

IGBT モジュール「V シリーズ」の系列化

New Lineup of V-Series IGBT Modules

高橋 孝太 Kouta Takahashi

吉渡 新一 Shinichi Yoshiwatari

関野 裕介 Yusuke Sekino

富士電機では、最新世代の「V シリーズ」IGBT を用いた製品の系列化を進めている。V シリーズ IGBT モジュールは、チップ損失の低減とパッケージ放熱性の改善により、IGBT モジュールの小型化、高パワー密度化を達成している。また、チップおよびパッケージの特性向上により信頼性を高め、175℃における動作（ただし非連続）を保証している。富士電機では、高パワー密度かつ信頼性の高いV シリーズとして、大容量 2 in 1 や小型化 7 in 1 などの新規パッケージの開発、1,700 V への系列拡大なども進めている。

Fuji Electric is developing a series of products that use the latest generation “V-Series” IGBTs. V-Series IGBT modules realize lower chip loss and improved package heat dissipation to achieve a smaller IGBT module size and higher power density. The chip and package characteristics have also been improved to enhance reliability and guarantee the maximum temperature of 175℃. For these high power density and highly reliable V-Series IGBTs, Fuji Electric has developed new packages, such as a large capacity 2-in-1 package and a small sized PIM (Power Integrated Module) package. The product lineup will be expanded up to 1,700 V.

① まえがき

近年、産業分野における省エネルギーおよび二酸化炭素削減の重要なアイテムとして、インバータの需要がますます拡大している。インバータに用いるパワー半導体としては、損失、破壊耐量、駆動回路設計などの観点から、IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor) が主に適用されている。

富士電機においても、1988 年の製品化以来、着実に世代交代を重ねつつ、低損失化・小型化を成し遂げることで市場の要求にきてきた。近年では、最新世代の IGBT を用いた IGBT モジュール「V シリーズ」を系列化することでさらなる低損失および小型化を果たした。また、IGBT モジュール V シリーズは、チップおよびパッケージの特性向上により信頼性を高め、異常状態のチップ接合部温度 $T_j = 175^\circ\text{C}$ における動作（ただし非連続）を保証している。

本稿では、IGBT モジュール V シリーズの信頼性と系列について解説する。

② IGBT「V シリーズ」の特性⁽¹⁾

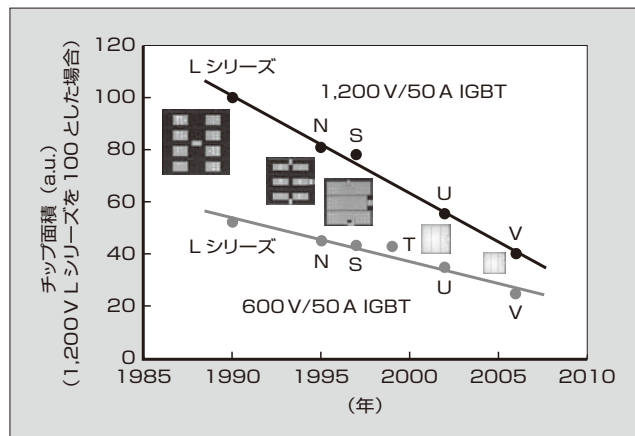
図 1 に、これまで発売された IGBT モジュールに搭載された IGBT チップサイズの年代ごとの推移を示す。富士電機では 10 年で 1/2 のペースでチップの小型化を実現しており、V シリーズでは U シリーズよりさらに 30% のチップ小型化も達成した。V シリーズではチップの改良に加え、絶縁基板に熱伝導性の良い窒化けい素 (SiN) 基板を用いることで放熱性を高め、IGBT モジュールの高パワー密度化を行っている。これにより、インバータシステム全体の小型化およびコストダウンに大きく貢献する。また、V シリーズでは表面ゲート構造の最適化により、EMC

(Electromagnetic Compatibility) ノイズの原因となるターンオンスイッチング時の IGBT 電流および FWD (Free Wheeling Diode) 電圧の急激な変化を制御しやすくした。これにより V シリーズ IGBT モジュールは、EMC ノイズの低減が容易でありインバータ設計のしやすい製品となった。

③ IGBT モジュール「V シリーズ」の信頼性

IGBT モジュール V シリーズは小型かつノイズ制御性が良いだけでなく、高い信頼性を持つことも特徴である。V シリーズでは、瞬間的な異常状態については 175℃までの非連続動作を保証し、ノーマルな運転状態については 150℃までの連続動作を保証している。これは、U シリーズまでと比較してそれぞれ 25℃上昇している。これを可能とするために、IGBT チップの高温動作時の信頼性および破壊耐量を向上し、はんだやワイヤボンディングをはじ

図 1 IGBT チップサイズの低減



めとするパッケージの信頼性を向上した。以下で、これらの成果について詳細に説明する。

175℃までの異常状態での動作を保証するためには、高温でも安定的に耐圧を保持し、なおかつ大電流まで安定的にスイッチングできるチップ性能を必要とする。V シリーズでは、ノンキラー IGBT, FWD のライフタイムキラーとして電子線を用いることで、200℃まで熱暴走を起こさず安定的に耐圧が保持できることを確認している。また、高温でのスイッチングについては、200℃における IGBT スwitching と FWD スwitching が可能であることをそれぞれ確認している。図 2 にチップ接合部温度 $T_j = 200^\circ\text{C}$ 、定格の 2 倍の電流を流したときの IGBT のターンオフ波形を示す。以上により、V シリーズは 175℃までの異常状態での動作を保証することが可能である。

150℃までノーマルな運転動作を保証するためには、チップ耐圧の長期的な信頼性と、はんだやワイヤボンディングをはじめとするパッケージの信頼性が必要である。チップ耐圧の長期的な信頼性については、電気炉で加熱しながら直流電圧を印加する加速試験による確認が一般的である。図 3 に、FWD の信頼性試験結果を示す。 $T_j = 175^\circ\text{C}$ において、定格電圧の 80% を 3,000 時間印加しても耐圧の劣化がなく、十分な信頼性を持っていることを確認した。FWD と類似のエッジ構造を持つ IGBT も、同等の信頼性を持っている。

パッケージの信頼性については、一般的にパワーモジュールではオン状態でチップが高温となり、オフ状態で

低温となる熱サイクルを繰り返すためにチップ下のはんだおよびワイヤボンディング接合部が熱膨張収縮によるストレスを受ける。このストレスに対して、十分な耐量を持っている必要がある。図 4 に V シリーズのパワーサイクル試験の結果を示す。 $T_{j\min} = 25^\circ\text{C}$ のラインは、冷却フィン温度を固定して、運転パターンにおける最大チップ温度を変化させたときの寿命を表す。例えば、 $\Delta T_j = 30^\circ\text{C}$ とは、

図 4 1,200 V 「V シリーズ」パワーサイクル試験結果

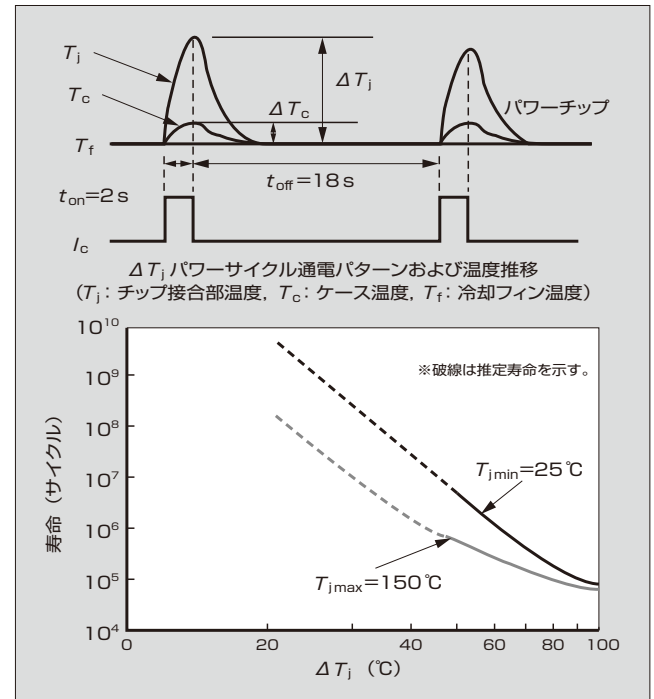


図 2 1,200 V 「V シリーズ」 IGBT の高温スイッチング波形

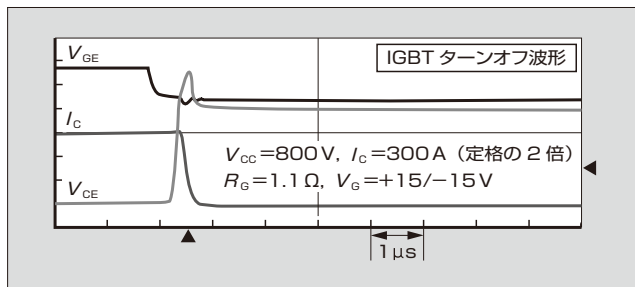


図 3 1,200 V 「V シリーズ」 FWD の耐圧信頼性試験結果

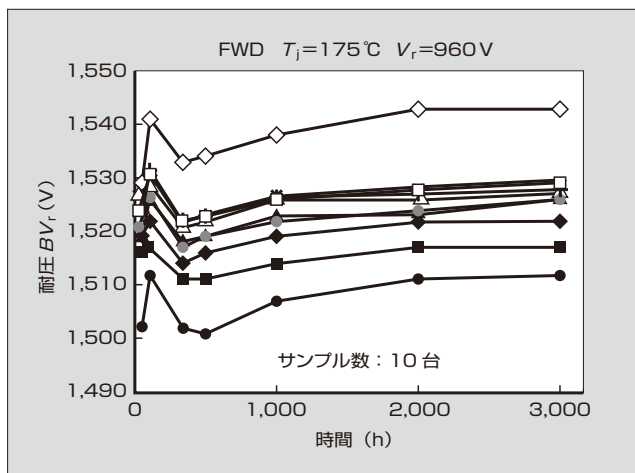


図 5 1,200 V 「V シリーズ」 PIM 系列および New Dual 系列

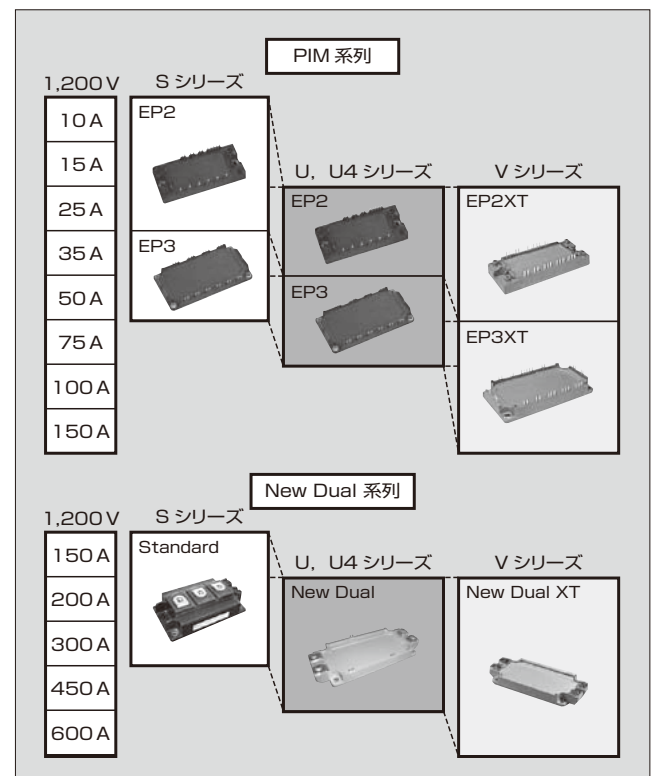
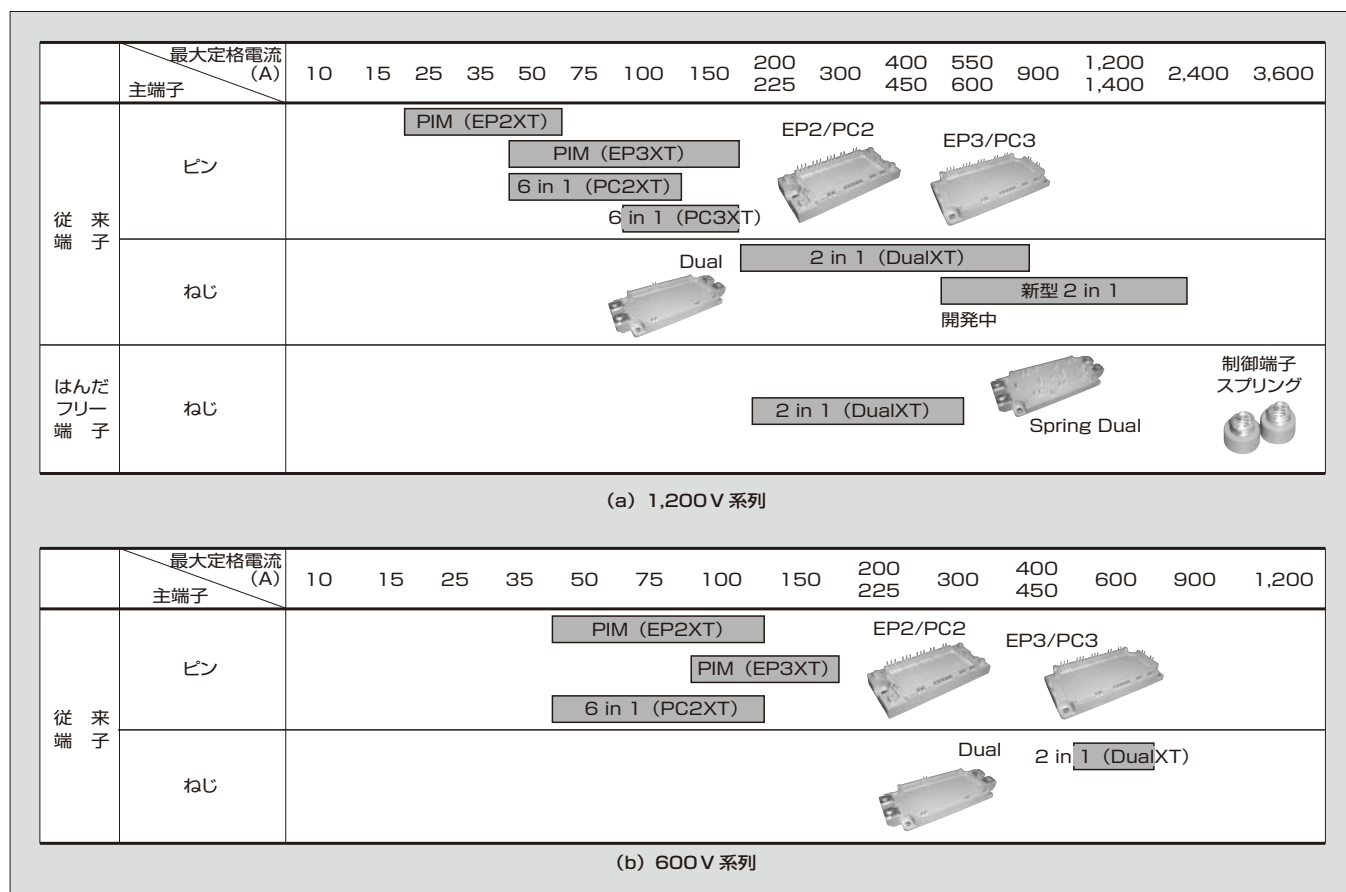


図6 「Vシリーズ」の今後の系列展開



冷却フィン温度 25℃，最大チップ温度 55℃の運転パターンとなる。 $T_{jmax} = 150℃$ のラインは，運転パターンにおける最大チップ温度を固定して，冷却フィン温度を変化させたときの寿命を表す。例えば， $\Delta T_j = 30℃$ のとき，冷却フィン温度 125℃，最大チップ温度 150℃の運転パターンとなる。

グラフに示されているように、同一の ΔT_j でも冷却フィン温度およびチップ温度が高いほど寿命が短くなる。すなわち、 $T_{jmax} = 150^\circ\text{C}$ のラインは最悪の運転条件を表しており、V シリーズはその条件でも $\Delta T_j = 100^\circ\text{C}$ で寿命 50,000 サイクル以上と十分な信頼性を持っていることが確認できた。これらの結果から、チップとパッケージの信頼性の向上により、V シリーズは 150°C までノーマルな運転動作を保証している。

以上、V シリーズは高温運転時の信頼性を大きく向上させ、インバータの信頼性の向上および熱設計自由度の向上に大きく貢献する。

4 IGBT モジュール「V シリーズ」の系列

現在 V シリーズは、図 5 に示す PIM (Power Integrated Module) 系列および New Dual 系列を用意している。

PIM 系列は 3 相分の上下アーム IGBT および FWD、コンバータダイオード、ブレーキ IGBT を内蔵しており (7 in 1)、1 台で三相交流インバータが構成できる。これ

により、インバータシステムの小型化および設計の簡素化が可能である。V シリーズでは、PIM 系列を定格電流 150 A まで拡大した。

200 A 以上の定格電流で使用する場合には、New Dual 系列を用意している。これは 1 相分の上下アーム IGBT および FWD を内蔵しており (2 in 1)、モジュール内部で 3 チップを並列で使用している。パワー半導体を並列で使用する場合、一部のチップに電流が集中する電流アンバランスが心配である。New Dual 系列は内部配線パターンの工夫により、各チップ間の電流アンバランスがほとんどなく、非常に使いやすいデバイスとなっている。V シリーズでは、New Dual 系列を定格電流 600 A まで拡大した。

5 今後の展望

Vシリーズでは、今後とも系列拡大を行っていく。今後の系列展開を図6に示す。新規パッケージとして次の開発を進める。

- (1) 大容量モジュール (EconoPACK^{〈注1〉}+, 新型 2 in 1)
(2) 小型化モジュール (MiniSKüP^{〈注2〉})

現在、風力発電などの電力変換用途、電鉄用途など大

〈注1〉 EconoPACK : Infineon Technologies AG. の商標または登録
商標

〈注 2〉 MiniSKiiP：Semikron の商標または登録商標

容量インバータの市場が拡大しており、これらの市場に対応するために大容量モジュールの開発を行う。EconoPACK+ では 550 A/1,200 V 定格、新型 2 in 1 では 1,400 A/1,200 V 定格までの系列化を行う予定である。また小容量向けとして、MiniSKiiP を開発している。これは、はんだ付けが不要で組立が容易であり、かつ PIM 系列と比べて同等の機能ながら大幅な小型化を実現している。8 ～ 100 A/1,200 V 定格を系列化する予定である。

さらに、1,700V 耐圧のチップ開発も行っており、新型 2 in 1, New Dual など大容量用途に順次展開していく予定である。

⑥ あとがき

最新世代の IGBT チップを適用した IGBT モジュール「V シリーズ」の特徴と系列について解説した。V シリーズはチップ技術およびパッケージ放熱性の向上による小型化を達成し、インバータの小型化に大きく貢献できる。またチップおよびパッケージの信頼性の向上により、175℃における動作を保証している。これによりインバータの信頼性の向上および熱設計自由度の向上に大きく貢献する。

今後、富士電機では V シリーズの技術を 1,700 V、大容量モジュール、小型化モジュールに展開していき、お客さまのニーズに応じていく所存である。

参考文献

- (1) 小野澤勇一ほか. U シリーズ IGBT モジュール (1,200 V). 富士時報. 2002, vol.75, no.10, p.563-566.
- (2) 五十嵐征輝ほか. 電力変換装置から放射される電磁雑音の解析と低減方法. 産業応用部門誌. 1998, vol.118-D, no.6, p.757-766.



高橋 孝太

IGBT モジュールの開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部モジュール開発部。



吉渡 新一

IGBT モジュールの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部モジュール開発部チームリーダー。



関野 裕介

IGBT モジュールの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部モジュール開発部。





＊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。