特集論文

1,200V大型DIPIPM “Ver.4シリーズ”

白石卓也*
商　明*
栗秋和広*

1,200V Large DIPIPM "Ver.4 Series"

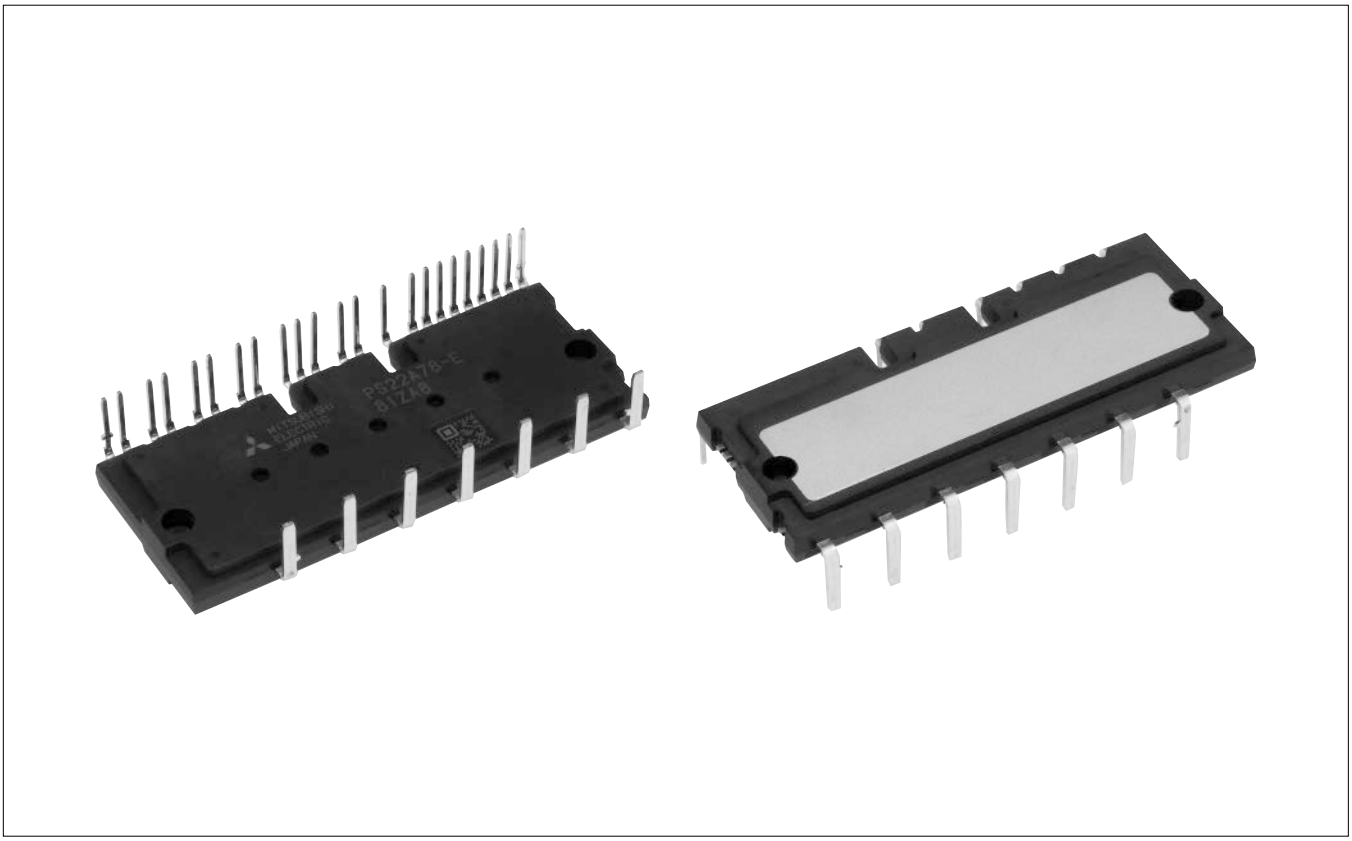
Takuya Shiraishi, Ming Shang, Kazuhiro Kuriaki

要　旨

近年，地球温暖化問題の意識が高まる中，省エネルギー化・高性能化を目的としたモータ駆動システムのインバータ化が，民生機器から産業機器まで幅広く進展している。三菱電機のDIPIPM（Dual In-line Package Intelligent Power Module）は，省エネルギー化・高性能化を実現できるキーデバイスとしてインバータ駆動用に多数採用されている。

今回海外市場向けのAC400V電源に対応可能な，1,200V系DIPIPMシリーズの新製品開発を行った。新製品開発を進めていく上で，従来品よりも外形サイズの小型化及び大容量化を達成するには，発生損失の低減，放熱性の改善が課題であった。

新製品である1,200V大型DIPIPM “Ver.4シリーズ”は，それらの課題を解決するために搭載IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）に当社独自開発の“LPT-CSTBT（Light-Punch Through Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor）”を採用し，従来品より発生損失を低減した。また高放熱特性を持つ絶縁シートによる絶縁方式で，従来品より放熱性を改善した。これによって小型化・定格電流のシリーズ拡大を実現し，また最適な短絡電流検出方式，モジュール温度検知機能の内蔵によって高機能化を図った。



1,200V大型DIPIPM “Ver.4シリーズ”の外観

1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズは，LPT-CSTBT×6素子，FWD×6素子によるインバータ回路と，それらを駆動するHVIC（High Voltage Integrated Circuit），LVIC（Low Voltage Integrated Circuit）によって構成される。低損失のLPT-CSTBTと高放熱絶縁シート構造方式の採用によって，従来の1,200V DIPIPMシリーズに比べて低損失化及び低熱抵抗化を実現した。

*パワーデバイス製作所

1. まえがき

当社のDIPIPMは，パワーチップと制御ICチップ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IPMであり，エアコン，冷蔵庫，洗濯機等の白物家電用途から小容量モータ駆動用としての産業機器用途と幅広く普及している。

近年の省エネルギー化・高性能化の需要が高まる中，当社ではトランスファーモールド構造のIPMとしては業界初の1,200V DIPIPMシリーズ（5～25A）を2005年に製品化し，パッケージエアコンや産業用モータへのインバータ基板の小型化に貢献してきた。今回パッケージエアコンや産業市場向けに，従来の1,200V DIPIPMシリーズより小型・高機能が特長の1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズ（5～35A）を開発し，量産を開始した。

本稿ではこの1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズの概要，特長，内部構造及び内蔵機能について述べる。

2. 1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズの概要

1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズは，従来の1,200V DIPIPMシリーズに比べて，パッケージサイズを小型化し電流定格を拡大したシリーズ展開を行っている。次に1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズの特長について述べる。

(1) 低熱抵抗

従来のモールド樹脂絶縁方式から，高放熱絶縁シート構造方式を採用することによって低熱抵抗化を実現（従来品の1,200V DIPIPM比で約30%低減）した。

(2) 温度検知機能

モジュール温度情報をアナログ電圧信号として外部へ出力する機能をLVICに内蔵することによって，モジュール温度検出を目的に取り付けていた外付けのサーミスタを不要とした。

(3) 短絡保護回路の簡略化

パワー素子のエミッタ電流の数千分の1程度の電流を取り出し，この電流による短絡電流検出方式を採用した。大電力用シャント抵抗を使用しなくても短絡保護が可能となり，シャント抵抗による発生損失を大幅に低減した。

(4) パッケージサイズの小型化と定格電流アップ

当社独自に開発した第5世代LPT-CSTBT搭載による低損失化と，絶縁シート構造方式の採用による低熱抵抗化によって，同定格電流の従来品に比べて約30%小型化し，さらに定格電流をアップしたシリーズ展開を実現した。

3. 1,200V大型DIPIPM Ver.4の回路構成と機能

DIPIPMの内部回路は，従来の構成と同様，IGBTとFWD（Free Wheeling Diode）を各6素子搭載し，三相AC出力インバータのパワー回路部とパワーチップを制御する制御IC（HVIC，LVIC）で構成している。**図1**に1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズの内部回路図を示す。

(1) パワー回路部

IGBT（6素子），FWD（6素子）による三相AC出力インバータ回路構成

(2) 制御IC部

HVIC：上アームIGBT駆動回路，高圧レベルシフト回路，制御電源電圧低下（Under Voltage）保護回路（エラー出力なし）

LVIC：下アームIGBT駆動回路，制御電源電圧低下（Under Voltage）保護回路，LVIC部アナログ温度出力回路，短絡電流（Short Circuit）保護回路（短絡保護は，下アームIGBTのエミッタセンス（V_{SC}）端子に外付けの電流検出抵抗を接続し，所定のしきい値電圧に達すると下アームIGBTを遮断する）

4. 1,200V大型DIPIPM Ver.4の内部構造

図2に，1,200V大型DIPIPM Ver.4と従来の1,200V DIPIPMの断面構造図を示す。1,200V大型DIPIPM Ver.4のパッケージ内部構造は，リードフレーム上にパワーチップで

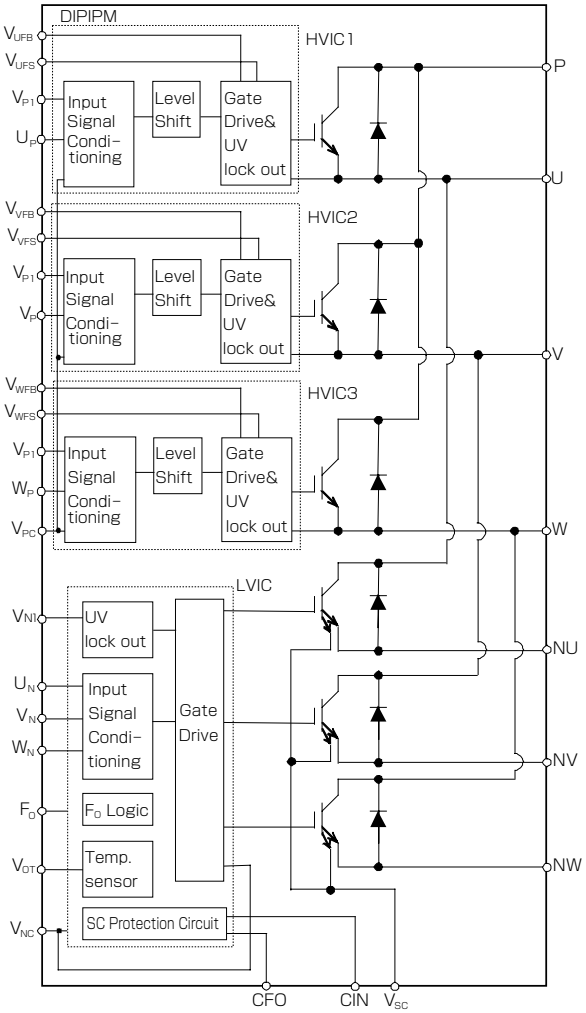


図1．1,200V大型DIPIPM Ver.4の内部回路

表1．PS22A78-Eの電気的特性

項目	記号	条件		最小値	標準値	最大値	単位
コレクタ・エミッタ間飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	$V_D=V_{DB}=15V$，$V_{IN}=5V$，$I_c=35A$	Tj＝25℃	－	1.9	2.6	V
			Tj＝125℃	－	2.0	2.7	
FWD順電圧降下	V_{EC}	Tj＝25℃，$-I_C=35A$，$V_{IN}=0V$		－	2.2	2.8	V
スイッチング時間	t_{on}	$V_{CC}=600V$，$V_D=V_{DB}=15V$		0.5	1.2	1.9	μs
	t_{rr}	$I_C=35A$，Tj＝125℃		－	0.5	－	
	$t_{c(on)}$	誘導負荷（上－下アーム）		－	0.6	0.9	
	t_{off}	$V_{IN}=0⇔5V$		－	2.4	3.5	
	$t_{c(off)}$			－	0.6	0.9	

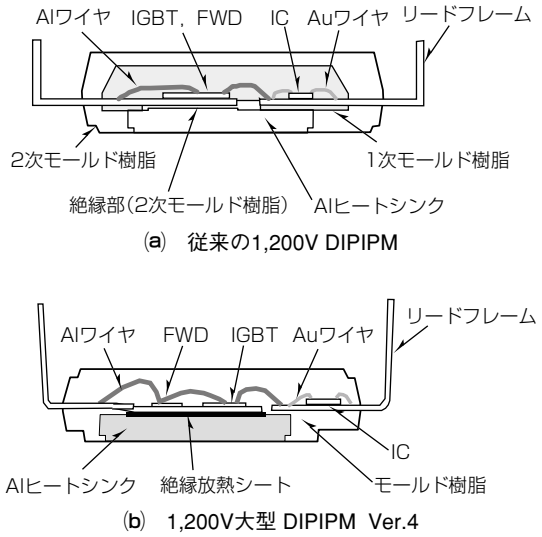


図2．DIPIPM断面構造

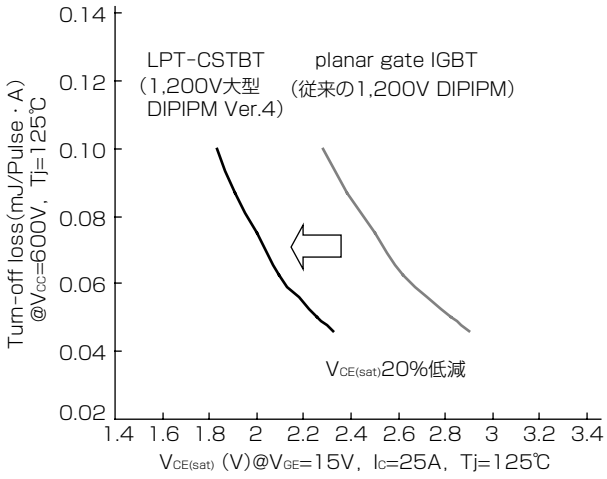


図3．トレードオフ特性

あるIGBT及びFWD，制御ICチップであるHVIC及びLVICを搭載し，各チップ間をAlワイヤ及びAuワイヤで接続する。その後アルミヒートシンクと絶縁放熱シートを合わせてトランスファーモールド化した構造である。

従来品のモールド樹脂による絶縁方式に対して，高放熱絶縁シートによる絶縁方式を導入したことが1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズの最大の特長である。またフレームとAlヒートシンクを絶縁するための2次モールド工程が，絶縁シート構造技術の導入によって削除可能となる。この新構造によって，1,200V大型DIPIPM Ver.4は従来の1,200V DIPIPMシリーズと比較して，約30%の熱抵抗低減と約30%の小型化を実現した。

5. 1,200V大型DIPIPM Ver.4の大容量化・高機能化

5.1 大容量化

1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズでは，当社独自に開発したパワーチップ“LPT-CSTBT”を搭載し損失低減を実現した。従来品搭載のプレーナ型IGBTとのトレードオフ特性（飽和電圧$V_{CE(sat)}$に対するターンオフスイッチング損失E_{off}）比較を**図3**に示す。

4章で述べた絶縁シート構造による低熱抵抗化との相乗効果によって，従来の1,200V DIPIPMシリーズは定格電流25Aまでのラインアップであるのに対し，1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズでは，35Aまで定格電流をアップしシリーズの充実化を実現した。**表1**に代表特性として“PS22A78-E（35A／1,200V）”の主な電気的特性を示す。さらにパッケージサイズを小型化し実装面積を従来品比で約30%削減し，すでに量産中である600V系大型DIPIPM Ver.3及びVer.4シリーズと同じ外形サイズとした。これによって，定格電圧が異なる場合でも実装基板の共用化ができ，基板の設計効率向上に貢献できる。従来シリーズとの比較を**表2**に示す。

5.2 高機能化

(1) 短絡保護回路の最適化

従来の短絡保護は，外部接続したシャント抵抗でIGBTのエミッタ電流に応じた発生電圧を検出し保護する方式を採用していた。1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズでは，アンペアレベルの大電流でなくエミッタ電流から分流したミリアンペアレベルのセンス電流に応じた電圧を検出し保護する方式に変更した（**図4**）。センス電流を取り出す目的として，下アームのパワーチップには電流センス付きIGBTを搭載している。エミッタ電流経路へのシャント抵抗接続が不要となるため，NU／NV／NW端子-VNC端子間インダクタンス起因のサージ電圧の発生を抑制でき，基板設計における設計自由度を向上できる。またシャント抵抗選定の際，従来の短絡保護方式では大電力用に限定されるが，センス電流での検出では損失を低減でき，基板実装面積の小型化・低コスト化に貢献できる。

表２．DIPIPMシリーズ比較

定格電圧	シリーズ	型名	外形（パッケージサイズ）	電流定格								
				5A	10A	15A	20A	25A	30A	35A	50A	75A
600V	DIP Ver.3	PS218××	大型（79×31mm）				○		○		○	
	DIP Ver.3.5	PS212××	大型（79×31mm）				○		○			
	DIP Ver.4	PS21A××	大型（79×31mm）								○	○
1,200V	−	PS2205×	超大型（79×44mm）	○	○	○		○				
	DIP Ver.4	PS22A××	大型（79×31mm）	○	○	○		○		○	●	

○：量産中　●：開発検討中

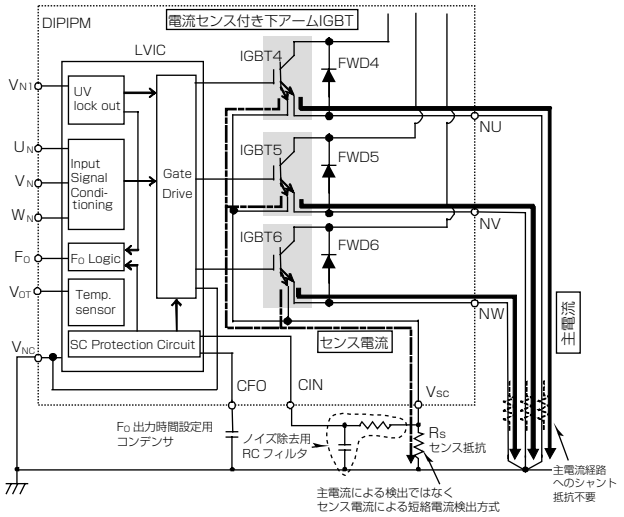


図４．センス電流による短絡電流検出方式

(2)　温度検知機能の内蔵

モジュールの温度保護は，温度を検出するサーミスタをモジュールの放熱用ヒートシンクなどの周辺部に外部接続する方式が主流である。サーミスタをヒートシンクへ取り付けた場合，ヒートシンクとモジュールとの固定がゆるくなり，使用中に外れてしまうとモジュール温度が正確に検知できない可能性がある。今回の温度検知機能は，制御IC（LVIC）内部に温度検出素子を内蔵してアナログ電圧信号を出力する方式である（**図５**）。この機能を利用すれば，外付けのサーミスタが不要となり，システムコストの低減が実現できる。さらにモジュールから直接信号を出力するため，温度情報の信頼性が確保される。

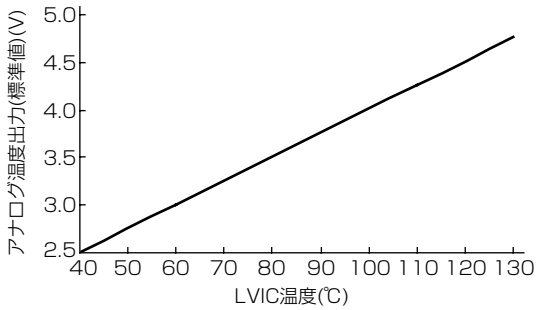


図５．アナログ温度出力−LVIC温度特性

6. む　す　び

今回開発し製品化した1,200V大型DIPIPM Ver.4シリーズの構造，機能及び特長について述べた。今後は開発した技術の水平展開を進め，また地球環境保護を考慮した高付加価値の製品開発によってインバータ市場への継続的な貢献を目指す。さらに民生市場のみならず，太陽光発電用途やIH（Induction Heating）用途への新市場要求に適した製品展開を行うことによって，DIPIPMの更なる需要拡大が期待される。

参 考 文 献

(1)　長原輝明，ほか：DIP-IPM Ver.4シリーズ展開，三菱電機技報，**81**，No.5，349～352（2007）

(2)　Kawafuji，H.，et al.：New 5-35A/1200V Transfer Mold IPM with heat dissipating insulation sheet，PCIM（2008）