

車載エアコン用 IPM

IPM for Automotive Air Conditioning System

手塚 伸一 TEZUKA, Shinichi

傳田 俊男 DENTA, Toshio

田村 隆博 TAMURA, Takahiro

富士電機は、自動車用エアコンの電動コンプレッサ向けに、三相インバータ回路と制御回路、保護回路を集積した車載エアコン用 IPM を開発した。本製品は、「X シリーズ」IGBT チップ技術と FWD チップ技術をベースに、車載用として最適化した低損失、低ノイズデバイスを採用した。これにより、定格 600 V/30 A 製品を自動車用エアコンの電動コンプレッサの制御に使用した結果、キャリア周波数 20 kHz による駆動において、ターンオフ時のサージ電圧を抑制しつつ、トータル損失を約 2% 低減できた。

Fuji Electric has developed an IPM that integrates a 3-phase inverter circuit, a control circuit and a protection circuit for the electric compressor in automotive air conditioning systems. This IPM is based on “X Series” IGBT chip and FWD chip technologies and utilizes low-loss and low-noise devices especially suited for automotive use. By applying this 600-V/30-A product to control the electric compressor in automotive air conditioning systems, it suppressed surge voltage during turn-off and reduced total loss by about 2% during operation at a carrier frequency of 20 kHz.

1 まえがき

近年、温室効果ガスの排出量増加による地球規模の気候変動の対策として、欧州、中国、北米、日本を中心に CO₂ 排出規制が強化されている。その中で、ハイブリッド自動車、プラグインハイブリッド自動車、電気自動車などの電動車の市場規模は急速に拡大している。

電動車に搭載されるエアコンシステムは、従来のエンジン車両とは異なり、コンプレッサを電動モータで駆動している。住宅エアコン向けと比較して空調容積は小さいが、車両の断熱性能が高くないため、消費電力が数 kW のコンプレッサを駆動する必要がある。この電力を確保するために、走行用モータの駆動電源と同じ高圧バッテリーに直接接続されており、省エネルギー（省エネ）性の確保と同時に安全性の確保が求められるシステムである。

今回、第 2 世代小容量 IPM (Intelligent Power Module) 技術^{(1),(2)}をベースに、電動車向けのエアコン用電動コンプレッサとして求められている、省エネ性、安全性、高出力周波数、高キャリア周波数駆動、低ノイズに対応した三相インバータブリッジ回路と制御回路、保護回路を一つのパッケージに内蔵した車載エアコン用 IPM を開発したので、その特徴について述べる。

2 製品概要

電動コンプレッサシステムそのものは、住宅エアコン向けと同じ三相インバータ回路により、ブラシレス DC モータを駆動する。しかし、コンプレッサおよびインバータ回路は、人に近い位置に搭載されることから、低騒音、低振動が必要である。そのため、高出力周波数、高キャリア周波数駆動に対応したパワーデバイスが求められる。

また、車両制御用のコンピュータ、ラジオなどの車載機器へのノイズ妨害の抑制も同時に求められている。

富士電機は 2015 年に、住宅エアコン向け、産業用インバータ向けに第 2 世代小容量 IPM を製品化しており、「X シリーズ」IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) チップ技術⁽³⁾を採用し、低損失と省エネ化を実現した。

これらの技術を基に開発した車載エアコン用 IPM の製品外観を図 1 に、主要特性を表 1 に示す。製品の外形は、W43.0×D26.0×H4.0 mm であり、小型パッケージを採用することで電動コンプレッサの小型化に貢献する。本製品は定格 600 V/30 A であり、各種保護機能を内蔵している。

図 2 に今回開発した車載エアコン用 IPM の内部等価回路を、図 3 にパッケージの断面構造を示す。車載エアコン用 IPM は、X シリーズの IGBT チップ技術と FWD (Free Wheeling Diode) チップ技術を基に低損失 IGBT と低ノイズ FWD を最適化した。これらの素子から構成される三相インバータブリッジ回路がアルミニウム絶縁基板上に実装されている。この三相インバータブリッジ回路のローサイドの IGBT を駆動するための制御回路として、LVIC (Low Voltage Integrated Circuit) を 1 チップ、さら

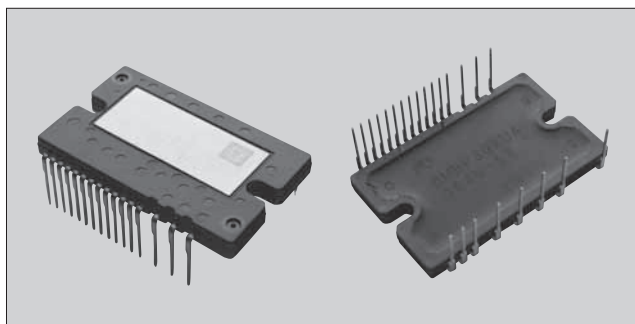


図 1 車載エアコン用 IPM

表 1 主要特性

項目	特性値
V_{CE}	600 V
I_C	30 A
$V_{CE(sat)}$	1.27 V (typ)
V_F	2.00 V (typ)
T_{VJ}	150 °C
V_{iso}	AC2.5 kV _(rms) *
保護機能	過電流遮断, 低電圧保護, リニア温度出力, アラーム出力

* リード端子とヒートシンク間の沿面距離および空間距離を2.5 mm以上確保時

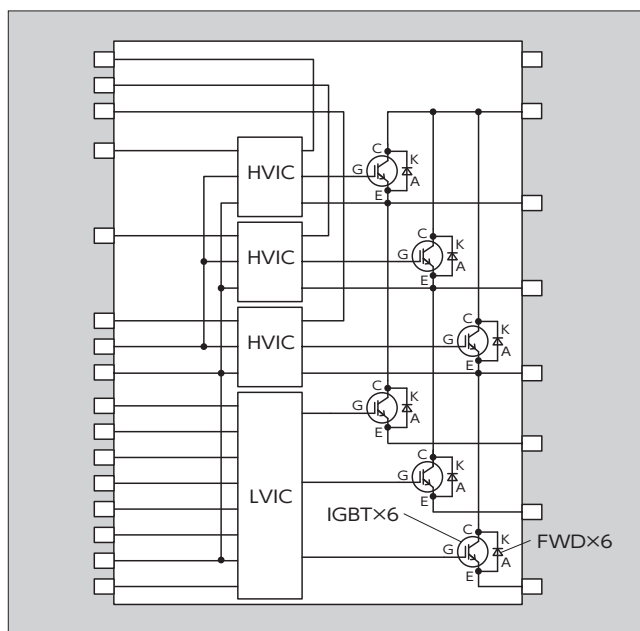


図 2 内部等価回路

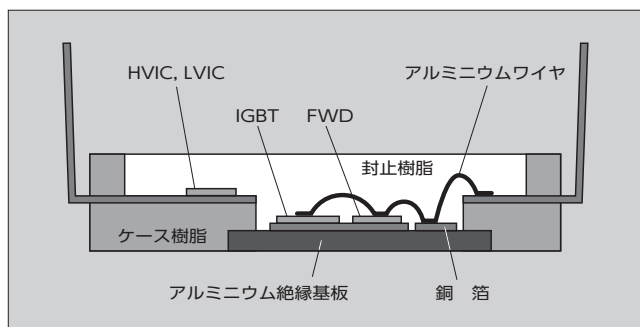


図 3 パッケージの断面構造

に、ハイサイドの IGBT を駆動するための制御回路として、HVIC (High Voltage Integrated Circuit) を 3 チップそれぞれリードフレーム上に実装している。

③ 製品設計

3.1 デバイス設計

本製品は、省エネ性を向上するため低損失化と、妨害ノイズの原因となるスイッチングノイズの低減を両立する設

計とした。

(1) IGBT の低損失, 低ノイズ化

図 4 に、車載エアコン用 IPM に搭載した X シリーズ IGBT チップの断面構造を示す。

X シリーズ IGBT チップ技術では、フィールドストップ構造をベースに、薄ウェーハ化と微細化を組み合わせている。

車載エアコン用 IPM 向けの素子とするため、 n^- ドリフト層の比抵抗と厚さならびに表面 n^+ のセルピッチの配置とチャンネル p 層の濃度を最適化することで導通損失の低減を図った。

また、高キャリア周波数駆動に対応するとともに、ターンオフ時サージ電圧を抑制するために、IGBT の裏面構造を最適化することで、ターンオフ損失の増加を最小化するとともに $-dI_c/dt$ を低減した。

(2) FWD のターンオン時の順方向電圧 V_F の低減

ターンオフ時のサージ電圧は、IGBT の $-dI_c/dt$ により発生する電圧だけでなく、FWD (Free Wheeling Diode) のターンオン時に過渡的に発生するダイオードの順方向電圧 V_F が重畳される。

そこで今回、ダイオード構造を最適化することで、図 5 に示すように、標準の X シリーズ FWD に比べ、本製品の FWD は、仕様耐圧の 600 V を確保しつつ、ターンオン時の V_F を約 67% 低減した。

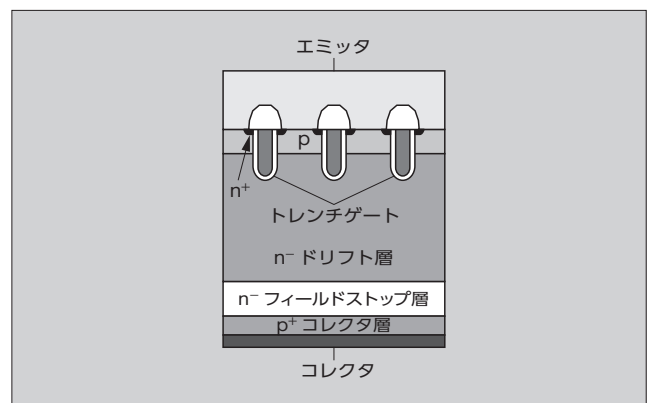


図 4 「X シリーズ」 IGBT チップ断面構造

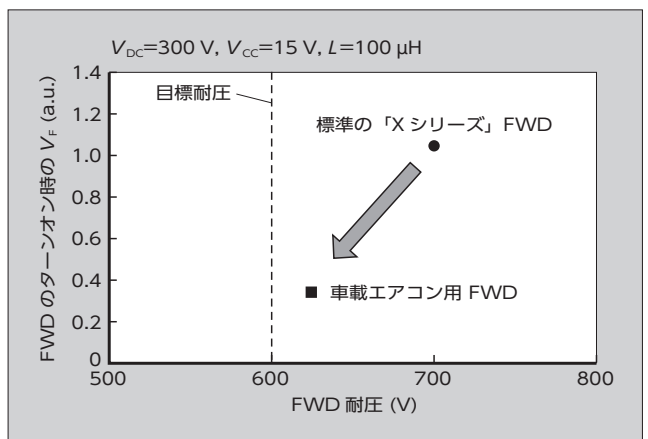


図 5 FWD ターンオン時の V_F と耐圧の特性

(3) 低損失, 低ノイズ化の効果

IGBT のターンオフ時 $-dI_c/dt$ および FWD のターンオフ時の V_f を低減した場合の、ターンオフ時スイッチング波形を図 6 に示す。図 7 に示すように、ターンオフ損失をほとんど変わらないレベルに抑制しつつ、サージ電圧を約 53% 低減した。なお、後述の図 8 に示すように全体損失は、従来と同等レベル以下を確保している。

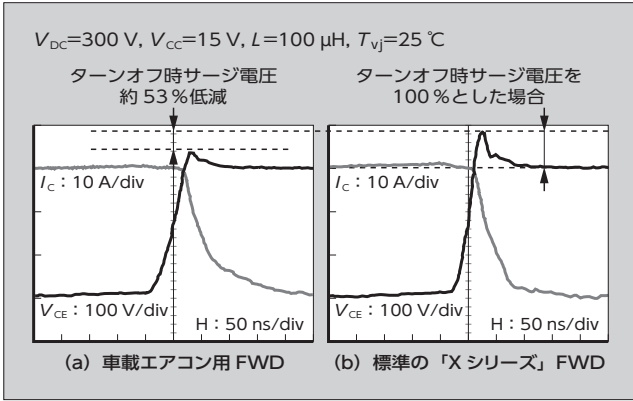


図 6 ターンオフ時スイッチング波形

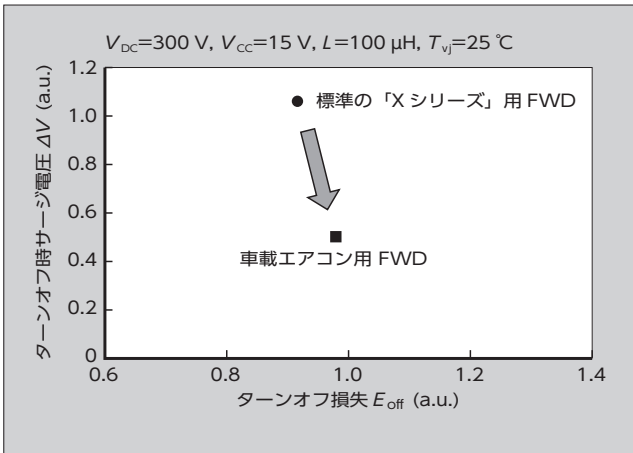


図 7 ターンオフ時サージ電圧とターンオフ損失のトレードオフ特性

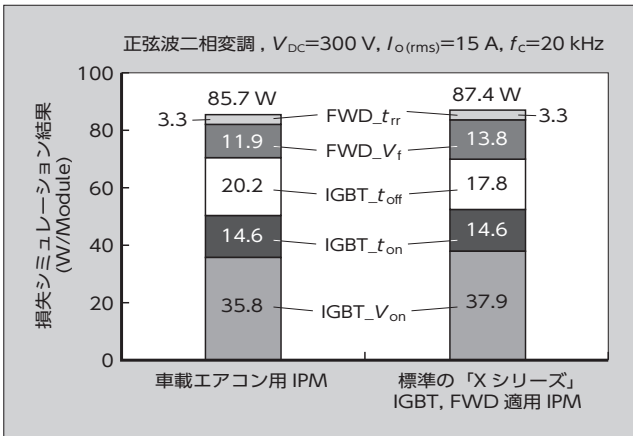


図 8 損失シミュレーション結果

表 2 信頼性試験結果 (主要項目)

試験項目	試験条件	保証値	結果
温度サイクル	低温側=-40℃ 高温側=+125℃ 各温度30分 (JESD 22 A-104 準拠)	1,000 cycles	77/77 OK

3.2 制御回路設計

車載エアコン用電動コンプレッサのインバータ回路を制御する ECU (Electric Control Unit) と呼ばれるマイコンからの信号を受けるため、車載エアコン用 IPM の入力端子は、3.3V と 5V の入力信号を受けることができる。

また、ハイサイドのドライブ回路は HVIC で構成されている。そのため、ドライブ回路用の外付けの電源が不要になるため、少ない外付け部品点数で三相インバータ回路が構成できる。

車載エアコン用 IPM に内蔵されている保護機能には、過電流遮断、低電圧動作保護、リニア温度出力およびアラーム出力がある。

リニア温度出力では、LVIC が内蔵する温度センサにより約 0℃ から 150℃ の範囲の温度を高精度に測定できる。この IPM のケース温度情報を外部に出力しており、IPM 温度を制御に利用することで安全設計も可能となる。

3.3 パッケージ設計

(1) 車載用途向け信頼性設計

車載用電動エアコンと走行用モータは、電源として高压バッテリーを共有しているため、走行用インバータと同等レベルの品質が要求される。

車載エアコン用 IPM のパッケージは、先行開発していた車載向け DC/DC コンバータ用モジュールと同様のアルミニウム絶縁基板を用いることで、絶縁耐圧確保と低熱抵抗を両立している。

表 2 に主要項目の信頼性試験結果を示す。パッケージの最適設計を行うことで、車載用電子部品の信頼性の規格である AEC-Q101 相当に準拠している。

(2) 自動実装への対応

車載エアコン用 IPM では、自動実装に対応するため、ケースの樹脂部のねじによる固定部を、長穴形状から切欠き構造に変更した (図 1 参照)。変更の際、十分な強度が確保できるようにケース並びに切欠き構造を設計している。

4 製品適用効果

定格 600V/30A 製品を車載エアコンの電動コンプレッサの制御に使用した時の効果を検討した結果を、図 8 に示す。キャリア周波数 20kHz による駆動において、標準の X シリーズ IGBT, FWD よりも、ターンオフ時サージ電圧を抑制しつつ、トータル損失を約 2% 低減できた。

特集 エネルギーマネジメントに貢献するパワー半導体

5 あとがき

本稿では車載エアコン用 IPM について述べた。

本製品は、「X シリーズ」IGBT, FWD チップ技術をベースに車載用として最適化することで、電動コンプレッサ用インバータ回路の省エネルギー性を向上できる。また、最適設計したパッケージを用いることで、車載向けの品質を確保した。

今後も車載エアコン用だけではなく、電動車 (xEV) 用電装品駆動モジュールとして、電装品システムの省エネルギー性の向上、低ノイズ化および車載向け品質の確保に貢献できる製品の開発を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 荒木龍ほか. 第2世代小容量IPM. 富士電機技報. 2015, vol.88, no.4, p.259-263.
- (2) Ohashi, H. et al. "The 2nd Generation Small Intelligent Power Module for General-purpose Inverter". proc. 2016 PCIM Asia.

- (3) 川畑潤也ほか. 第7世代「Xシリーズ」IGBTモジュール. 富士電機技報. 2015, vol.88, no.4, p.254-258.



手塚 伸一

車載用小容量 IPM 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。



傳田 俊男

ディスクリット, IC および産業用・車載用小容量 IPM のパッケージ開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部開発統括部パッケージ開発部。



田村 隆博

パワー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。





*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。