15A, T <sub>j</sub> = 125°C, V <sub>IN</sub> = 0~5V, 誘導負荷	0.65	1.05	1.45	μs	
	t <sub>rr</sub>		-	0.30	-		
	t <sub>c(on)</sub>		-	0.40	0.65		
	t <sub>off</sub>		-	1.15	1.60		
	t <sub>c(off)</sub>		-	0.15	0.30		
回路電流	I <sub>D</sub>	V <sub>P1</sub> -V <sub>NC</sub> , V <sub>N1</sub> -V <sub>NC</sub> の総和	V <sub>D</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 5V	-	-	3.10	mA
		V <sub>D</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V	-	-	3.10		
	I <sub>DB</sub>	V <sub>UFB-U</sub> , V <sub>VFB-V</sub> , V <sub>WFB-W</sub>	V <sub>D</sub> = V <sub>DB</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V	-	-	0.10	
		V <sub>D</sub> = V <sub>DB</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 5V	-	-	0.10		
短絡保護トリップレベル	V <sub>SC(ref)</sub>	V <sub>D</sub> = 15V	0.455	0.480	0.505	V	
制御電源電圧低下保護	UV <sub>DBt</sub>	T <sub>j</sub> ≤ 125°C	トリップレベル	7.0	10.0	12.0	V
	UV <sub>DBr</sub>		リセットレベル	7.0	10.0	12.0	
	UV <sub>Dt</sub>		トリップレベル	10.3	-	12.5	
	UV <sub>Drr</sub>		リセットレベル	10.8	-	13.0	
BSD順電圧降下	V <sub>F</sub>	I <sub>F</sub> = 10mA, 制限抵抗の電圧降下含む	1.1	1.7	2.3	V	

#### 4. SLIMDIPシリーズの性能, 特性

SLIMDIPシリーズのうち、主にエアコンや洗濯機市場向け1.5kWクラスのモーター駆動用として開発した“SLIMDIP-L”の電気的特性を表2に示す。LVICに内蔵している短絡電流保護機能では、超小型DIIPM Ver.6と同様なトリミング回路による特性補正を実施しているため、短絡電流保護検知電圧のばらつきを±5%に抑制することでインバータの過負荷運転範囲の拡大に貢献する。

また、図7にRC-IGBTの温度上昇特性を示す。第7世代IGBT技術を用いたRC-IGBTを適用することで、従来品より30%小型化したパッケージサイズを実現しつつ、“SLIMDIP-S”で4 Arms以上、SLIMDIP-Lでは7 Arms以上の通電能力を持つ。

#### 5. むすび

インバータシステムの小型化を実現するための、従来の超小型DIIPMに対してパッケージサイズを30%縮小したSLIMDIPシリーズについて述べた。今後も幅広い市場ニーズに応えられる製品開発を続けていくことで、インバータシステムの発展に貢献していく。

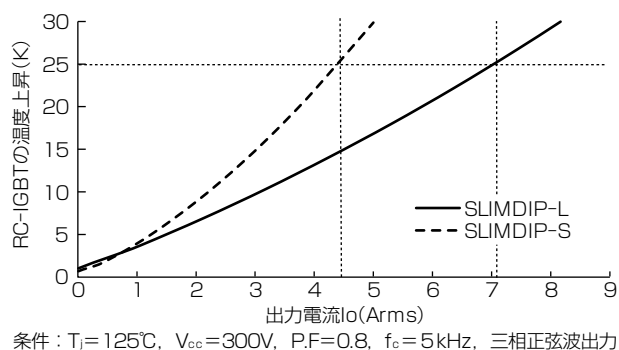


図7. RC-IGBTの温度上昇

#### 参考文献

- (1) 加藤正博, ほか: 超小型DIIPM“Ver.6シリーズ”, 三菱電機技報, **88**, No.5, 285~288 (2014)
- (2) 鈴木健司, ほか: 高性能・高破壊耐量第7世代パワーチップ技術, 三菱電機技報, **88**, No.5, 281~284 (2014)
- (3) Shibata, S., et al.: New Transfer-Molded SLIMDIP for white goods using thin RC-IGBT with a CSTBT™ structure, PCIM Europe 2015, 1149~1154 (2015)