

超小型DIIPM Ver. 7シリーズ

Super Mini DIIPM Ver.7 Series

柴田祥吾*

Shogo Shibata

野口宏一朗*

Koichiro Noguchi

山口公輔*

Kosuke Yamaguchi

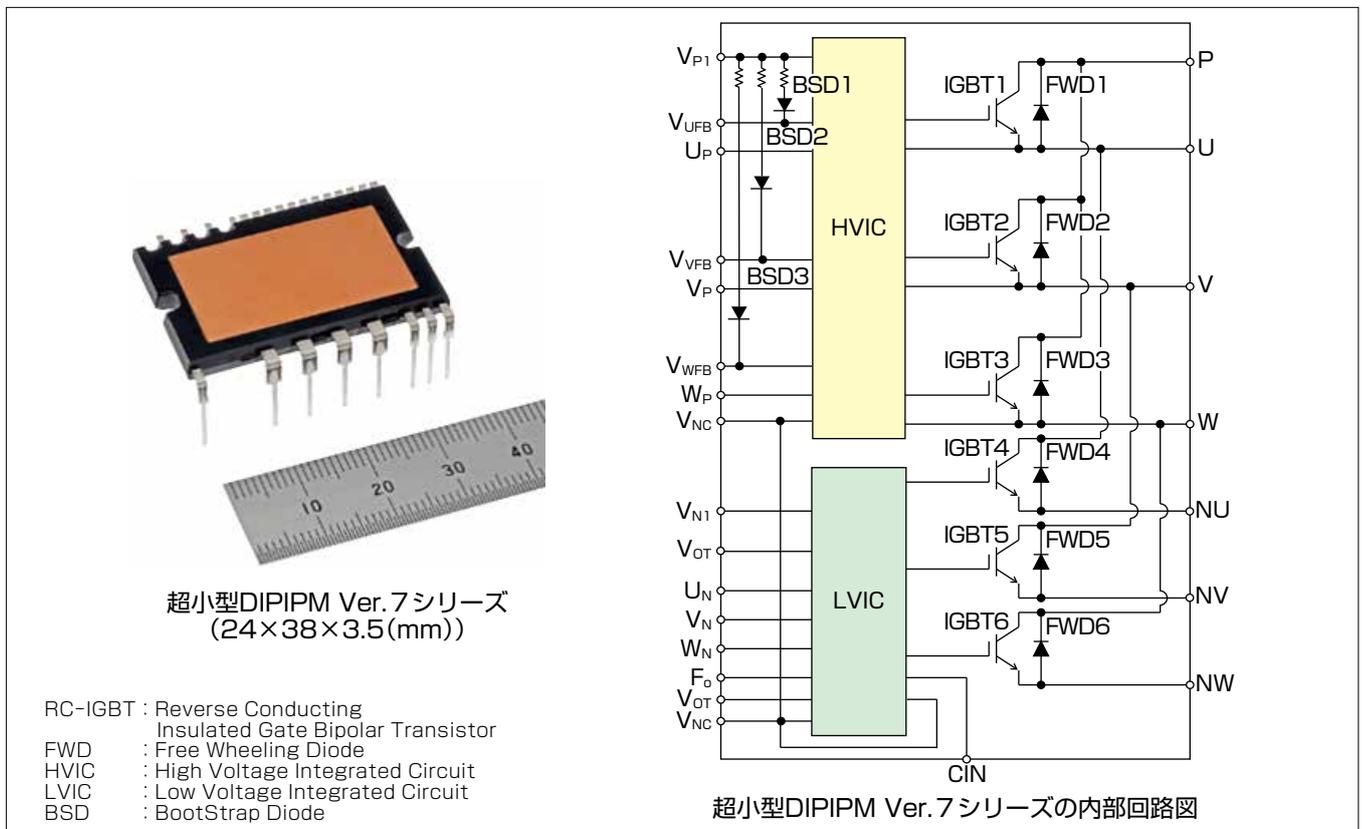
要旨

近年、世界的な地球温暖化が進む中、環境保護の一環として省エネルギー化や節電の重要性がより一層謳(うた)われている。一般家庭で用いられるエアコン、洗濯機、冷蔵庫等の白物家電機器から産業機器まで幅広い範囲で省エネルギー化が求められており、モータ駆動システムのインバータ化が急速に進展している。

三菱電機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チップを搭載したトランスフォーマー構造のIPM(Intelligent Power Module)“DIIPM”を業界に先駆けて(注1)製品化した。2004年からは“超小型DIIPM Ver.4シリーズ”，2011及び2013年からは“Ver.5及びVer.6シリーズ”を提供し、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。

従来の市場要求はエアコンのAPF(Annual Performance Factor)を始めとする電力損失の改善であった。当社はこれに応えてきたが、製品の世代が進むにつれ電力損失とトレードオフ関係にある発生ノイズが増加する傾向にあった。今回、インバータシステム側で対処が必要となっていたノイズ対策部品の削減を目的に開発した“超小型DIIPM Ver.7シリーズ”では超小型DIIPM Ver.6シリーズに搭載している第7世代IGBTに更なる改良を加えて、電力損失を増加させることなく放射ノイズの低減を実現した。また、動作モジュール温度 T_c の上限及び瞬時動作時の最大接合温度 T_{jmax} の拡大によって、インバータシステム設計の自由度を向上させた。

(注1) 1997年8月25日現在、当社調べ



超小型DIIPM Ver. 7シリーズの外観及び内部回路図

このシリーズは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素子で構成している。なお、従来の超小型DIIPMシリーズとピン配列は同じである。

1. ま え が き

当社は業界に先駆け、パワーチップと駆動用ICを同一パッケージに内蔵したトランスファーモールド構造のDIIPMを製品化し、エアコン、洗濯機、冷蔵庫等の白物家電機器から産業機器まで幅広い市場で採用されている。近年、地球環境保護と省エネルギー化への意識が更に高まっており、インバータ化が普及する用途は拡大の一途をたどっている。

従来はインバータ化率の急上昇に伴って市場要求の強い電力損失の低減を最優先に取り組むことで、トレードオフ関係にある発生ノイズは増加する傾向にあった。先に述べたとおり幅広い分野へ普及するにつれ、多岐にわたるノイズ規格への準拠も必要になってくる。今回、発生ノイズの改善を目的に、改良を加えた第7世代IGBTを搭載することで低電力損失と低ノイズ特性の両立を果たした超小型DIIPM Ver.7シリーズを開発した。

本稿では、超小型DIIPM Ver.7シリーズの概要及び特長について述べる。

2. 超小型DIIPM Ver. 7シリーズの概要

超小型DIIPM Ver.7シリーズは三相AC出力インバータ回路と制御用HVIC、LVIC及びBSDで構成している。表1にラインアップを、図1に内部回路図を示す。

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する。

2.2 電源部及び制御部

ブートストラップ回路を形成するために必要なダイオードとして電流制限抵抗付きBSD 3素子を内蔵しており、15V単一電源駆動を可能にした。

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, Fo出力なし)を内蔵している。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にフィードバックすることでIGBTへの駆動信号を遮断する。なお、制御電源電圧低下保護回路や短絡保護回路、過熱保護回路が動作した場合はエラー信号(Fo)を出力する。

表1. ラインアップ

形名	PSS10S93x6 ^(注1)	PSS15S93x6	PSS20S93x6	PSS30S93x6
定格	10A/600V	15A/600V	20A/600V	30A/600V

(注1) PSS10S93E6: 過熱保護機能。
PSS10S93F6: アナログ温度出力機能品(他の定格品も同様)

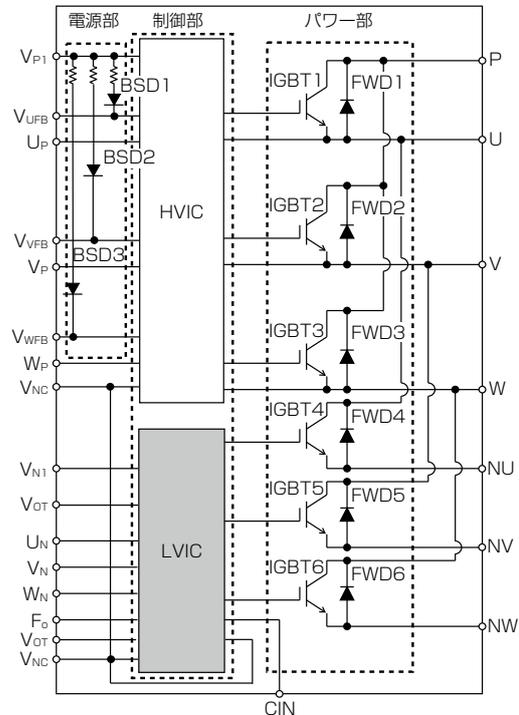


図1. 内部回路図

2.3 性能

超小型DIIPM Ver.7シリーズの性能として、表2に代表品種PSS20S92E6(20A/600V)の主な電気特性を示す。当社独自の“CSTBT”構造とその薄厚化によって高い省エネルギー性能を持つ第7世代IGBTを搭載することで、従来の超小型DIIPM Ver.6シリーズ⁽¹⁾と同等の電気特性とばらつきを実現している。

3. 超小型DIIPM Ver. 7シリーズの特長

図2に示すように、超小型DIIPMシリーズはこれまで市場の需要に合わせて製品の世代が進むにつれて低電力損失を実現することで省エネルギー化に貢献してきた一方で、製品からの発生ノイズは増加傾向にあった。今回、超小型DIIPM Ver.6シリーズの低電力損失に加えて、インバータシステム側でのノイズ対策や放熱設計の簡素化を目的に低ノイズ化や保証温度範囲の拡大を実現した。

3.1 低電力損失と低ノイズの両立

従来、製品からの発生ノイズを低減する際には主にスイッチング速度を低速化する手法が一般的に用いられるた

表2. PSS20S93E6の電気特性

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	$V_{CE(sat)}$	$V_D = V_{DB} = 15V$ $I_C = 20A, V_{IN} = 5V$	—	1.40	1.70	V	
		$T_j = 25^\circ C$ $T_j = 125^\circ C$	—	1.55	1.90		
FWD順電圧降下	V_{EC}	$-I_C = 20A, V_{IN} = 0V$	—	1.70	2.20	V	
スイッチング時間	t_{on}	$V_{CC} = 300V, V_D = V_{DB} = 15V$ $I_C = 20A, T_j = 125^\circ C$ $V_{IN} = 0 \Rightarrow 5V$ 誘導負荷	1.05	1.60	2.30	μs	
	t_{rr}		—	0.30	—		
	$t_{c(on)}$		—	0.35	0.55		
	t_{off}		—	1.85	2.55		
	$t_{c(off)}$		—	0.15	0.30		
回路電流	I_D	$V_{P1} - V_{NC}, V_{N1} - V_{NC}$ の総和	$V_D = 15V, V_{IN} = 0V$	—	—	3.40	mA
			$V_D = 15V, V_{IN} = 5V$	—	—	3.40	
	I_{DB}	$V_{UFB} - U, V_{VFB} - V, V_{WFB} - W$	$V_D = V_{DB} = 15V, V_{IN} = 0V$	—	—	0.30	
			$V_D = V_{DB} = 15V, V_{IN} = 5V$	—	—	0.30	
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_{DBt}	$T_j \leq 125^\circ C$	トリップレベル	10.0	—	12.0	V
	UV_{DBr}		リセットレベル	10.5	—	12.5	
	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	

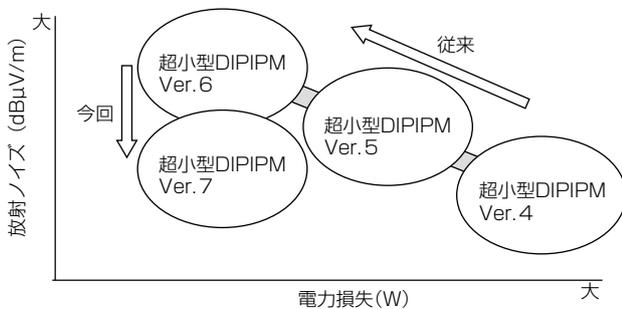
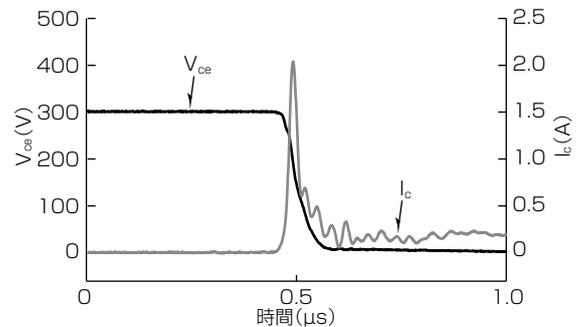


図2. 電力損失と放射ノイズの変遷(イメージ)

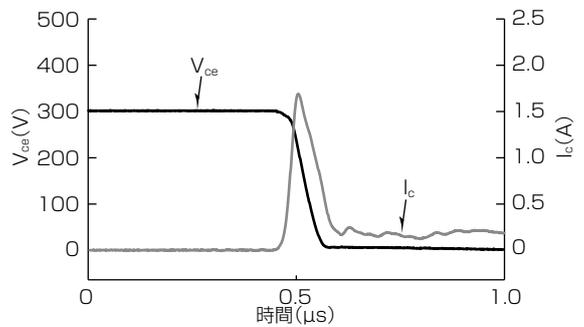
め、電力損失の多少の増加は免れなかった。この課題に対し、当社ではIGBTチップの改良によってノイズの低減を試みる活動を進め、0A付近のdv/dtが非常に高くなることで大きなIcピークとリングングが発生し、これによって放射ノイズを発生させていたことを突き止めた。このシリーズに搭載する改良版の第7世代IGBTでは、CSTBT構造のうちCS(Carrier Stored)層濃度を最適化することによってこの低電流領域でのdv/dtの改善を図った⁽²⁾。図3に示すとおり、同等のスイッチング速度を持つ超小型DIPIPM Ver.6シリーズとの低電流領域でのターンオン波形を比較すると、Icピーク値及びリングングが低減されていることが明白である。これによって、従来の低電力損失を増加させることなく低ノイズ化を実現した。なお、図4からノイズピーク値は15dBの低減を確認でき、2世代前の超小型DIPIPM Ver.5シリーズより小さいノイズレベルに達したことで、インバータシステム基板上で対策として用いられていたコア等の削減が見込める。

3.2 インバータシステム設計自由度の向上

3.1節で製品の発生ノイズの低減によってインバータシステム基板上の部品削減の可能性について述べたが、この



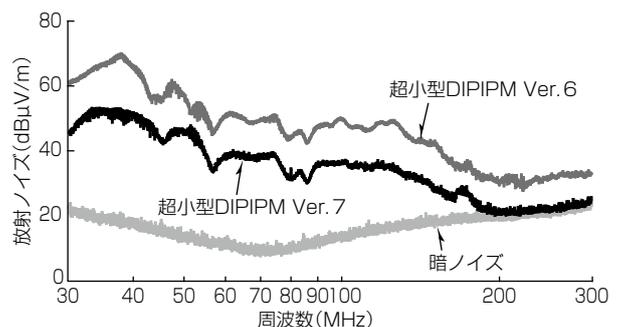
(a) 超小型DIPIPM Ver. 6



(b) 超小型DIPIPM Ver. 7

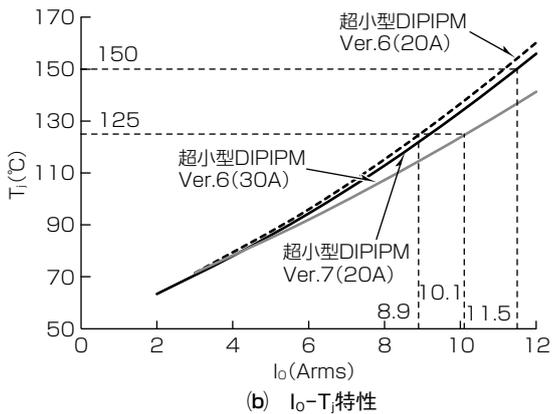
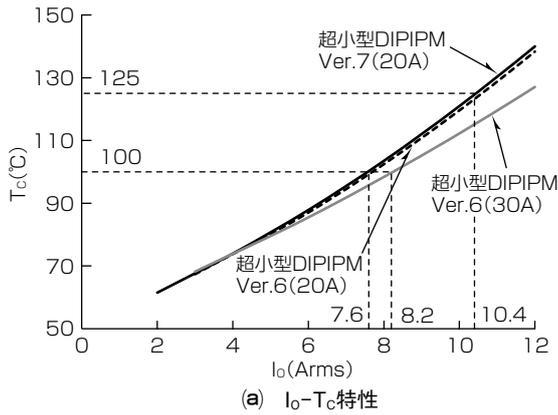
条件: $T_a = 25^\circ C, V_{CC} = 300V, I_c = 0.2A$

図3. 低電流領域のスイッチング特性



条件: $T_a = 25^\circ C, V_{CC} = 300V, f_c = 5kHz, I_o = 0.3A_{rms}$

図4. 各周波数帯域での放射ノイズ(当社評価例)



条件： $T_a=50^\circ\text{C}$ ， $V_{cc}=300\text{V}$ ， $f_c=5\text{kHz}$ ， $P.F=80\%$ ，
変調率=1，放熱フィンの熱抵抗 $R_{th}(f-a)=1.5^\circ\text{C}/\text{W}$ で試算

図5. 許容実効電流値

シリーズでは放熱設計の面でも2点の改良を加えている。一つ目は最大保証温度の拡大を実施した。最大動作モジュール温度を従来シリーズの 100°C から 125°C に拡大し、さらには産業機器などで発生する瞬間的な過負荷動作時の許容温度を 175°C まで向上させた。二つ目の改良としてIGBTチップの接合部とケース間の熱抵抗を低減した。シリーズの中で大きな電力損失が発生する20A品と30A品で、放熱構造のキーとなる部材の放熱シートに改良を加えることによって、従来の超小型DIIPIM Ver.6シリーズの同定格品に対して約28%の改善を実現した。

上記2点の改善効果を図5に示す。保証温度範囲の拡大と温度上昇の低減によって許容実効電流の改善を実現し、システム設計時の品種選定の選択肢拡大及び設計自由度の向上に大いに寄与する。

3.3 端子形状変更による改善

保証温度範囲の拡大に合わせて温度上昇が見込まれる端子についても形状変更による改善を適用した。図6にその形状を示す。電流通電時の端子自身の発熱低減を目的に、端子曲げ部からストップ位置にかけて幅広化を実施した。この端子形状変更だけの改善効果を確認した熱シミュレーション結果を図7に示す。IGBTに22Arms通電時の損失

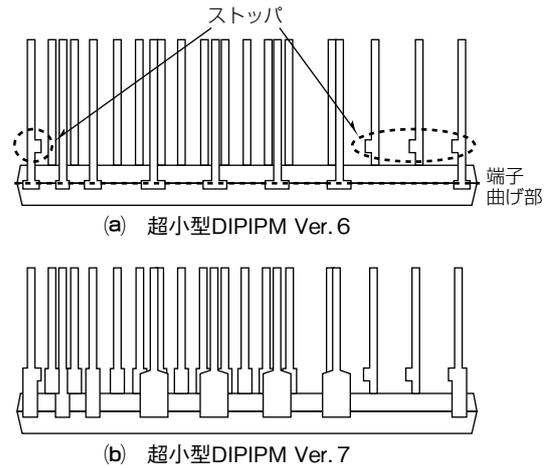
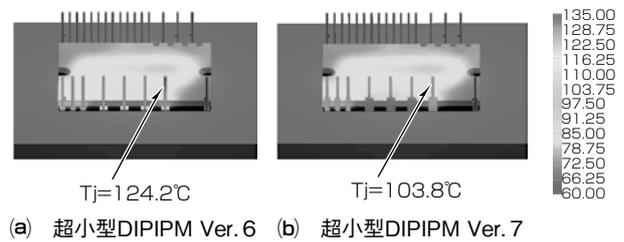


図6. 端子形状



条件： $T_a=60^\circ\text{C}$ ， $I_o=22\text{Arms}$ ，IGBT損失印加，
対流は放熱フィン下面及び端子先端に設定

図7. 熱シミュレーション結果(当社評価例)

を印加し、対流は放熱フィンの下面に加えてPCB(ポリ塩化ビフェニール)基板への伝熱を想定して端子先端にも設定した。22Armsもの大きな電流通電した際の端子先端部の温度は、今回の形状変更によって約 20°C の大幅低減を見込む。さらに、曲げ部周辺の端子強度が向上したことによって、放熱に使用するフィンの質量やその振動による端子変形・折損が生じず、インバータシステムの信頼性改善に貢献する。

4. むすび

従来品の低電力損失という特長を損なうことなく低ノイズ化との両立を実現し、加えて保証温度範囲も拡大することによってインバータシステムの設計負荷を大幅に削減した超小型DIIPIM Ver.7シリーズについて述べた。今後も幅広い用途でのインバータ化普及に貢献できるよう、市場ニーズに応えられる製品開発を続けていく。

参考文献

- (1) 加藤正博, ほか: 超小型DIIPIM“Ver.6シリーズ”, 三菱電機技報, 88, No.5, 285~288 (2014)
- (2) Nishi, K., et al.: Analysis the complex tradeoff among Eon-VCESat-SCSOA and EMI noise through the single chip evaluation method, the 31st International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs (ISPSD), 475~478 (2019)