

xEV 向け DC/DC コンバータ用モジュール

DC-DC Converter Module for xEV

草刈 伸治 KUSAKARI, Nobuharu

北村 祥司 KITAMURA, Shoji

香月 尚 KATSUKI, Takashi

米国の ZEV (Zero Emission Vehicle) 規制や、日本、欧州、中国における CO₂ 排出規制の強化に伴い、ハイブリッド自動車などの電動車 (xEV) の市場は世界規模で急速に拡大している。富士電機は、産業用の小容量モジュールで培った技術を応用して、xEV 向け DC/DC コンバータ用モジュールを開発した。本開発品は、フルブリッジ方式向けの回路構成とし、一次側にスーパー Junction 構造のパワー MOSFET、二次側に SBD を搭載することにより、車載向けモジュールとしての安全性を確保し、DC/DC コンバータシステムの実装面積を 40% 低減した。

The market for electric vehicles (xEVs), such as hybrid vehicles, is rapidly expanding worldwide in response to the zero emission vehicle (ZEV) regulations in the United States and the strengthening of CO₂ emission regulations in Japan, Europe and China. Fuji Electric has developed a DC-DC converter module for xEVs by applying the technology it has developed in small capacity modules for industrial applications. This newly developed product is designed for a full-bridge circuit and uses power MOSFETs with a super-junction structure on the primary side and SBDs on the secondary side. They are thus safely used for automotive applications while reducing the footprint of a DC-DC converter system by 40%.

1 まえがき

米国の ZEV (Zero Emission Vehicle) 規制や、日本、欧州、中国における CO₂ 排出規制の強化に伴い、ハイブリッド自動車やプラグインハイブリッド自動車などの電動車 (xEV) の市場は世界規模で急速に拡大している。このような中、xEV 向けの DC/DC コンバータ用モジュールを開発したので、その内容について述べる。

2 xEV における電力変換装置

xEV には、高圧バッテリーの直流電源を昇圧してインバータに電力を供給する昇圧コンバータ、走行モータ駆動用の交流に変換するインバータや低電圧の車載電装品である ECU (Electronic Control Unit)、電動パワーステアリング、ランプ、ワイパー、カーナビゲーションシステムなどに必要な電力を供給するために、高電圧を降圧する DC/DC コンバータなど、多くの電力変換装置が搭載されている (図1)。

富士電機はこれまで、xEV の走行モータ駆動用インバータ向けや、昇圧コンバータ向けのパワー半導体製品を量産化している。

また、DC/DC コンバータや電動パワーステアリングなどの変換回路向けに、ディスクリートの MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) やダイオードなどの製品も量産化している。

近年、車両の安全性や利便性・快適性を向上するために電装品が従来に増して使われるようになってきている。一方、クラッシュブルゾーン^(注)や室内空間を確保するため、電力変換回路には小型化が強く求められている。また、これら電力変換回路は、高圧バッテリーに直接接続されるため、

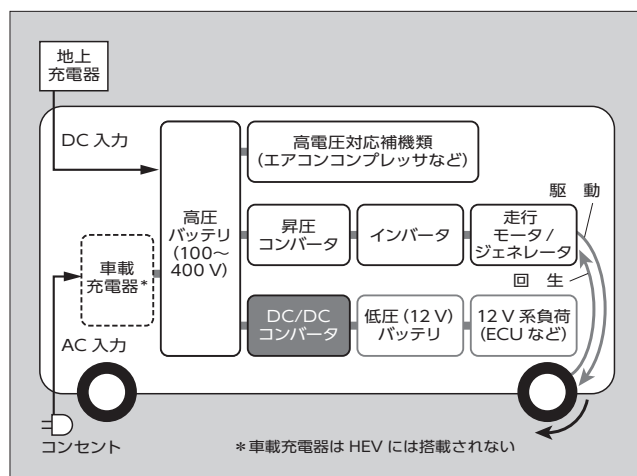


図1 xEV のブロック図

安全性確保のための高い絶縁性能が求められる。

富士電機は、産業用の小容量モジュールで培った技術を応用して、xEV 向け DC/DC コンバータ用モジュールを開発した (図2)。従来の DC/DC コンバータは、複数のディスクリート製品を組み合わせ、さらに絶縁シートで高電圧部を覆い車体との絶縁や点検時の安全性を確保していた。本製品は、複数の半導体素子を樹脂封止パッケージに高密度に実装し、高電圧部の絶縁も確保しているため、安全性の向上を図りながら大幅な小型化が可能となった。

(注) クラッシュブルゾーン：前方のボンネット部分のように、客室部分よりやや柔構造に作られ、衝突時につぶれて衝撃を吸収するようにした部分である。

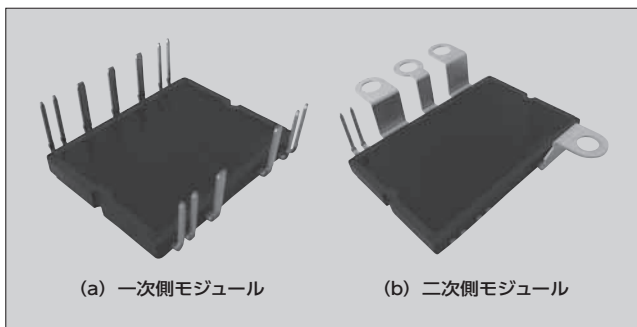


図2 DC/DC コンバータ用モジュール

3 製品概要

DC/DC コンバータは、DC（直流）を異なる電圧の DC（直流）に昇圧、降圧もしくはその両方の動作を行う機器である。出力電力に応じて回路方式はフォワード方式やブリッジ方式などがある。今回開発した DC/DC コンバータ用モジュールは、数 kW と比較的大容量に対応できるフルブリッジ方式向けの回路構成となっている（図3）。フルブリッジ方式では、高圧バッテリー側の一次側モジュールと二次側モジュールをトランスにより電気的に絶縁する必要があるため、一次側と二次側に分けて別々のモジュールとしている。

一次側モジュールは、スーパージャンクション（SJ：

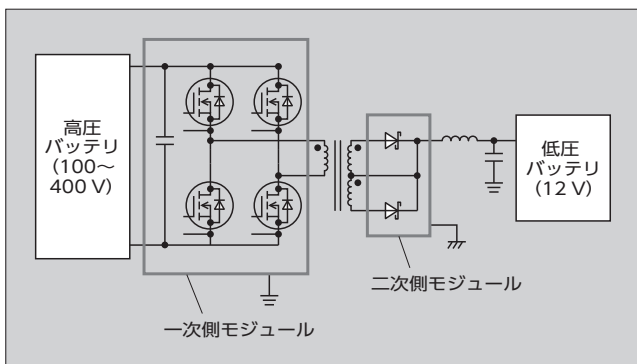


図3 DC/DC コンバータ用モジュールの等価回路図

Super Junction) 構造のパワー MOSFET (SJ-MOSFET) チップを搭載したフルブリッジ回路構成であり、入力端子側にノイズを抑制するためにスナバコンデンサを内蔵している。

二次側モジュールは、ショットキーバリアダイオード (SBD：Schottky Barrier Diode) チップを搭載したカソードコモン回路構成である。本製品の概要と特徴は次のとおりである。

- (a) 外形はディスクリット品と同等レベルの薄型で、リード端子をパッケージ左右に配置する。
 - 一次側モジュール：W42.0×D33.0×H4.7 mm
 - 二次側モジュール：W54.0×D35.4×H4.7 mm
- (b) リード端子は、すずめっき処理により直接プリント基板へのはんだ実装が可能である。
- (c) 金属絶縁基板により、従来ディスクリット品の実装時に必要であった絶縁シートなどの追加部品が不要となり、組立工程の簡略化が可能である。

表1にラインアップと主要特性を示す。DC/DC コン

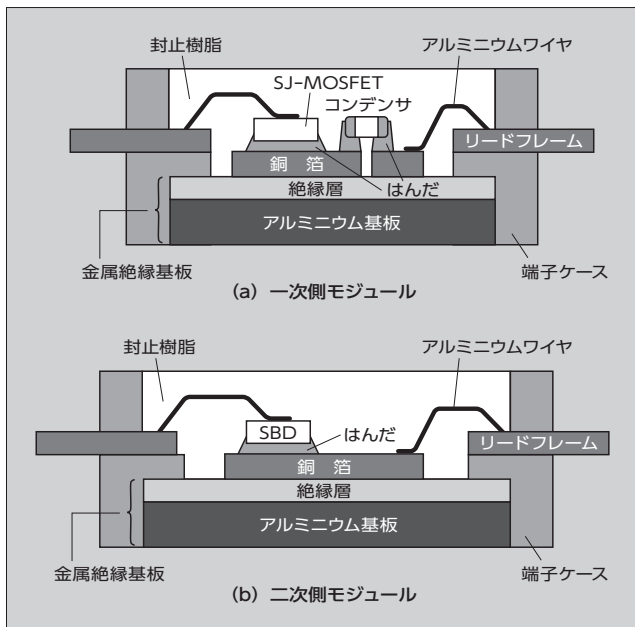


図4 DC/DC コンバータ用モジュールの断面構造

表1 DC/DC コンバータ用モジュールのラインアップと主要特性

項目	一次側モジュール		二次側モジュール	
外形寸法 (mm)	W42.0×D33.0×H4.7		W54.0×D35.4×H4.7	
搭載チップ	SJ-MOSFET		SBD	
BV_{DSS} (V)	600		—	
V_{RM} (V)	—		120	
I_D (A)	15	23	—	
I_F (A)	—		120	150
$R_{DS(on)}$ (mΩ)	125 max.	70 max.	—	
I_R (μA, $V_R=14$ V時)	—		15	30
V_F (V, $I_F=$ 定格)	—		0.96 max.	0.91 max.
V_{iso} (V)	3.0 k		1.7 k	

バータの出力容量に合わせた定格電流の違いにより、一次側モジュールおよび二次側モジュールそれぞれ2種類を系列化している。

図4にDC/DCコンバータ用モジュールの断面構造を示す。一次側モジュールには、金属絶縁基板上にSJ-MOSFETチップ、低ノイズ化のためのスナバコンデンサ、二次側モジュールにはSBDを搭載している。

4 背景となる技術

4.1 金属絶縁基板技術

DC/DCコンバータ用モジュールでは、車載用で要求される小型化を実現する上で必要となる高放熱性と絶縁信頼性を確保するため、基板の絶縁層中のフィラーを最適化することにより、熱伝導率を改善し、従来品に対して熱抵抗を約10%低減した。

また、一般的なエポキシ系有機絶縁材よりも優れた絶縁性を持つ高分子系樹脂絶縁材を絶縁層のベースとなる材料として採用することで、高い絶縁信頼性を確保した(図5)。

さらに、産業用モジュールで採用している金属絶縁基板の技術を基に、放熱板にはアルミニウムを採用した。アルミニウム板の厚さを最適化することにより放熱板の反りを抑制し、放熱性能を両立している。

4.2 一次側モジュール技術

一次側モジュールのフルブリッジ回路に搭載しているSJ-MOSFETは、スーパージャンクション構造の不純物濃度を最適化することで耐圧特性を改良した。また、単位面積当たりのオン抵抗 $R_{on} \cdot A$ の低減により、一次側モジュール内の限られたスペースに搭載可能なチップサイズで600V/70mΩを実現した。

さらに、通常はプリント基板に実装するスナバコンデンサをモジュールに内蔵することで、スイッチングデバイスとスナバコンデンサ間の放射ループ面積を大幅に小さくするとともに、スナバコンデンサの冷却を可能にしている。これにより、放射ノイズを低減し信頼性を向上した。

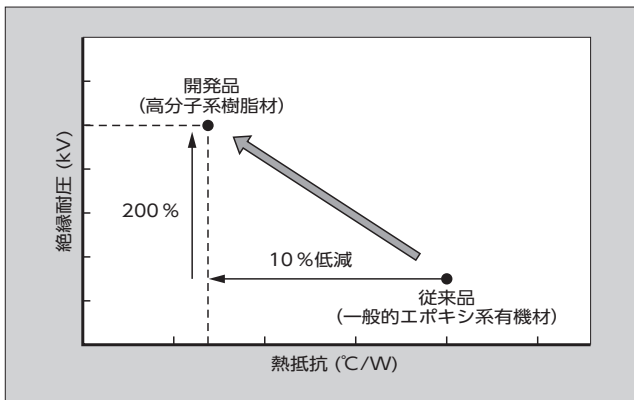


図5 絶縁層材比較

4.3 二次側モジュール技術

二次側モジュールには、バリアメタル材を最適化した低い逆電流 I_R かつ低い順電圧 V_F のSBDを搭載しており、動作時の損失を改善すると共に、動作停止時の低電圧バッテリーの自然放電を抑制している。

従来のSBDを用いた二次側モジュールでは、スイッチング時のサージ電圧により耐圧構造部に局所的な電界集中が起こり、破壊する可能性があった。そのため、サージ電圧を吸収するサージクランプ回路をSBDと並列に配置する必要があった(表2)。

本製品では、このスイッチング時のサージ電圧印加による電界集中を緩和するために、耐圧構造を最適化した(図6)。

これにより、スイッチング時のサージ電圧耐量の代替特性であるリカバリー破壊耐量の許容ピーク電流値が約3倍に向上し(図7)、サージクランプ回路が不要になった。

表2 二次側モジュールの回路構成と波形イメージ

項目	開発品	従来品
回路構成		
波形イメージ		

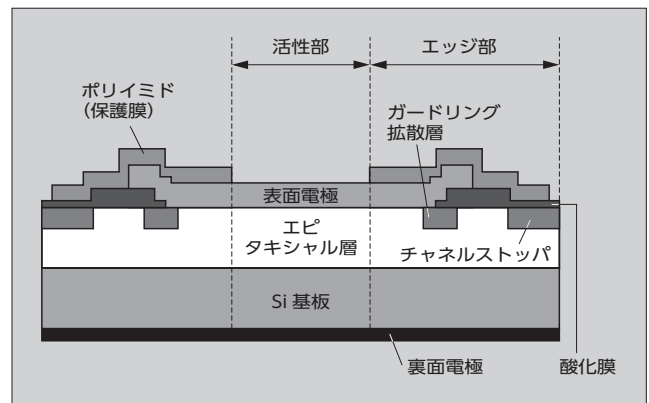


図6 SBD断面図(イメージ図)

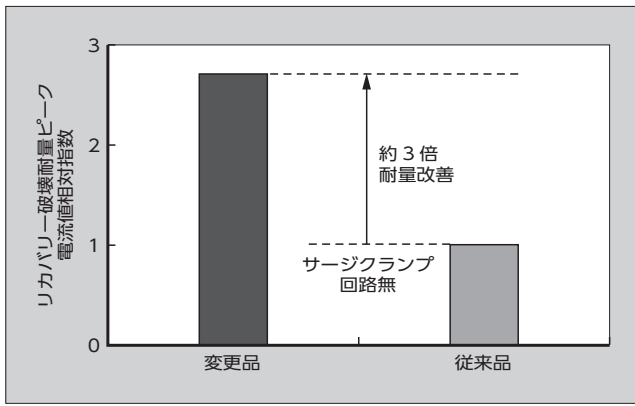


図7 サージ電圧耐量の比較

5 適用効果

前述の技術により、DC/DC コンバータ用モジュールは車載向けモジュールとしての安全性が確保でき、DC/DC コンバータシステムの実装面積を 40% 低減した (図8)。

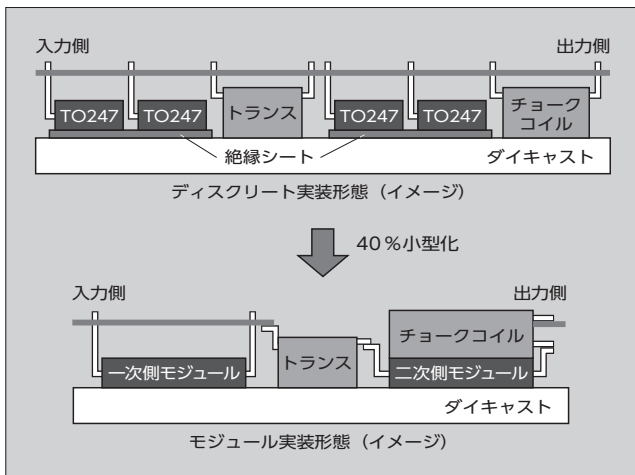


図8 DC/DC コンバータシステムの実装面積比

6 あとがき

xEV 向け DC/DC コンバータ用モジュールについて述べた。

今後も技術革新を追求することで、システム全体での省エネルギーおよび小型化に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) Fujihira, T. Theory of Semiconductor Superjunction Devices. Japanese Journal of Applied Physics. Oct. 1997, vol.36, p.6254-6262.
- (2) 渡島豪人ほか. 自動車用ダイオード. 富士時報. 2003, vol.76, no.10, p.595-600.
- (3) 山田忠則ほか. インバータエアコン用小容量IPM. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.6, p.430-434.



草刈 伸治

DC/DC コンバータ用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電装事業部電装モジュール部チームリーダー。



北村 祥司

半導体デバイスの開発・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開発統括部デバイス開発部。



香月 尚

パワー半導体パッケージの開発・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開発統括部パッケージ開発部。日本機械学会会員。





*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。