

3417 4.5kV ハイブリッド SiC モジュールを用いた 鉄道車両用 PMSM の駆動実証試験

正 [電] ○野木 雅之 (東芝)

正 [電] 田井 裕通 (東芝)

正 [電] 葛巻 淳彦 (東芝)

正 [電] 中沢 洋介 (東芝)

正 [電] 餅川 宏 (東芝)

Evaluation Test on PMSM Traction System for Railway Vehicle using 4.5kV Hybrid SiC Modules

Masayuki NOGI, Hiromichi TAI, Atsuhiko KUZUMAKI, Yosuke NAKAZAWA, and Hiroshi MOCHIKAWA

Toshiba co. l, Toshiba-Cho, Fuchu-Shi, Tokyo

This paper examines evaluation test results on PMSM traction system for railway vehicle using 4.5kV 150A class hybrid SiC modules. In the operation bench tests, the PMSM with the inertia load is accelerated to the maximum speed of 300km/h and stopped by a regenerating brake. The developed inverter is operating properly under high-voltage tests. To evaluate a loss reduction by SiC modules, temperatures at several points of cooling fin surface are measured under heat run tests with a power running. The temperatures at the surface of the cooling fin are decreased by 24K by using developed hybrid SiC modules.

Keywords : SiC, Hybrid SiC Module, SiC-PiN Diode, PMSM, Traction System

1. はじめに

省エネルギーな鉄道車両用の駆動システムとして永久磁石式同期電動機 (PMSM) が注目されており、導入路線では 20% 近くの省エネルギー効果が得られたという報告もされている⁽¹⁾。

一方で PMSM 駆動システムは 1 インバータで 1 モータを駆動するシステムであるため、1 車両 4 個モータ制御の電動車では 4 つのインバータ回路で駆動する必要があり、変換器が大型化するという問題がある⁽²⁾。

DC3000V クラスの PMSM 用インバータでは、従来 4.5kV の Si デバイスを用いた 2 レベル駆動を実施してきたが、発生するデバイス損失冷却のためにモジュールの冷却面積を大きくせざるを得なかった。

そこで、変換器損失の低減を目的として、4.5kV-150A のハイブリッド SiC-IEGT モジュールを試作し、ミニモデルのインバータで PMSM の駆動試験を実施、損失低減効果の実証を試みたので報告する。

2. 4.5kV 150A SiC ハイブリッド試作モジュール

試作した 4.5kV 150A の SiC-PiN-Diode を有する 2in1 ハイブリッドモジュールを図 1 に示す。

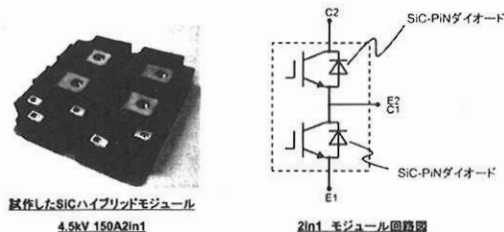


Fig.1 4.5kV 150A Hybrid-SiC Prototype Module

スイッチングデバイスには従来から使用している 4.5kV の Si-IEGT を適用し、環流ダイオードに今回開発した 4.5kV の SiC-PiN Diode を適用している。

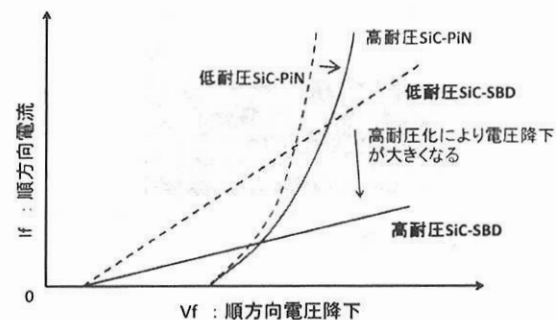


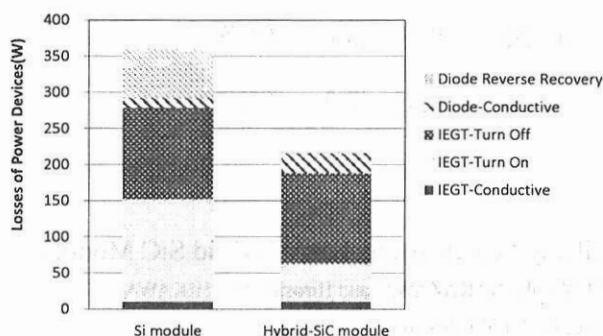
Fig.2 Diode characteristics

環流ダイオードに適用する SiC ダイオードは、SBD タイプ⁽²⁾か PiN タイプの選択が考えられる。4.5kV の高耐圧デバイスへの適用を考えた場合、SBD を高耐圧化すると順方向電圧降下が大きくなり、損失が大きくなると考えられる。一方で、PiN では SBD ほど、順方向電圧降下は大きくならず、高耐圧化しても導通には有利な特性である (図 2)。そこで、今回の試作モジュールでは PiN タイプを選択することとした。

3. スイッチング試験による変換器損失推定

試作した 4.5kV 150A のハイブリッド SiC モジュール、同 Si モジュールに対して共通のゲート抵抗値 (on/off: 18 Ω) でスイッチング試験を実施し、その結果を基にモータ (PMSM) 駆動時の変換器損失算定を行った。計算は PMSM 駆動用インバータで最も損失の大きくなる動作条件で実施した。算定した変換器損失を図 3 に示す。ハイ

ブリッド SiC モジュールを適用することでリカバリ損失は 99%低減、ターンオン損失は 62%低減し、全体で 40%の損失低減の見込みが得られた。



計算条件：直流 2800V, インバータ周波数 112Hz
キャリア周波数 1.5kHz, モータ電流 43.4Arms
線間電圧 916Vrms, 力率 65%

Fig.3 Power device losses

4. PMSM駆動試験による評価

試作した素子モジュールを用いて PMSM 駆動実証試験の 2 レベルインバータ (図 4) を製作した。左側が従来形の Si デバイスのインバータで、右側が今回試作したハイブリッド SiC モジュールを適用したインバータである。どちらの素子も 4.5kV 150A の素子定格で、駆動時のゲート抵抗は 18Ω で共通とした。冷却は強制風冷の吹き上げ式で、温度評価を実施するためにそれぞれ同一の冷却器構造とした。

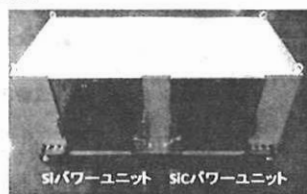


Fig.4 Test inverter for comparing SiC device to Si device

4.1 走向模擬駆動試験

図 4 のインバータを用いて DC2800V 下で鉄道車両用 PMSM の走向模擬駆動試験を実施した。高速鉄道車両を想定し、300km/h まで加速、惰行の後 250km/h から停止まで減速するランカーブを設定した。図 5 のチャートに示すとおり、一連の駆動が問題なく行えることを確認した。

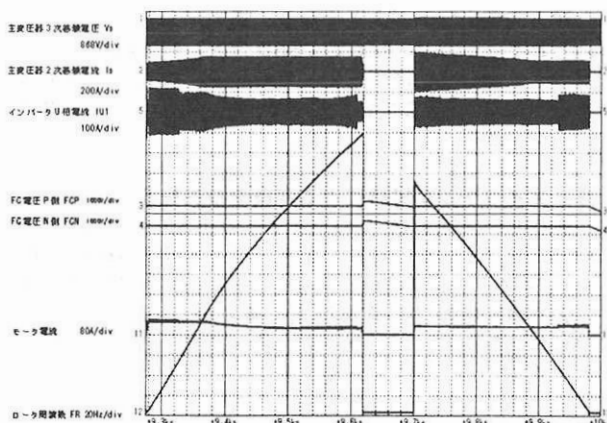


Fig.5 Operation charts of the bench test

4.2 ヒートラン試験

前述した変換器損失の計算に用いた条件である直流 2800V, インバータ周波数 112Hz にて力行ヒートラン試験を実施した。放射温度計による冷却フィンの温度測定結果を図 6 に示す。また、冷却風の入風温度及び冷却フィンの最高温度を表 1 に示す。

冷却フィンの温度は Si のパワーユニットが 80℃に達しているのに対し、ハイブリッド SiC モジュールを適用したパワーユニットは 55℃であった。冷却フィン最高温度から入風温度を差し引いた温度上昇値で評価すると Si のパワーユニットが 65K であるのに対し、ハイブリッド SiC モジュールのパワーユニットは 39.8K であった。SiC の Si 温度上昇低減率は 38.8%であり、算定した損失と同程度の損失低減効果が得られることが確認できた。

この変換器損失低減効果により、従来素子モジュールの 2/3 程度の冷却面積で冷却可能な見通しが得られたと考えられる。

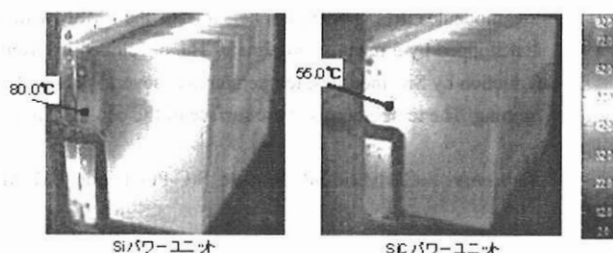


Fig.6 Measurements of power unit cooling fin

Table 1 Temperature of cooling fin and cooling air

方式	冷却フィン最高温度	入風温度	温度上昇 ΔT	温度低減率
	℃	℃	K	% (Si 比)
Si	80.0	15.0	65.0	
ハイブリッド SiC	55.0	15.2	39.8	38.8

5. まとめ

DC3000V 級の永久磁石式同期電動機 (PMSM) の駆動用インバータ回路の小型化を阻害しているパワーユニット部の変換器損失について、SiC-PiN ダイオードを適用したハイブリッド SiC モジュールを適用することで、発生損失の低減を試みた。4.5kV150A の SiC モジュールを試作し、DC2800V 下で高速鉄道車両用 PMSM の駆動試験を実施、38.8%の損失低減効果を実証した。

謝辞

本研究の一部は独立行政法人新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)の助成を受けて実施した成果である。この研究を進めるにあたり、ご協力いただいた独立行政法人新エネルギー産業技術総合開発機構の関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 川合, 春原他, 低騒音と省エネを実現した東京メトロ丸の内車両用の PMSM 主回路システム, 東芝レビュー, Vol.64, No.9, P.6-9, 2009
- 2) 戸田, 清水他, SiC ダイオードを適用した鉄道用 PMSM ドライブインバータの小型化, 平成 24 年電気学会産業応用部門大会論文集 (第 1 分冊), P.69-72, 2012