

コンバータ用 IGBT モジュール

長畦 文男 (ながうね ふみお)

佐々木 隆興 (ささき たかおき)

小林 靖幸 (こばやし やすゆき)

1 まえがき

汎用インバータをはじめとして、無停電電源装置(UPS)や産業用ロボット、電気鉄道などさまざまな分野にパワーエレクトロニクス技術が浸透し、その発展にはめざましいものがある。パワーエレクトロニクス技術を駆使した電力変換装置には、小形軽量化、高効率化、低騒音化などの高性能化が常に要求されている。そのため、電力変換装置に適用される電力用半導体素子(パワーデバイス)にも、低損失化、高機能化、大容量化などの性能向上が要求されている。

このような市場動向のなかで、高速スイッチング性により低損失であること、電圧駆動により駆動回路設計が容易であること、大電流・高耐圧まで製品系列が豊富であることなどの特徴から、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) が、小容量分野から産業用・車両用の大容量分野まで幅広く適用されている。

以上のような状況のなかで富士電機は、他社に先駆けて1992年に第三世代 IGBT (J シリーズ) を発表、その後、さらなる低価格化と使いやすさ、高性能化をめざした新第三世代 IGBT (N シリーズ)、新 NPT-IGBT (P シリーズ) を開発した。これらは、市場のさまざまな分野で採用されている。

IGBT モジュールは、電力変換装置におけるインバータ

回路に幅広く適用されているが、回生動作時における電気エネルギーを効率よく電源側に変換する目的から、コンバータ回路にも適用されている。

本稿では、コンバータ回路専用に新たに開発した、600 V 系 2 個組 IGBT モジュールの系列と素子技術について紹介する。

2 IGBT モジュールのコンバータ回路への適用

2.1 電力変換装置のコンバータ回路技術

多くの電力変換装置では、交流電圧を直流電圧に変換するためのコンバータ回路として、図 1 に示すようなコンデンサインプット形のダイオードブリッジ整流回路が使用される。この場合、コンバータ回路には通常ダイオードモジュールが適用され、PWM (Pulse Width Modulation) 制御によるインバータ回路と組み合わせられ、電力変換装置が構成される。この回路方式は、経済性や装置の小形化から幅広く採用されているが、平滑コンデンサの電圧が高くなり回生動作となった場合、回生時のエネルギーを処理する回生電力放電回路が必要である。この回路方式では、回生時に電源側へ変換されようとする電気エネルギーは、回生電力放電回路の抵抗で消費される熱エネルギーとなる。

これに対し、回生動作時の電気エネルギーを効率よく電源側へ変換する回路方式として、図 2 に示す PWM 制御方

図 1 標準的な汎用インバータの主回路接続図

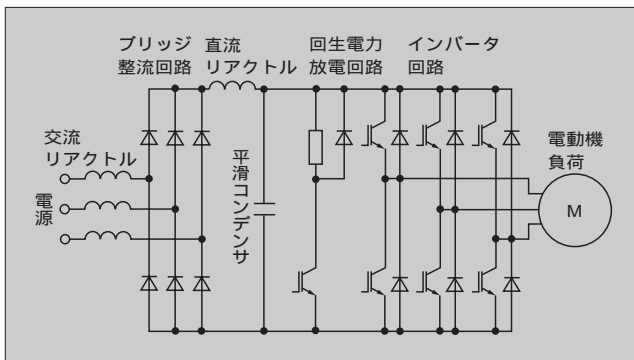
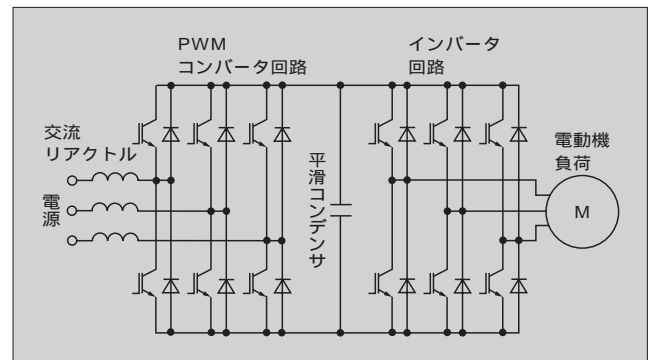


図 2 PWM コンバータを備えたインバータ回路



長畦 文男

IGBT モジュールの開発・設計および応用技術の開発に従事。現在、松本工場半導体開発センターパワー半導体開発部主任。



佐々木 隆興

IGBT, FWD チップの開発・設計に従事。現在、松本工場半導体開発センターパワー半導体開発部。



小林 靖幸

IGBT モジュールの開発・設計および応用技術の開発に従事。現在、松本工場半導体開発センターパワー半導体開発部。

表 1 開発品の主要特性

形式	V_{CES} (V)	V_{GES} (V)	I_C (A)	$V_{CE(sat)}$ 最大値 (V)	V_F		外形
					代表値 (V)	最大値 (V)	
2MB1150NR-060A	600	± 20	150	3.5	1.5	1.8	M239
2MB1200NR-060A			200				
2MB1300NR-060A			300				

図 3 開発品の外観



式のコンバータ回路が採用されている。この回路方式では、再生動作時にコンバータ回路の IGBT を高速スイッチングすることにより、再生動作時の電気エネルギーを電源側へ変換する。したがって、図 1 のような再生電力放電回路が不要となる。図 2 の回路方式は、加減速頻度の多い工作機械用インバータやエレベータ用インバータに多く適用されている。

2.2 コンバータ用 IGBT モジュールへの要求性能

IGBT モジュールは、インバータ回路への適用を前提としてこれまで世代交代が行われている。また、モジュールに内蔵される FWD (Free Wheeling Diode) は、IGBT の世代交代に伴い、高速性を重視して開発が行われてきた。したがって、FWD の順電圧 (V_F) は増加の一途をたどっており、このままコンバータ回路に適用すると、整流動作損失が大きくなってしまいう問題があった。

コンバータ回路に適用される IGBT モジュールは、従来の IGBT モジュールにおける高速スイッチング性能と、整流用ダイオードモジュールにおける整流動作性能の双方を併せ持つことが必要である。そのため、IGBT のスイッチング性能に追従できる逆回復特性を維持しつつ、 V_F を極力低減したコンバータ回路専用の FWD チップの開発が必要であった。

③ コンバータ用 IGBT モジュールの開発

3.1 製品の概要

先に述べたコンバータ用 IGBT モジュールに対する要求性能に基づき、新たに 600 V 系 2 個組 IGBT モジュールを開発した。表 1 に今回の開発品の主要特性を示す。図 3 お

図 4 開発品の外形図

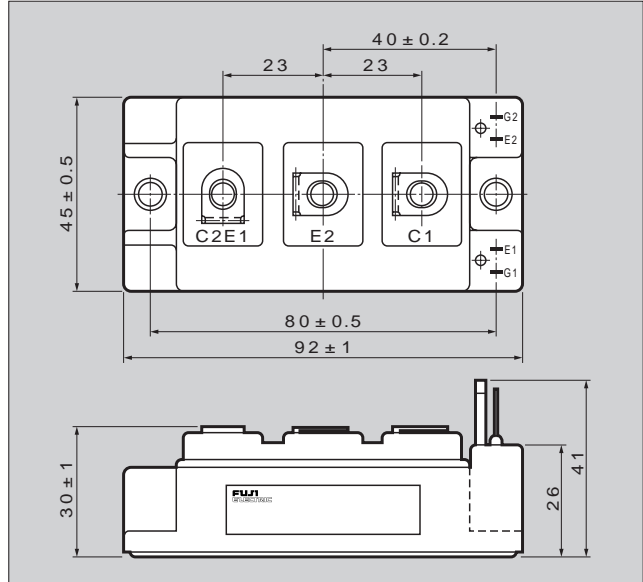
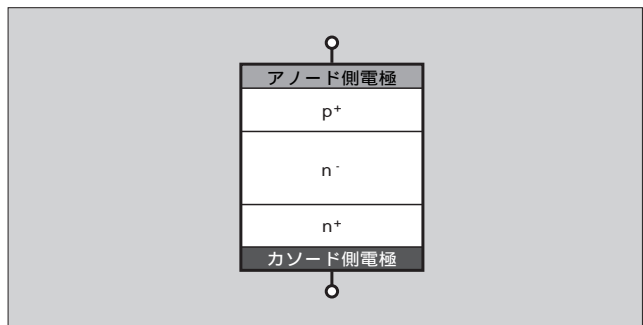


図 5 FWD チップの基本構造



よび図 4 に、今回の開発品の外観と外形図を示す。外形はインバータ回路用モジュールと同一外形とした。さらに制御端子をピン端子化したことにより、プリント基板と容易にコネクタ接続できるようにした。

以下に、今回の開発品における技術開発内容について述べる。

3.2 コンバータ回路専用の FWD チップ開発

3.2.1 V_F の低減

図 5 に、FWD チップの基本構造を示す。図 5 での n^- 層は V_F の主構成要素であるが、必要な耐圧を確保するために薄くすることはできない。そこで、今回の開発品では n^+ 層の厚さとカソード側電極のオーミック性、さらにライフタイムコントロールの最適化を行い V_F の低減を図つ

図6 100 A FWD チップでの逆回復損失と V_F の関係

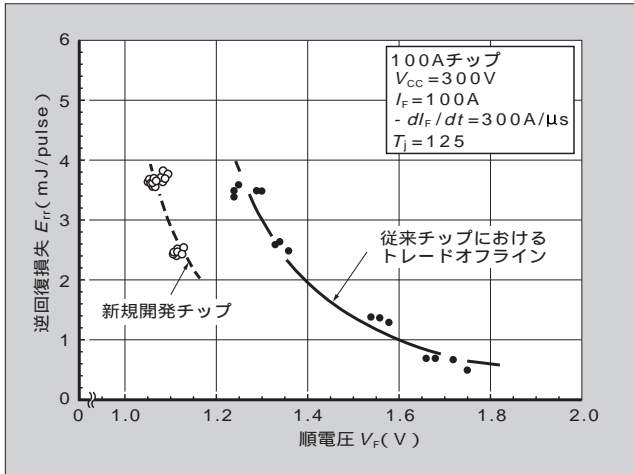
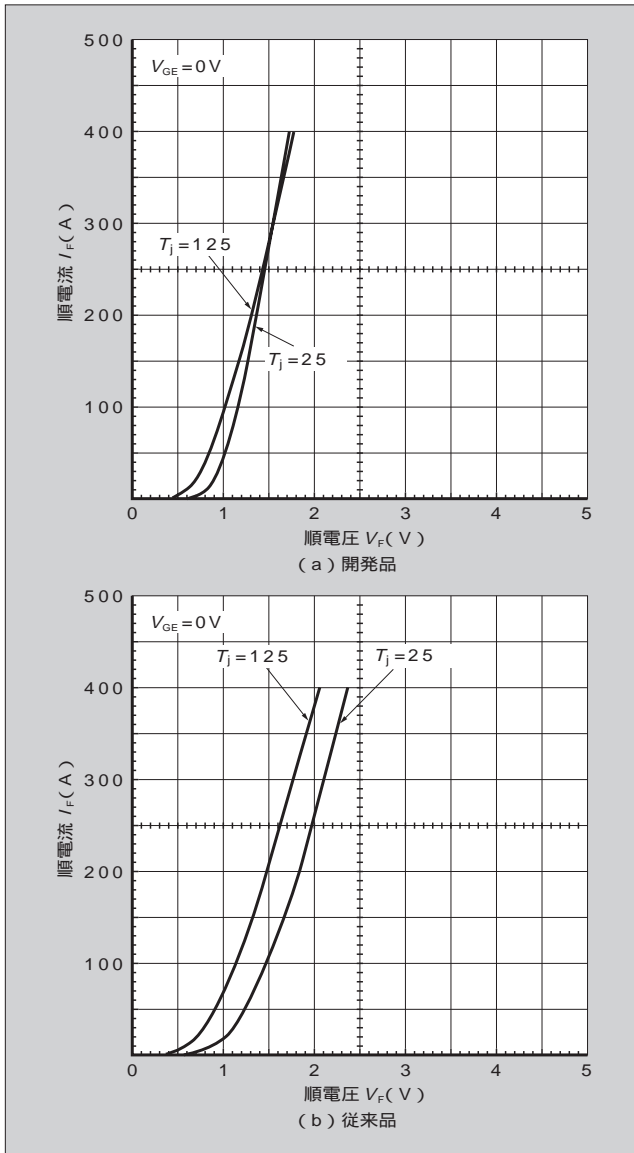
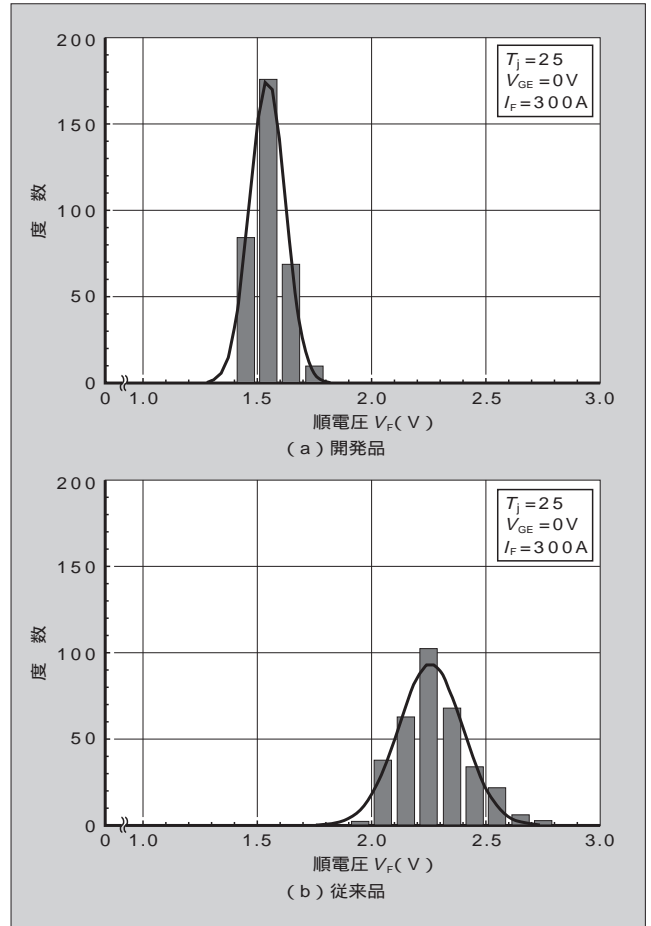


図7 順電圧特性 (300 A モジュール)



た。図6に、 $T_j = 125$ における、FWD チップでの逆回復損失と V_F の関係を、従来チップのトレードオフラインと比較して示す。図6に示すように、今回開発したFWD

図8 順電圧分布 (300 A モジュール)



チップでは、逆回復損失を増加させることなく V_F を低減した。図7および図8に、300 A モジュールにおける $T_j = 25$ および 125 でのFWD 順電圧特性と、 $T_j = 25$ における V_F 分布を、それぞれ従来品の特性和と比較して示す。図7および図8に示すように、今回の開発品では先に述べた最適化によって、 V_F 温度依存性を抑えた。さらに $T_j = 25$ において V_F を約 0.5V 低減し、 V_F のばらつきを約半分 に低減させることができた。

3.2.2 FWD の発生損失

コンバータ回路に適用される IGBT モジュールは、力行時にはFWD が整流動作を行い V_F 損失を発生する。また、回生時には IGBT が高速スイッチング動作を行い、スイッチング損失とコレクタ-エミッタ間飽和電圧 ($V_{CE(sat)}$) 損失を発生する。一方、回生時のFWD は図9に示すような逆回復動作を行い、逆回復損失と V_F 損失の双方を発生する。図6に示すように逆回復損失と V_F との間には、 V_F を下げると逆回復損失が増加するというトレードオフ関係がある。したがって、トータルの発生損失を最小とするには、FWD の回生時の発生損失と V_F のトレードオフライン上で、 V_F の狙い目を最適化することが必要である。

図10に、 $T_j = 125$ におけるFWD の発生損失と $T_j = 25$ における V_F との関係を、また、図11に $T_j = 125$ におけるFWD の回生動作時の発生損失内訳を、それぞれ従来品と比較して示す。また、FWD における回生時の発

図9 FWDの逆回復波形(300Aモジュール)

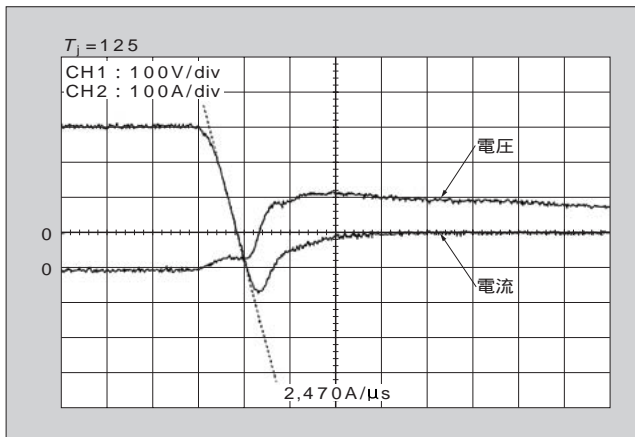
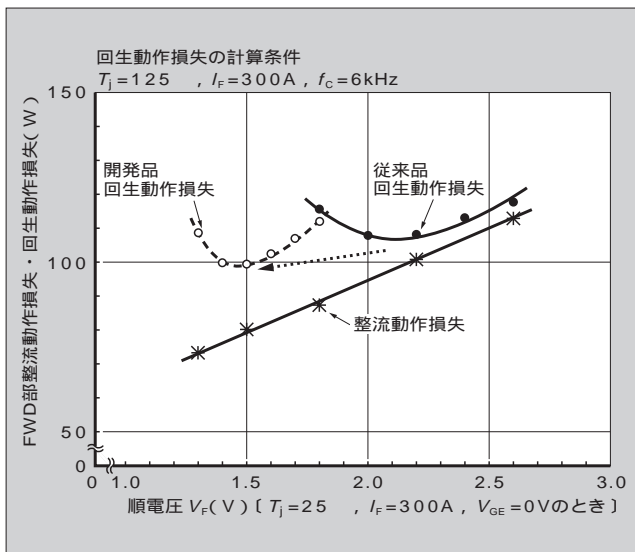


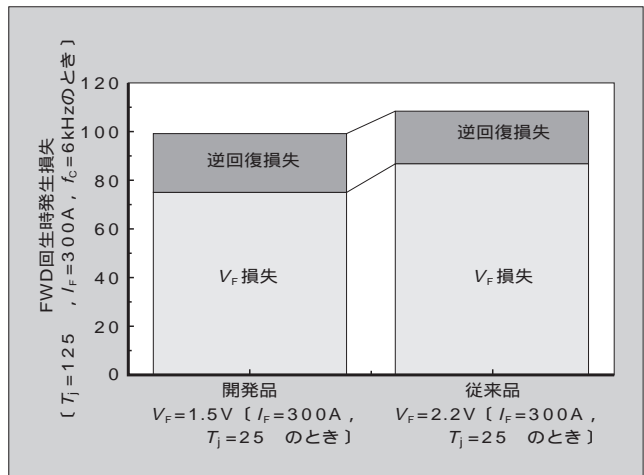
図10 FWD発生損失とVFの関係(300Aモジュール)



生損失を最小とするため、 $T_j = 25$ での V_F の標準値を 1.5V としている。また、逆回復損失の増加を抑えつつ V_F 損失の低減を図っており、FWDの回生動作時の発生損失を、従来品に対し約 10% 低減させた。また、FWDの整流動作損失は、 V_F の低減により、従来品に対し約 20% 低減させた。

以上の FWD の発生損失の低減により、FWD の温度上昇が抑えられ、コンバータ用途における FWD の高信頼性が可能である。

図11 FWD回生時発生損失内訳(300Aモジュール)



4 あとがき

以上、コンバータ用途として新たに開発した IGBT モジュールの、製品系列および技術開発内容について紹介した。これらのモジュールは、既存の適用分野はもちろんのこと、新分野への適用が拡大し、適用装置の性能を向上させ、市場の期待に寄与できるものと確信している。

富士電機では、今後さらに技術革新を重ね、パワーデバイスの高性能化、高機能化、高信頼性化に取り組み、多様化する市場要求に合った製品を開発していくことにより、パワーエレクトロニクス産業のさらなる発展に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 西浦彰ほか：第三世代 IGBT の開発，富士時報，Vol.65，No.3，p.203-206（1992）
- (2) 有川典男ほか：インバータ用半導体デバイス，富士時報，Vol.68，No.5，p.289-296（1995）
- (3) 宮下秀仁ほか：IGBT モジュール，富士時報，Vol.70，No.4，p.231-236（1997）
- (4) 中島修ほか：小・中容量産業用 NPT-IGBT モジュール，富士時報，Vol.71，No.2，p.112-116（1998）
- (5) 柳瀬孝雄ほか：インバータ・サーボ技術の現状と展望，富士時報，Vol.70，No.12，p.615-618（1997）



*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。