

電鉄向け 3.3kV SiC ハイブリッドハイパワーモジュール

3.3-kV SiC Hybrid High Power Modules for Railcars


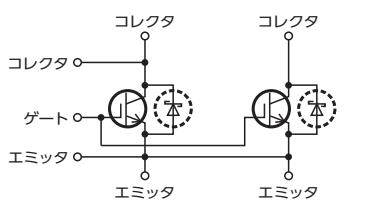

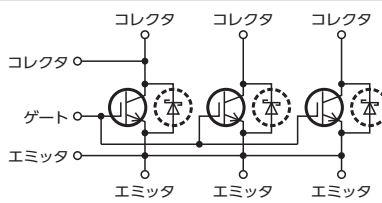

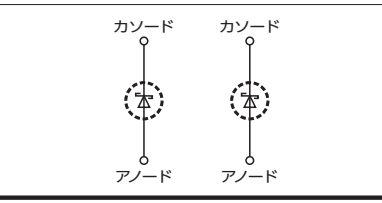
関野 裕介* SEKINO, Yusuke

森谷 友博* MORIYA, Tomohiro

近年、鉄道や太陽光発電、風力発電などのインフラ分野をはじめとしたさまざまな分野で、パワーエレクトロニクス装置の高出力化と小型化が求められている。そのため、電力変換装置に搭載されるパワー半導体モジュールは、さらなる低損失化と高パワー密度化が必要である。

富士電機は、さらなる低損失化を実現するために、最新の第7世代「Xシリーズ」Si-IGBT チップを搭載した IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と、FWD (Free Wheeling Diode) に SiC (炭化けい素) 半導体の SBD (Schottky Barrier Diode) チップを搭載した電鉄向け 3.3 kV SiC ハイブリッドハイパワーモジュール (HPM : High Power Module) を開発した (表1)。

表1 電鉄向け SiC ハイブリッド HPM および SiC-SBD HPM

パッケージ	等価回路
 M155	 <p>○ Xシリーズ IGBT ⊗ SiC-SBD</p> <p>コレクタ コレクタ</p> <p>コレクタ</p> <p>ゲート</p> <p>エミッタ エミッタ</p> <p>エミッタ</p>
 M156	 <p>コレクタ コレクタ コレクタ</p> <p>コレクタ</p> <p>ゲート</p> <p>エミッタ エミッタ エミッタ</p> <p>エミッタ</p>
 M278	 <p>カソード カソード</p> <p>カソード</p> <p>アノード アノード</p> <p>アノード</p>

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部産業事業部産業モジュール部

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部開発統括部デバイス開発部

1 特徴

Xシリーズ Si-IGBT チップと SiC-SBD チップを組み合わせた電鉄向け 3.3 kV SiC ハイブリッド HPM は、従来品の Si-IGBT HPM と同じパッケージを採用し、パッケージの互換性を持たせた (表1)。また、最新技術の IGBT チップと SiC-SBD チップを採用することにより、従来品の Si-IGBT HPM に比べてインバータ発生損失は 40% 以上低減した。

1.1 製品系列

表2 に SiC ハイブリッド HPM の製品系列を示す。1 in 1 回路構成の 3,300 V/1,200 A、3,300 V/1,800 A SiC ハイブリッド HPM と 3 レベル回路用に 3,300 V/900 A SiC-SBD HPM を開発した。

1.2 インバータの発生損失比較

M155 パッケージ 3,300 V/1,200 A 定格品と同じパッケージの従来品 Si-IGBT HPM を使用した場合の、インバータの発生損失を比較した。運転条件は日本の在来線の運転条件を参考に、キャリア周波数 1.0 kHz、電流 314 A_(rms) [力行 (りきこう)]、電流 508 A_(rms) (回生)、 $V_{CC}=1,500$ V、力率 ± 0.9 で計算した。図1 に在来線運転条件によるインバータ発生損失を計算した結果を示す。SiC ハイブリッド HPM は従来品の Si-IGBT HPM と比べ、インバータの発生損失が力行条件では 52%、回生条件では 39% 低減した。Xシリーズ IGBT チップの採用により、IGBT の導通時の発生損失 P_{sat} が 33% 低減し、SiC-SBD の採用によりターンオン時の発生損失 P_{on} が 65% 低減、逆回復時の発生損失 P_{rr} が 95% 低減したことにより、インバータの発生損失を大幅に低減できる。

表2 SiC ハイブリッド HPM の製品系列

パッケージ	回路構成	外形寸法 W×D×H (mm)	定格電圧 (V)	定格電流 (A)
M155	1 in 1	140×130×38	3,300	1,200
M156		140×190×38		1,800
M278	ダイオード (2 in 1)	140×130×38		900 (2 in 1)

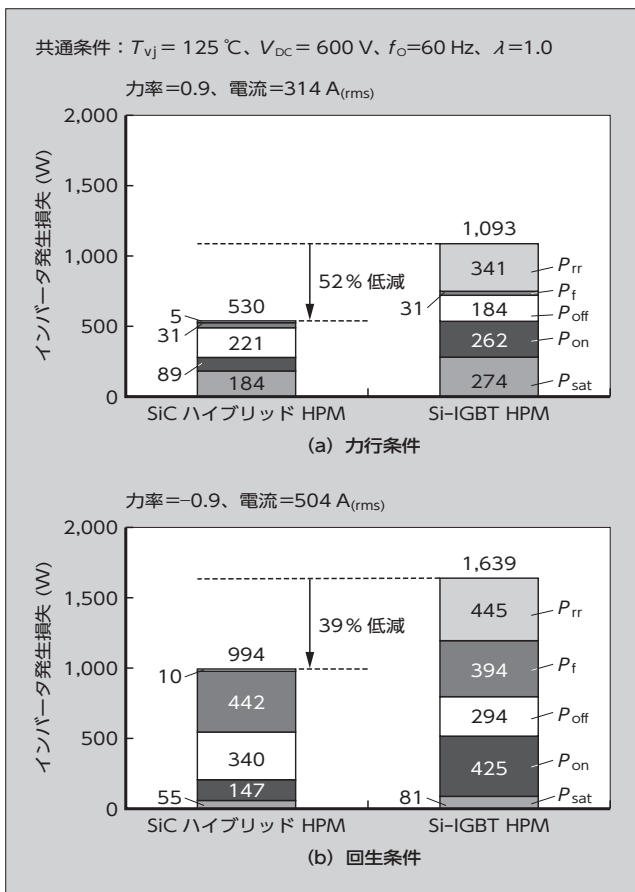


図1 在来線運転条件によるインバータ発生損失の計算結果

2 背景となる技術

2.1 X シリーズ IGBT のターンオフ損失と $V_{CE(sat)}$ の低減

図2に、3.3 kV X シリーズ IGBT のターンオフ損失とコレクタ・エミッタ電圧 $V_{CE(sat)}$ のトレードオフ特性を示す。X シリーズ IGBT の特徴であるチップのドリフト層の薄化とトレンチゲート構造の微細化技術により、従来品の Si-IGBT HPM に対してターンオフ損失が同じ条件で、 $V_{CE(sat)}$ が 1.0 V 低くなった。

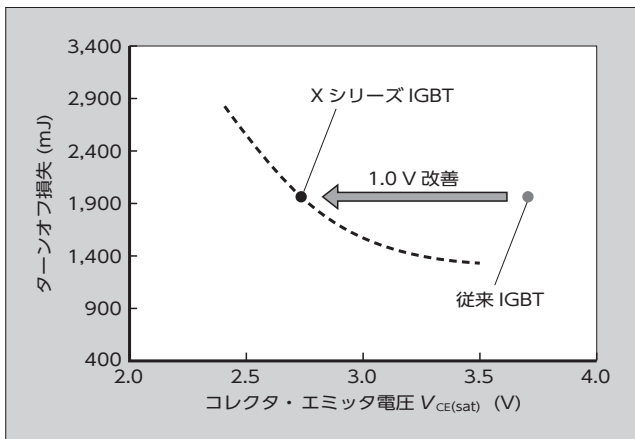


図2 3.3 kV IGBT のターンオフ損失と $V_{CE(sat)}$ トレードオフ特性

2.2 SiC-SBD の搭載によるスイッチング損失の低減

図3に、SiC ハイブリッド HPM と従来品の Si-IGBT HPM の逆回復時スイッチング波形の比較を示す。ユニポーラデバイスである SBD では、少数キャリアの注入がないことから逆回復時のピーク電流が小さくなる。表3に示すように、従来品の Si-IGBT HPM に比べて、新製品である SiC ハイブリッド HPM の逆回復損失は 98% 低減している。

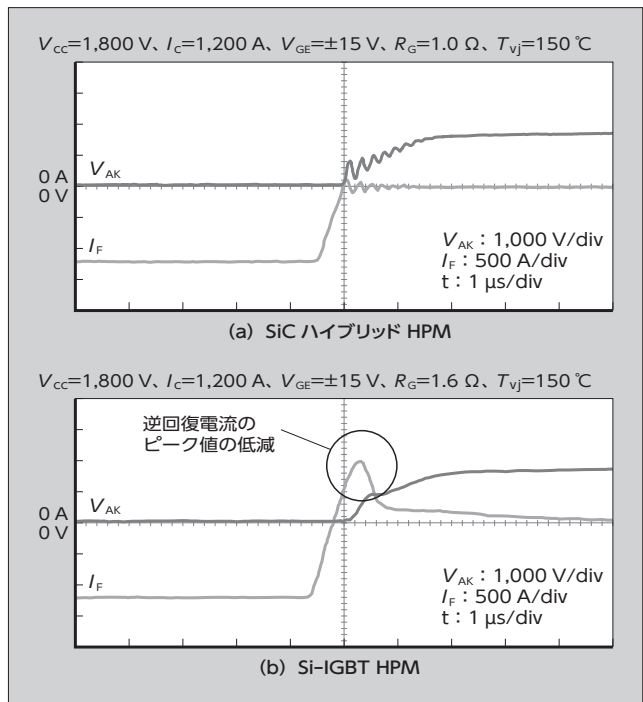


図3 逆回復時スイッチング波形の比較

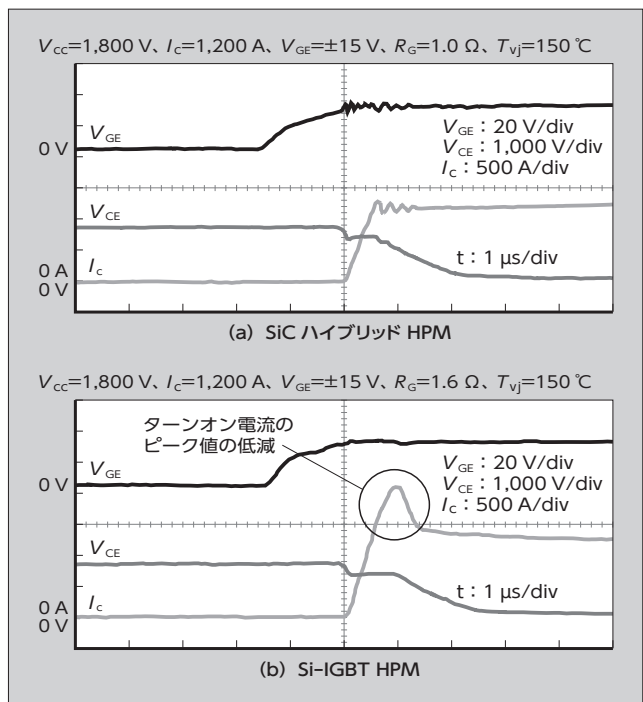


図4 ターンオン時スイッチング波形の比較

また、FWD における逆回復時のピーク電流は、対向アームの IGBT におけるターンオン時のピーク電流にも影響する。したがって、ターンオン時のスイッチング損失も低減できる。図 4 に、SiC ハイブリッド HPM と従来品の Si-IGBT HPM のターンオン時スイッチング波形の比較を示す。逆回復時のスイッチング波形と同様に、ターンオン時のピーク電流が低減し、従来品の Si-IGBT HPM に比べてターンオン損失が 51% 低減した（表 3）。

表 3 スwitching損失比較

項目	新製品 SiC-IGBT HPM	従来品 Si-IGBT HPM	改善率*
ターンオン損失 (mJ)	1,425	2,933	51%
ターンオフ損失 (mJ)	1,900	1,957	3%
逆回復損失 (mJ)	30	1,548	98%

*改善率(%) = (従来品 - 新製品) / 従来品

発売時期

2021 年 3 月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
電子デバイス事業本部営業第一部
電話 (03) 5435-7152



*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。