

大容量「Vシリーズ」IPMの系列化

New Lineup of Large-Capacity "V-Series" Intelligent Power Modules

清水 直樹 Naoki Shimizu

唐澤 達也 Tatsuya Karasawa

高際 和美 Kazumi Takagiwa

富士電機は、多様化したニーズに応えるため「Vシリーズ」IPM (Intelligent Power Module) の大容量タイプを系列化した。本製品は、高性能最新世代 IGBT チップと新制御 IC の搭載、およびパッケージのインダクタンス低減により、トータル発生損失と放射ノイズの低減を実現し、かつ電流容量を拡大させた。さらに、パッケージにおいては、新はんだ材の採用と DCB (Direct Copper Bonding) の分割化により ΔT_c パワーサイクル耐量を大幅に向上させた。また、端子とねじ穴位置の互換性を維持し、大きく変更することなく既存品との置き換えを可能とした。

To meet the diversifying needs for power control, Fuji Electric has developed a family of large-capacity intelligent power modules (IPMs). These products with high-performance, new-generation IGBT chips, new control ICs and lower package inductance are able to reduce total power loss and radiated noise, and increase current capacity. A new solder material and divided direct copper bonding (DCB) are employed to enable a ΔT_c power cycle tolerance significantly enhanced. Terminals and screw hole positions are compatible with existing products, allowing existing products to be replaced with the new products without major design changes.

1 まえがき^{(1),(2)}

近年、産業分野における省エネルギーおよび CO₂ 削減の重要なアイテムとして、高効率な電力変換装置の利用がますます拡大している。また、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) チップと FWD (Free Wheeling Diode) チップを一つのパッケージに搭載したスタンダード IGBT モジュールに対するニーズも多様化してきている。IPM (Intelligent Power Module) は、スタンダード IGBT モジュールに駆動・保護機能を内蔵する制御 IC を搭載したものである。IPM では、最適化された駆動制御が行えるので低損失・低ノイズでの IGBT の駆動と信頼性の高い保護が可能になる。IPM は低損失や低ノイズなどの要求が強いモータ駆動装置 [NC (Numerical Control) 工作機械、汎用インバータ、サーボ、エアコン、エレベータなど] や無停電電源装置 (UPS)、太陽光発電用 PCS (Power Conditioning System) などの幅広い分野で使用されている。

富士電機は、1988 年に IPM を製品化して以来、世代交代を重ね、低損失・低ノイズ化と小型化を成し遂げることで市場の要求に応じてきた。近年においても、最新世代であるトレンチゲート構造のフィールドストップ (FS) 型「Vシリーズ」IGBT チップを用いた「Vシリーズ」IPM を開発することで、さらなる低損失および小型化を果たしてきた。本稿では、大容量 V シリーズ IPM の系列化と大容量系 IPM (P631 パッケージ) について述べる。

2 「Vシリーズ IPM」の製品系列^{(1),(2)}

現在、V シリーズ IPM は図 1 に示す四つのパッケージ (小容量: P629, 中容量小型: P626, 中容量薄型: P630, 大容量: P631) を開発している。いずれのパッケージも

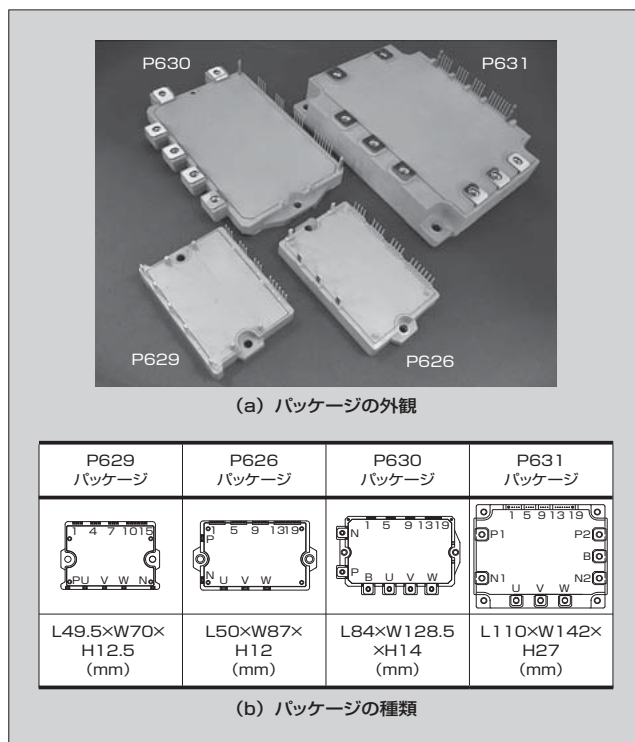


図1 「Vシリーズ」IPMのパッケージ外観

RoHS 指令^(注)に対応している。また、V シリーズ IPM は、従来品の「R シリーズ」IPM よりも容量を拡大し、定格 600 V 系の定格電流は 20 ~ 400 A まで、定格 1,200 V 系の定格電流は 10 ~ 200 A まで系列化する予定である。保護機能は、従来と同じ短絡保護を含む過電流保護、制御電源電圧低下保護、チップ過熱保護機能を搭載しており、新た

<注> RoHS 指令: 電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限についての EU (欧州連合) の指令

にアラーム出力幅による要因識別が可能な機能を加えている。P629は、従来のシャント抵抗によるNラインの電流検出からIGBTのセンス電流検出方式に変更し、上アーム素子のみ短絡電流が流れる地絡状態についても保護を可能にした。

表1に、VシリーズIPMの製品系列と機能一覧を示す。

3 大容量「Vシリーズ」IPMの製品概要

3.1 開発の狙い

大容量VシリーズIPMの開発の狙いは、次のとおりである。

- (1) トータル発生損失の低減
- (2) スイッチング損失と放射ノイズのトレードオフ改善
- (3) 電流量拡大(400A/600V, 200A/1,200V)
- (4) デッドタイム期間の短縮
- (5) アラーム要因の識別

- (6) 上アームのアラーム出力 (P631: 上アームのアラーム制御端子追加)
- (7) パッケージの互換性維持 (ねじ穴位置, ガイドピン)
- (8) RoHS 指令対応
- (9) 内部インダクタンス低減
- (10) ΔT_c パワーサイクル耐量の向上

3.2 特徴^{(1),(2)}

- (1) トータル発生損失の低減

顧客要求である装置の制御性を向上するためのキャリア周波数アップや出力電流アップを実現するためには、IPMの損失低減が必要である。また、損失低減の効果として、空冷フィンやファンの小型化など装置冷却系の簡素化を実現し、装置全体でのコストダウンに寄附できる。

図2に、300A/600V品におけるVシリーズIPMと従来品(RシリーズIPM)とのPWMインバータ動作時のトータル発生損失比較を示す。VシリーズIPMは従来品

表1 「Vシリーズ」IPMの製品系列と機能一覧

電圧	電流	型式		内蔵機能*						パッケージ型式	
				上下アーム共通				上アーム	下アーム		
		6 in 1	7 in 1	Drive	UV	TjOH	OC	ALM	ALM		
600V	20A	6MBP20VAA060-50	-	○	○	○	○	-	○	P629	
	30A	6MBP30VAA060-50	-	○	○	○	○	-	○		
	50A	6MBP50VAA060-50	-	○	○	○	○	-	○		
	600V	50A	6MBP50VBA060-50	-	○	○	○	○	○	○	P626
		75A	6MBP75VBA060-50	-	○	○	○	○	○	○	
	600V	50A	6MBP50VDA060-50	7MBP50VDA060-50	○	○	○	○	○	○	P630
		75A	6MBP75VDA060-50	7MBP75VDA060-50	○	○	○	○	○	○	
		100A	6MBP100VDA060-50	7MBP100VDA060-50	○	○	○	○	○	○	
		150A	6MBP150VDA060-50	7MBP150VDA060-50	○	○	○	○	○	○	
		200A	6MBP200VDA060-50	7MBP200VDA060-50	○	○	○	○	○	○	
		200A	6MBP200VEA060-50	7MBP200VEA060-50	○	○	○	○	○	○	
	600V	300A	6MBP300VEA060-50	7MBP300VEA060-50	○	○	○	○	○	○	P631
400A		6MBP400VEA060-50	7MBP400VEA060-50	○	○	○	○	○	○		
1,200V		10A	6MBP10VAA120-50	-	○	○	○	○	-	○	P629
		15A	6MBP15VAA120-50	-	○	○	○	○	-	○	
	25A	6MBP25VAA120-50	-	○	○	○	○	-	○		
	1,200V	25A	6MBP25VBA120-50	-	○	○	○	○	○	○	P626
		35A	6MBP35VBA120-50	-	○	○	○	○	○	○	
	1,200V	50A	6MBP50VBA120-50	-	○	○	○	○	○	○	P630
		25A	6MBP25VDA120-50	7MBP25VDA120-50	○	○	○	○	○	○	
		35A	6MBP35VDA120-50	7MBP35VDA120-50	○	○	○	○	○	○	
		50A	6MBP50VDA120-50	7MBP50VDA120-50	○	○	○	○	○	○	
		75A	6MBP75VDA120-50	7MBP75VDA120-50	○	○	○	○	○	○	
		100A	6MBP100VDA120-50	7MBP100VDA120-50	○	○	○	○	○	○	
	1,200V	100A	6MBP100VEA120-50	7MBP100VEA120-50	○	○	○	○	○	○	P631
150A		6MBP150VEA120-50	7MBP150VEA120-50	○	○	○	○	○	○		
200A		6MBP200VEA120-50	7MBP200VEA120-50	○	○	○	○	○	○		

* : Drive : IGBT駆動回路, UV : 制御電源電圧低下保護, TjOH : 素子過熱保護, OC : 過熱保護, ALM : アラーム出力

と比較して20%以上の損失低減を実現している。

VシリーズIPMでは、300A/600V品の素子の場合、インバータ動作時のトータル発生損失の約50%はIGBTの定常損失 P_{sat} とターンオフ損失 P_{off} が占めている。この二つの損失を決めているオン電圧 $V_{CE(sat)}$ とターンオフ損失 E_{off} 特性は、ともにIGBTの短絡破壊耐量とトレードオフの関係にある。損失を低減するためには、トレードオフの改善がポイントである。スタンダードIGBTモジュール用のVシリーズIGBTチップは、表面構造の最適化によるドリフト層の低抵抗化と薄膜化により、 $V_{CE(sat)}$ の低減と E_{off} を改善している。これに対して、VシリーズIPM用のIGBTチップは、表面構造をさらに微細化し、 $V_{CE(sat)}$ と E_{off} のトレードオフを改善している。ただし、微細化により $V_{CE(sat)}$ を低減し電流を流しやすくしたため短絡電流が増え、短絡耐量(許容時間)が短くなる。そこで、短絡保護機能を高速化することで、 $V_{CE(sat)}$ と E_{off} のトレードオフを改善したチップの適用を可能にした。

600V系においては、1,200V系よりも定格電流が大きく定格電圧と使用電圧の差が小さいため、サージ電圧を考慮した設計が必要である。後述するパッケージの内部インピーダンスの低減に加え、 $V_{CE(sat)}$ と E_{off} のトレードオフをターンオフ di/dt が小さくなる低 $V_{CE(sat)}$ 側へシフトさせることにより、従来と同等のサージ電圧になるよう最適化を実施した。

(2) スwitching損失と放射ノイズのトレードオフの改善

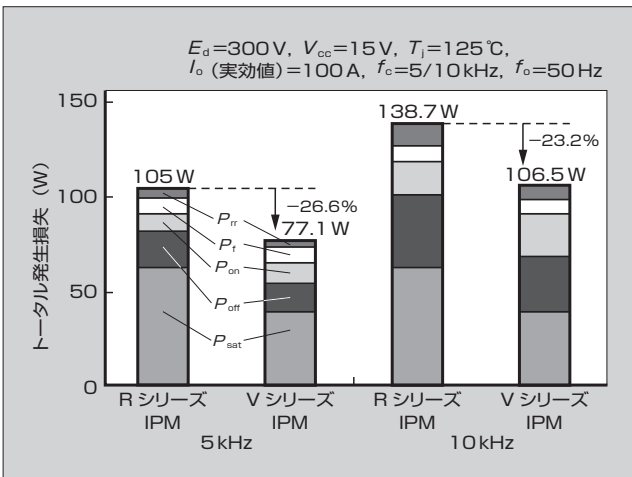


図2 300A/600V品におけるトータル発生損失比較

スイッチング損失と放射ノイズにはトレードオフの関係がある。今回、この関係を改善するためIGBTの入力容量低減、制御ICの温度特性改善、パッケージの内部回路配線パターン最適化を行った⁽⁵⁾。その結果、インバータ試験装置を用いた放射ノイズ相対比較では、図3に示すように300A/600V品において、従来品と比較して、ピークで放射ノイズを約3dB低減している。

(3) 電流容量の拡大 (400A/600V, 200A/1,200V)

Rシリーズの大容量IPM (P612)において、2並列で使用していたパワーチップ (IGBT・FWD) を、Vシリーズの大容量IPM (P631) では、おののを1チップ化するとともにチップサイズの小型化と最適化を図り、300A/600Vのパワーチップの総面積を32%低減した。また、制御回路をパワー部上に配置する2階建て構造により、従来と同一取付け位置の同等サイズパッケージで、400A/600V・200A/1,200Vまでを系列化した。これは業界初である。

(4) デッドタイム期間の短縮

インバータ制御には、上下短絡防止の目的で、デッドタイム期間が設けられている。デッドタイム期間の短縮は、波形のひずみや回転ムラを改善させる重要なアイテムである。VシリーズIPMでは、制御ICのスイッチング時間の最適化と温度特性改善を行い、IPMの入力部において、従来2.4 μs のデッドタイム期間最小値を1 μs に短縮した。

(5) アラーム要因の識別

VシリーズIPMでは、アラーム要因別にアラームパルス幅を変えて出力する(図4)。これにより保護要因の特定が容易に行え、IPMのアラーム出力による装置停止後

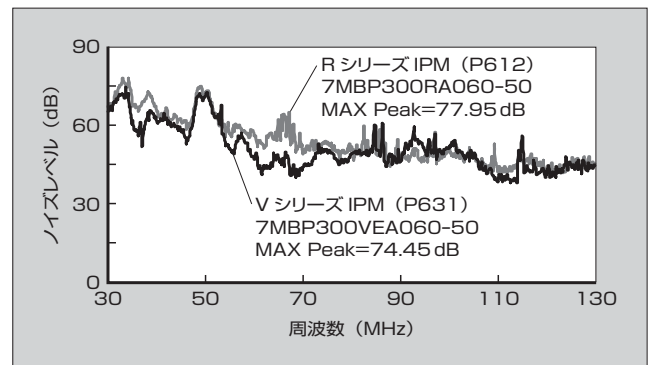


図3 放射ノイズ比較

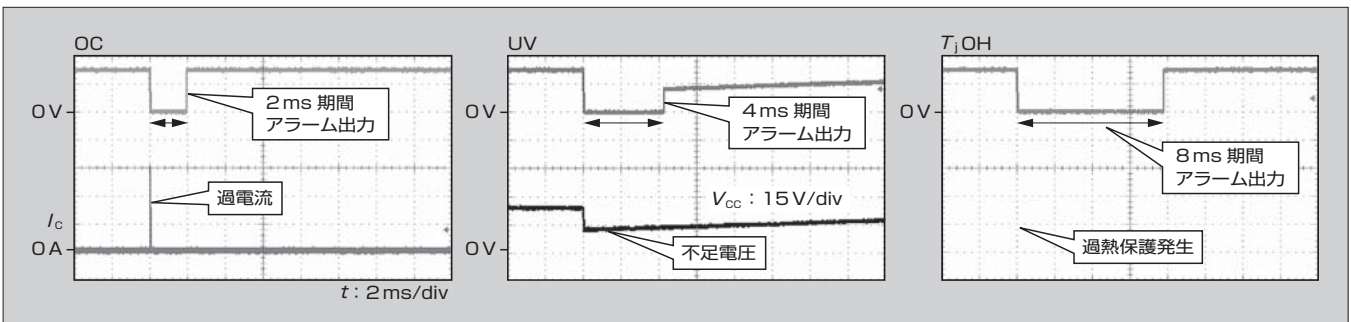


図4 アラーム要因識別機能

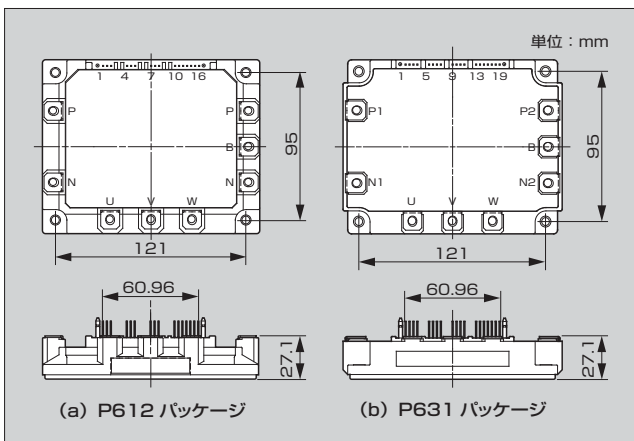


図5 パッケージの外形図

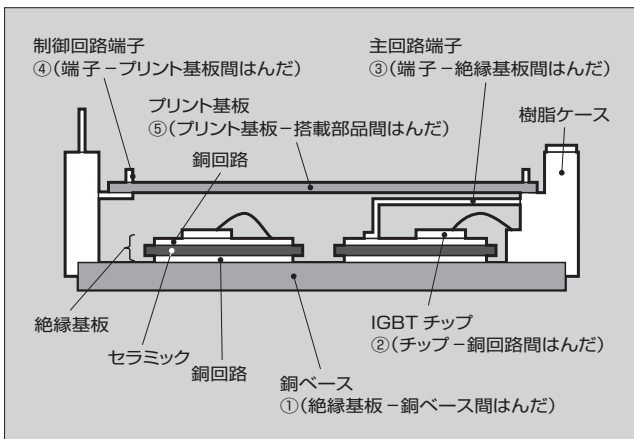


図6 P631 パッケージの内部構造

の要因解析と復旧までの時間を短縮することができる。

4 パッケージ

4.1 パッケージ外形

図5にP631とP612パッケージの外形図を示す。P631は、取付け穴や端子位置、高さ寸法は既存P612と同じにして、装置組込みにおける互換性を持たせた。また、上アームの各相にはアラームの出力端子を追加し、端子間ピッチおよび制御端子全幅を共通とした。

4.2 RoHS 指令対応

図6にP631パッケージの内部構造を示す。従来のIPMにおける鉛使用箇所は、主としてはんだである。①絶縁基板-銅ベース間接合部、②チップ-銅回路間接合部、③主端子-絶縁基板接合部、④制御端子-プリント基板接合部、⑤プリント基板-搭載部品の5か所ではんだ材を用いている。P631は、これら全ての箇所に鉛フリーはんだを採用し、RoHS指令対応品とした。

4.3 インダクタンス低減

図7に内部配線模式図を、図8にP631とP612パッケージの内部インダクタンスの測定結果の比較を示す。相互イ

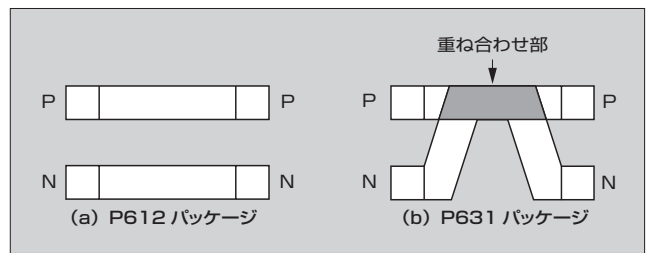


図7 パッケージの内部配線模式図

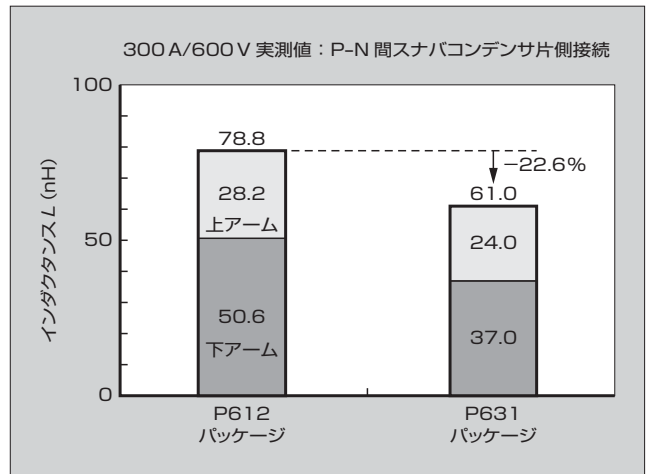


図8 内部インダクタンスの測定結果比較

ンダクタンス効果による内部インダクタンスの低減を図り、PN ライン端子バーが重なり合う平行平板化方式を採用した。その結果、P612と比較すると内部インダクタンスを約22%減少させることができ、3章で述べたように放射ノイズ低減とターンオフサージが過大とならない効果を得た。

4.4 ΔT_c パワーサイクル耐量の向上

IGBT モジュールは、一般に放熱面を持つベースと絶縁回路基板をはんだで接合している。これらの部材の熱膨張係数が異なるため、温度変化によって部材同士を接合しているはんだに繰り返し応力が発生する。ケース温度を変化させる ΔT_c パワーサイクル試験では、絶縁基板-銅ベース間接合部のはんだにクラックが発生・伸展し、最終的に破壊に至ることが確認されている。

P631パッケージでは、絶縁回路基板を分割小型化し、はんだにかかるストレス緩和を図った。さらに、絶縁基板-銅ベース間接合部はんだ材をより機械的強度が高いものに変更した。これにより、 $\Delta T_c=80K$ 時の ΔT_c パワーサイクル耐量をP612より2倍以上向上した。

5 あとがき

大容量「V シリーズ」IPM の系列化と大容量系IPM (P631パッケージ) について紹介した。V シリーズIPMは、市場要求である低損失・低ノイズ・RoHS指令対応を実現するとともに、容量拡大・デッドタイム短縮・アラーム識

別機能・パッケージ互換性維持といった付加価値を備えている。

今後はさらなる特性改善とパッケージ系列の拡充を図り、省エネルギー・環境保護に貢献できる製品開発に注力していく所存である。

参考文献

- (1) Motohashi, S. et al. "The 6th. Gen. Intelligent Power Module", in Proc. 2011 PCIM, p.161-166.
- (2) 清水直樹ほか. インテリジェントパワーモジュール「VシリーズIPM」. 富士時報. 2009, vol.82, no.6, p.384-388.
- (3) Kobayashi, Y. et al. "The New concept IGBT-PIM with the 6th generation V-IGBT chip technology", in Proc. 2007 PCIM.
- (4) Momose, M. et al. "A 600 V Super Low Loss IGBT with Advanced Micro-P Structure for the next Generation IPM" in Proc. 2010 ISPSD.
- (5) Onozawa, Y. et al. "Development of the next generation 1200V trench-gate FS-IGBT featuring lower EMI noise and lower switching loss" pros. 2007 ISPSD, p.13-16.



清水 直樹

インテリジェントパワーモジュールの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部松本工場技術統括部モジュール技術部。



唐澤 達也

インテリジェントパワーモジュールの構造開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部松本工場技術統括部パッケージ実装技術部。



高際 和美

インテリジェントパワーモジュール用ドライバICの開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部電子デバイス研究所 SI デバイス開発センターデバイス開発部。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。