

超小型DIIPM “Ver.6シリーズ”

加藤正博*
柴田祥吾*

Super Mini DIIPM "Ver.6 Series"

Masahiro Kato, Shogo Shibata

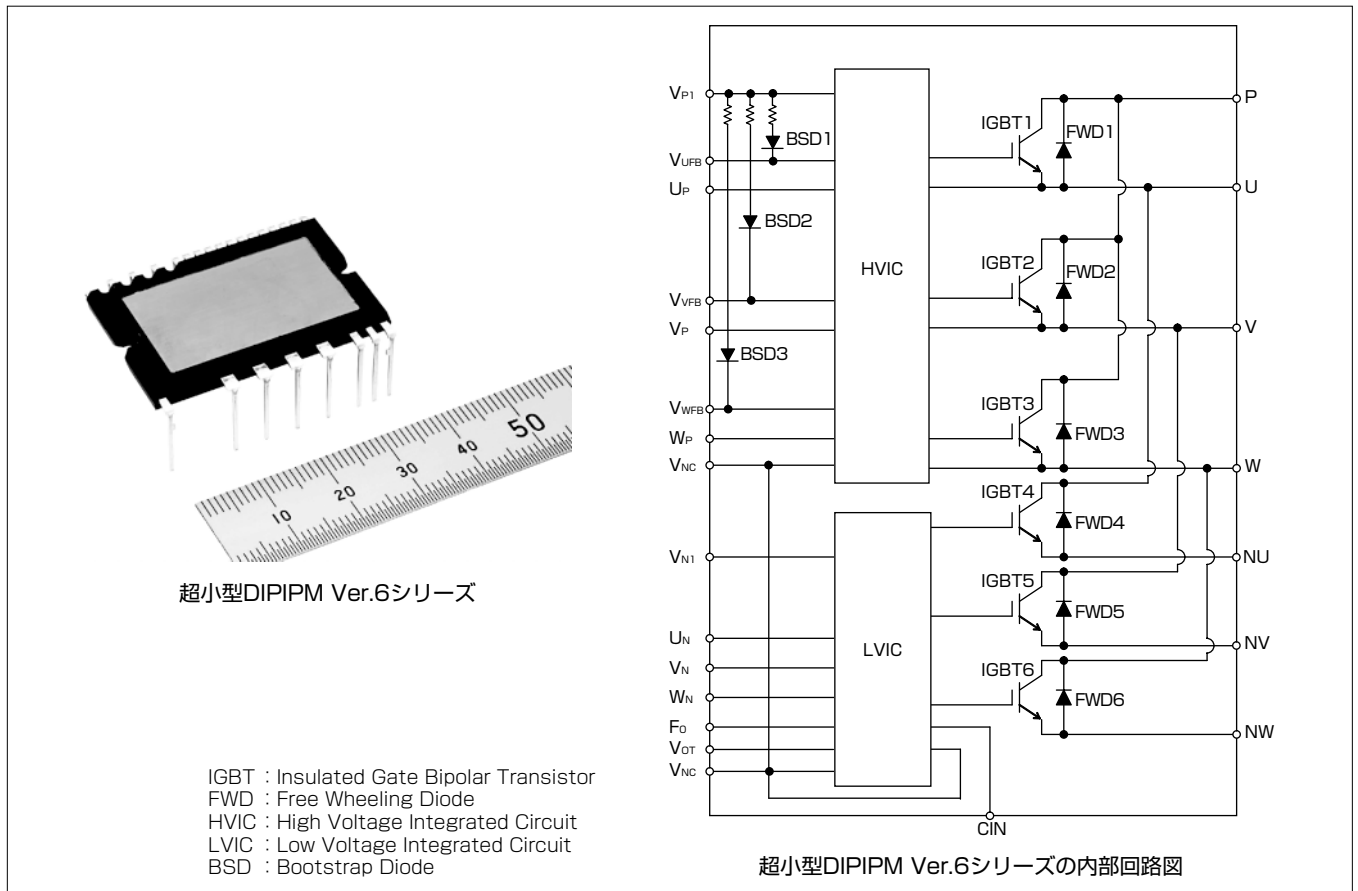
要 旨

三菱電機のDIIPM(Dual In-line Package Intelligent Power Module)はパワーチップとそれを駆動し、かつ保護機能を持つ制御用ICチップを内蔵したトランスファモード構造のIPMである。2004年から第5世代IGBTを搭載した超小型DIIPM“Ver.4シリーズ”, 2011年からは第6世代IGBTを搭載した超小型DIIPM“Ver.5シリーズ”を製品化し、エアコン、洗濯機、冷蔵庫等白物家電機器のインバータユニットの小型化と省エネルギー化に貢献してきた。

近年、世界的な地球環境保護の高まりの中で、省エネルギー化がより一層重要視されはじめた。日本では、2010年以降空調機器業界に新たな省エネルギー基準としてAPF(Annual Performance Factor: 通年エネルギー消費効率)

が導入され、軽負荷時など実際の使用状態に近いエアコンの運転効率が重要視されてきた。

このような市場要求に対応するため、当社では超小型DIIPM“Ver.6シリーズ”を2013年8月から量産している。このシリーズは当社独自の第7世代IGBTを搭載することで、従来の超小型DIIPM Ver.5シリーズに対して、通年での消費電力の大半を占める低電流域の飽和電圧を15%低減するとともに、ターンオフのスイッチング損失を40%低減させて白物家電の低消費電力化に貢献する。また、低温動作範囲の拡大や短絡電流検出精度の向上、瞬時通電範囲の拡大等の性能改善によってインバータシステム設計の自由度を向上させた。



超小型DIIPM“Ver.6シリーズ”の外観と内部回路図

超小型DIIPM Ver.6シリーズは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、LVIC及びBSD×3素子によって構成される。なお、従来の超小型DIIPM Ver.5とパッケージサイズ及びピン配列が同じである。

1. ま え が き

当社は業界に先駆け1997年からDIPIPMを製品化し、エアコン、洗濯機、冷蔵庫等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。

2011年からは、ブートストラップダイオード(BSD)を内蔵した超小型DIPIPM Ver.5シリーズを製品化し、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が重要視され、省エネルギー化の必要性がより一段と高まってきている。2010年以降空調機器業界で、エアコンの定格運転時だけでなく、実際の使用状態に近い軽負荷時の損失が重要視され、この条件での省エネルギー性能を表す新たな省エネルギー基準としてAPFが導入され、その改善が強く求められてきた。

このような市場要求に対応するため、従来の超小型DIPIPM Ver.5シリーズに対して、低電流域の飽和電圧及びターンオフのスイッチング損失の低減によって低消費電力化を可能とした第7世代IGBT搭載の超小型DIPIPM Ver.6シリーズを開発した。

本稿では、超小型DIPIPM Ver.6シリーズの概要、特長、及び開発のベースとなったキーテクノロジー等について述べる。

2. 超小型DIPIPM Ver.6シリーズの概要

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, LVIC及びBSDから構成される。表1に超小型DIPIPM Ver.6シリーズのラインアップを、図1に内部回路図をそれぞれ示す。

2.1 パワー部

IGBT(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。

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、フローティング電源電圧低下保護(UV, Fo出力なし)を内蔵し、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となる。
- (2) LVIC(1素子)：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)又はアナログ温度出力回路(VOT)を内蔵した。短絡電流保護は、外部接続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を遮断する。制御電源電圧低下保護回路動作時、短絡電流保護回路動作時にエラー信号を出力する。

- (3) BSD(3素子)：ブートストラップ回路のダイオード(電流制限抵抗付き)を内蔵した。外付け部品が不要となるため、基板の小型化につながる。また15V単一電源駆動が可能となる。

2.3 内部構造

図2に超小型DIPIPM Ver.6の断面構造を示す。パッケージサイズや端子の配置及び配列は、従来の超小型DIPIPM Ver.5シリーズと同じであるため、超小型DIPIPM Ver.6シリーズへの切替え設計、評価工数を抑えることができる。

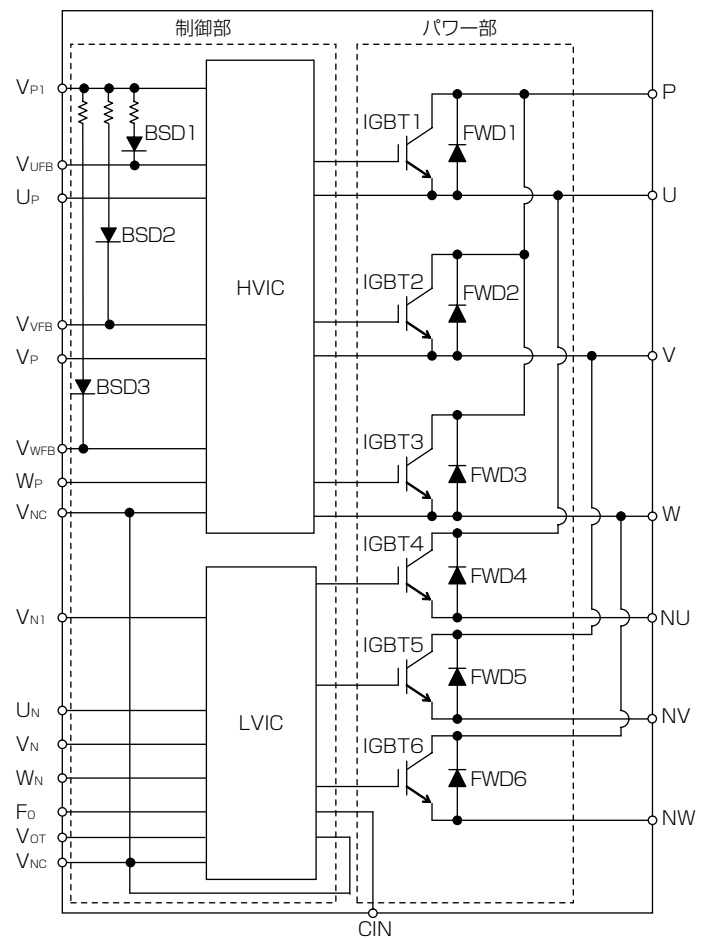


図1. 内部回路図

表1. 超小型DIPIPM Ver.6シリーズのラインアップ

形名	PSS05S92E6/F6	PSS10S92E6/F6	PSS15S92E6/F6	PSS20S92E6/F6	PSS30S92E6/F6	PSS35S92E6/F6
定格	5A/600V	10A/600V	15A/600V	20A/600V	30A/600V	35A/600V
外形サイズ	24.0×38.0×3.5(mm)(超小型DIPIPM Ver.4/Ver.5シリーズと同じ)					
内蔵チップ	三相インバーターを構成するIGBTチップ, FWDチップ, HVICチップ, LVICチップ, 電流制限抵抗付き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(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 過熱保護機能(OT, N側だけ)：PSS□□S92E6だけ アナログ温度出力機能(VOT)：PSS□□S92F6だけ					
その他	インバーター-N側分割エミッタ(3シャント)方式					

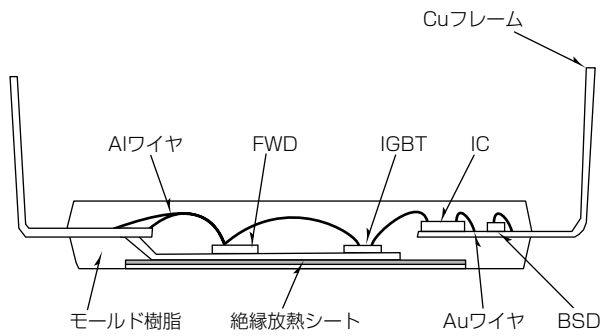


図 2. 断面構造

3. 超小型DIIPM Ver.6 シリーズの特長

3.1 第7世代IGBTのAPF改善

超小型DIIPM Ver.6シリーズでは、従来シリーズよりもIGBT性能を改善した第7世代IGBTを採用している。従来の世代でも当社独自のCSTBT (Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor) 構造を用いることで高い省エネルギー性能を持っていた⁽¹⁾が、第7世代ではAPFで重要なファクタとなる軽負荷時における省エネルギー性能を追求した。図3に示すCSTBT構造のP+層の厚みを大幅に削減するとともに、デバイス構造を最適化することで、低電流域(定格電流の10分の1程度)の飽和電圧を15%低減することができた。

図4に代表例として15A品のコレクタ電流 I_c -飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ 特性比較($T_j = 25^\circ C$)を示す。また、図5に同じく15A品の損失比較を示すが、先に述べた飽和電圧の低減によって軽負荷時を想定した条件で従来のVer.5に対して7%の損失低減を実現した。

さらに、ターンオフのテール電流を最小化することによってスイッチング時に発生する損失を40%低減することができ、エアコンの定格運転の損失低減に大きく貢献する。

3.2 ラインアップの拡張

従来の超小型DIIPM シリーズは、最大定格電流が30Aまでのラインアップであり、その中でもBSD搭載品は最も市場要求の高い5Aから15Aまでとしていた。Ver.6シリーズでは、第7世代IGBTの搭載による単位面積あたりの通電能力拡大で、新たに定格電流35Aタイプをラインアップに加え、さらに5Aから35Aまでの6品種をBSD搭載品として開発した。

3.3 過負荷運転領域の拡大

LVICに内蔵している短絡保護機能で、この製品ではトリミング回路を用いて特性を補正する方式を適用しているため、従来のVer.5に対して短絡保護検知電圧のばらつき抑制を実現($\pm 10 \Rightarrow 5\%$)させた。この検出精度の向上によって、インバータの過負荷運転範囲を10%拡大させることが可能となる。加えて、デバイス構造の最適化を実施した第7世代IGBTの搭載によって、飽和電流を従来保証の定

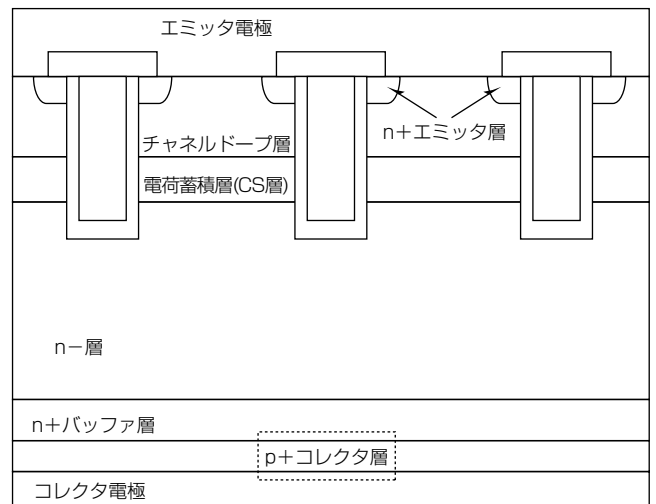


図 3. CSTBT構造

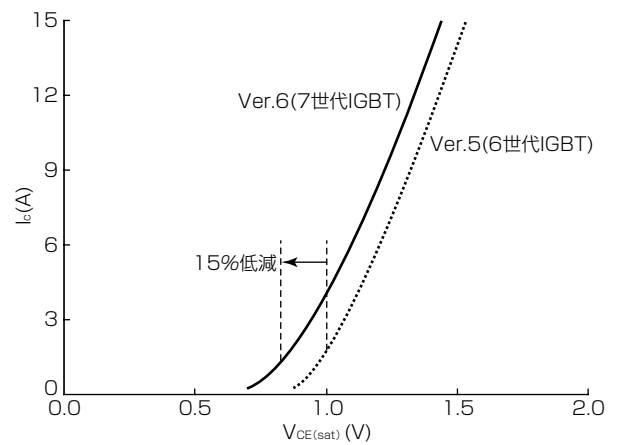


図 4. 超小型DIIPM(15A品)のコレクタ電流 I_c -飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ 特性比較

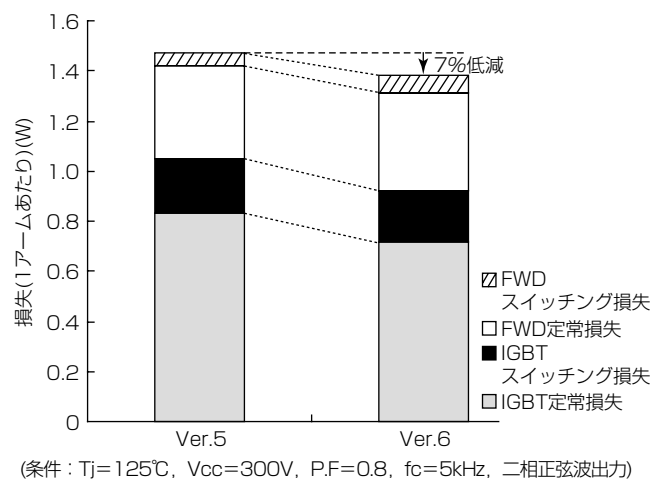


図 5. 超小型DIIPM(15A品)の損失比較

格電流の2倍から3倍へと拡大し、インバータの瞬時通電許容値を拡大することが可能となった。

この2点の改善によって、従来品に対して過負荷運転領域を大幅に拡大することができ、システムでのモータ電流通電可能範囲の増加に寄与できる。

表 2. PSS15S92E6の電氣的製品仕様

項目	記号	条件	最小	標準	最大	単位	
コレクター-エミッタ間飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	$V_D=V_{DB}=15V$ $I_C=15A, V_{IN}=5V$	$T_j=25^\circ C$	-	1.45	1.75	V
			$T_j=125^\circ C$	-	1.60	1.95	
FWD順電圧降下	V_{EC}	$-I_C=15A, V_{IN}=0V$	-	1.70	2.20	V	
スイッチング時間	t_{on}	$V_{CC}=300V, V_D=V_{DB}=15V$ $I_C=15A, T_j=125^\circ C$ $V_{IN}=0\leftrightarrow 5V$ 誘導負荷	0.70	1.10	1.50	μs	
	t_{rr}		-	0.30	-		
	$t_{c(on)}$		-	0.40	0.65		
	t_{off}		-	1.20	1.70		
	$t_{c(off)}$		-	0.15	0.30		
回路電流	I_D	$V_{P1}-V_{NC}, V_{N1}-V_{NC}$ の総和	$V_D=15V, V_{IN}=5V$	-	-	2.80	mA
			$V_D=15V, V_{IN}=0V$	-	-	2.80	
	I_{DB}	$V_{UFB}-U, V_{VFB}-V,$ $V_{WFB}-W$	$V_D=V_{DB}=15V, V_{IN}=0V$	-	-	0.10	
		$V_D=V_{DB}=15V, V_{IN}=5V$	-	-	0.10		
短絡保護トリップレベル	$V_{SC(ref)}$	$V_D=15V$	0.455	0.480	0.505	V	
制御電源電圧低下保護	UV_{DBr}	$T_j \leq 125^\circ C$	トリップレベル	7.0	10.0	12.0	V
	UV_{DBr}		リセットレベル	7.0	10.0	12.0	
	UV_{Dr}		トリップレベル	10.3	-	12.5	
	UV_{Dr}		リセットレベル	10.8	-	13.0	
BSD順電圧降下	V_F	$I_F=10mA$, 内蔵抵抗Rの電圧降下を含む	1.1	1.7	2.3	V	

3.4 特性ばらつき軽減

先に述べたとおり第7世代IGBTはウェーハプロセスの最適化を実施し、飽和電圧のばらつきの要因となる工程を削減した。これによって、従来の飽和電圧のばらつき33%に対して、超小型DIIPM Ver.6シリーズでは約20%まで軽減し、低消費電力化とともに設計自由度の向上にも貢献する。

4. 超小型DIIPM Ver.6シリーズの性能と特性

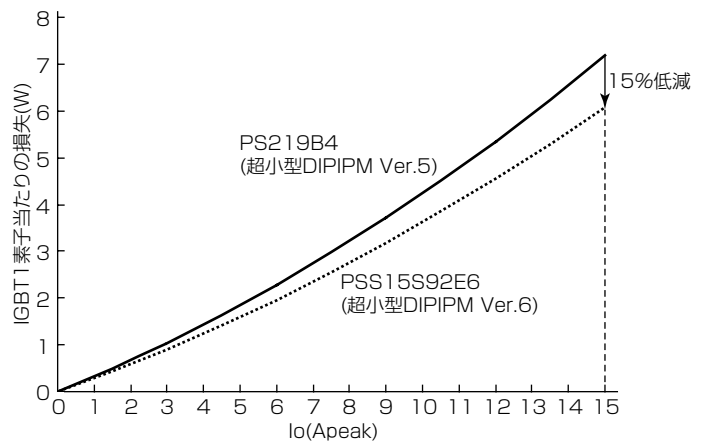
超小型DIIPM Ver.6シリーズの電氣的特性について、表2に代表品種として“PSS15S92E6(15A/600V)”の主な電氣的製品仕様を示す。

また、図6に超小型DIIPM Ver.6 PSS15S92E6(15A/600V)と、同じ定格電流である従来の超小型DIIPM Ver.5 “PS219B4(15A/600V)”のIGBT 1素子当たりの定格運転損失比較を示す。

超小型DIIPM Ver.6シリーズは、従来の超小型DIIPM Ver.5シリーズに対して $I_o=15A_{peak}$ 時におけるIGBT 1素子あたりの損失を約15%低減した。

5. むすび

今回開発・製品化した超小型DIIPM Ver.6シリーズの機能、特長等について述べた。今回開発したキーテクノロジー



(条件: $T_j=125^\circ C, V_{CC}=300V, P.F=0.8, f_c=5kHz$, 二相正弦波出力)

図 6. 超小型DIIPM(15A品)のIGBT 1素子当たりの定格運転損失比較

ジーを展開し、今後も市場ニーズに適した製品を開発していくことで、家電機器や産業機器のインバータ化の拡大、省エネルギー化に貢献していく。

参考文献

- (1) 白水政孝, ほか: 超小型DIIPM“Ver.4新シリーズ”, 三菱電機技報, 84, No.4, 255~258 (2010)