

インバータエアコン用小容量 IPM

Compact Type IPM for Inverter Air Conditioners

山田 忠則 YAMADA Tadanori

傳田 俊男 DENTA Toshio

白川 徹 SHIRAKAWA Toru

省エネルギー規制（APF 準拠）に適したインバータエアコン向けに、省エネルギー性能をさらに向上させた小容量 IPM を開発した。フィールドストップ型トレンチゲート構造の IGBT を、高速 FWD と組み合わせることで、エアコンにとって重要な軽負荷動作時の損失を約 25% 低減している。さらに、高熱伝導の絶縁基板を適用することで熱抵抗を低減し、損失低減による効果と合わせて温度上昇を抑制している。また、制御回路には、過電流保護機能や温度センシング機能、低電圧保護機能などの保護機能を内蔵している。

We have developed a compact type intelligent power module (IPM) that achieves greater improvement of energy-saving performance for inverter air conditioners that meet energy-saving regulations, conformable to the annual performance factor (APF) specifications. By combining the insulated gate bipolar transistor (IGBT) of the field-stop type trench gate structure with high-speed free-wheeling diodes (FWDs), we have reduced loss during light-load operation, which is an important factor for air conditioners, by about 25%. Moreover, using an insulated metal substrate with high thermal conductivity reduces thermal resistance, thereby suppressing temperature rise by incorporating the effect by the loss-reduction. Moreover, the control circuits incorporate several protective features such as an overcurrent protection function, a temperature sensing function, and a low-voltage protection function.

1 まえがき

最近の世界経済は、欧州市場を中心とした金融危機により停滞感はあるものの、アジア地域などの新興国市場においては堅調に成長している。生活水準の向上に伴う家庭用の電気製品の増加により、エネルギー消費は世界規模で上昇を続けている。これに伴い、家庭用の電気製品においても温室効果ガスの削減、エネルギー消費の効率化に向けてさまざまな省エネルギー（省エネ）規制が制定され、地球環境保護の意識がますます高まっている。

家庭用の電気製品別のエネルギー消費比率は、先進国の場合、エアコンが全体の約 1/3～1/4 と非常に大きな割合を占めており、新興国も生活水準の向上により同様の構成比率に向かうものと考えられる。エアコンの省エネ規制としては、主に冷房運転でのエネルギー消費効率を示す COP がこれまで用いられており、消費者が製品を購入する際には、重要な選択基準の一つとなっていた。さらに、この省エネ規制の動向は、1 年間の実使用状態での省エネ性能を表示する APF^(注2) に切り替わりつつある。これらの省エネ規制に適合するために、エアコンのコンプレッサモータの駆動回路としてインバータ方式が急速に拡大している。

富士電機は、インバータエアコン向けに、省エネ性能の

さらなる向上と小型、低ノイズ、高信頼性を実現した三相インバータブリッジ回路と制御回路・保護回路を内蔵した小容量 IPM (Intelligent Power Module) の開発を行った。

2 小容量 IPM の概要

図 1 に小容量 IPM の外観を、表 1 にラインアップと主要特性を示す。製品の外形は W43 × D26 × T3.7 (mm) と小型であり、AC240 V 系のパッケージ絶縁規格である UL508 に適合している。また、パッケージの左右に出ているリード端子は、はんだめっき処理をしているので直接プリント基板に実装することができ、エアコン装置などの小型化が可能である。

ラインアップは、三相インバータブリッジ回路の IGBT/FWD 定格が 600 V/15 A であり、過熱保護機能の違いにより 3 種類ある。

図 2 に小容量 IPM の回路構成を、図 3 に断面構造を示

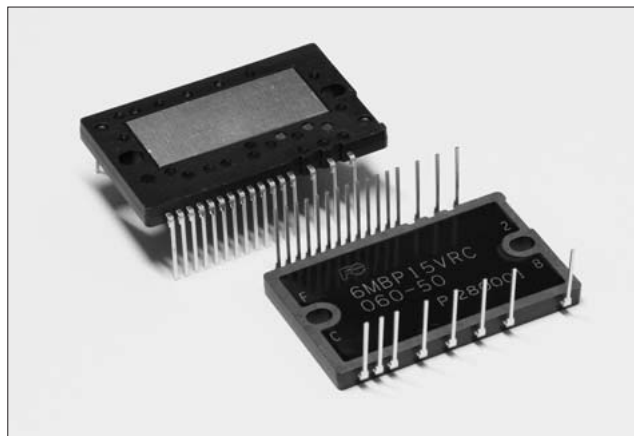


図 1 インバータエアコン用小容量 IPM

<注 1> COP (Coefficient of Performance: エネルギー消費効率): エアコンなどのエネルギー消費効率を表す指標の一つで、使ったエネルギーの何倍 (冷房・暖房) の仕事ができるかを示す値である。数値が大きいほど効率が良い。

<注 2> APF (Annual Performance Factor: 通年エネルギー消費効率): 年間を通じてエアコンを使用したときに、1 年間に必要な冷暖房能力を、1 年間でエアコンが消費する電力量 (期間消費電力量) で除したものである。数値が大きいほど効率が良い。

表1 小容量 IPM のラインアップと主要特性

項目	仕様		
型式	6MBP15VRA 060-50	6MBP15VRB 060-50	6MBP15VRC 060-50
V_{CE}	600V		
I_C	15 A		
I_F	15 A		
$V_{CE(sat)}$	1.8 V (typ.)		
V_F	1.65 V (typ.)		
V_{iso}	AC 1.5 kVrms		
T_j	-40 ~ +150 °C		
温度保護	LT	OH	LT+OH
保護機能	過電流保護, 低電圧保護, 異常アラーム出力		

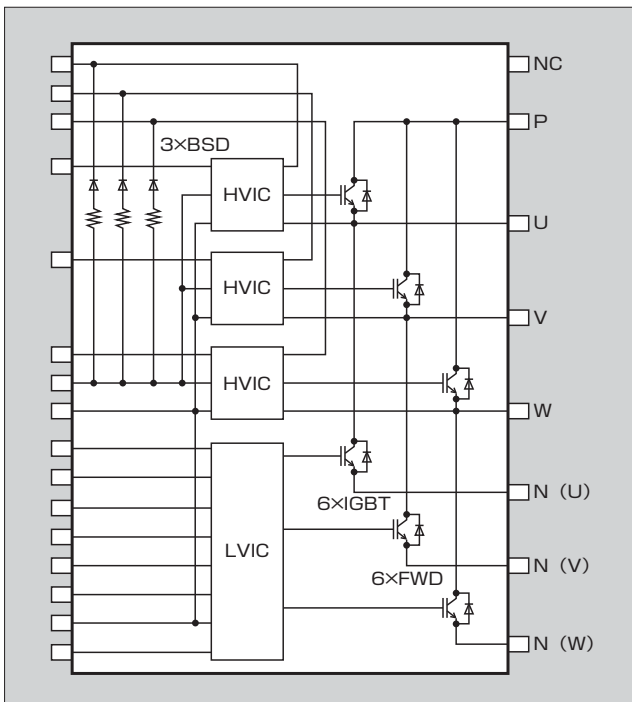


図2 小容量IPMの回路構成

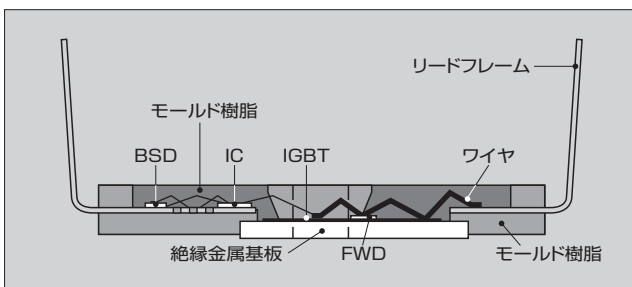


図3 小容量IPMの断面構造

す。小容量 IPM は、低損失 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と高速 FWD (Free Wheeling Diode) からなる三相インバーブリッジ回路が絶縁金属基板上に搭載されている。この三相インバーブリッジ回路のローサイドの IGBT を駆動するための LVIC (Low Voltage Integrated Circuit) が 1 チップならびにハイサイドの

IGBT を駆動するための HVIC (High Voltage Integrated Circuit) が 3 チップ必要である。これらを銅リードフレーム上に直接搭載している。

また、ハイサイドのドライブ回路用に BSD (Bootstrap Diode) が必要となる。相ごとに絶縁された電源を容易に構成するために、電流制限抵抗を内蔵した 3 チップの BSD を銅リードフレーム上に直接搭載している。

3 製品設計

3.1 パッケージ設計

産業用途向けの一般的なパワーモジュールおよび IPM の場合、IGBT などのパワーデバイスの搭載用絶縁基板としては、アルミナ (Al_2O_3) DCB (Direct Copper Bonding) 基板が一般的である。小容量 IPM のターゲットアプリケーションであるエアコンなどの家庭用の電気製品では、プリント基板への実装はウェーブはんだ付け方式またはリフローはんだ付け方式が用いられる。これらのはんだ付けを可能にするためには、高いはんだ耐熱性が求められる。チップの封止樹脂としてはエポキシ系樹脂が必須である。しかし、エポキシ系樹脂は、アルミナ DCB 基板のアルミナセラミックスとの接着強度が低く、はんだ耐熱性に対して低いという課題がある。

小容量 IPM では、絶縁層にエポキシ系樹脂を適用したアルミニウムベース絶縁基板を用いることで封止樹脂との高い接着強度を確保し、ウェーブはんだ付け方式を可能にしている⁽¹⁾。また、アルミナ DCB 基板に比べて低価格なアルミニウムベース絶縁基板を用いることにより、家庭用の電気製品の重要なポイントでもある低価格というニーズにも対応できる。図 4 に、アルミニウムベース絶縁基板とアルミナ DCB 基板の断面構造の比較を示す。

このアルミニウムベース絶縁基板の絶縁材料として、エポキシ樹脂材料とフィラー粒径、形状を最適化した製品を適用することにより、一般的なアルミニウムベース絶縁基板に比べて約 3 倍の高熱伝導率と高い絶縁信頼性を実現した。図 5 に、このアルミニウムベース絶縁基板の絶縁信頼性を示す V-t 特性を示す。一般的な家庭用の電気製品の製品寿命と考えられる 10 年に相当する期間において、絶縁耐圧 1.5 kV の実力があることを確認している。

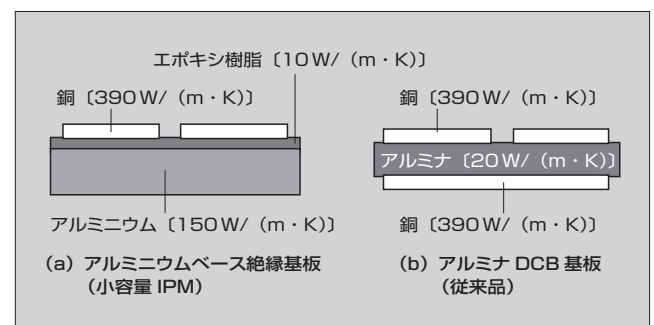


図4 絶縁基板の断面構造

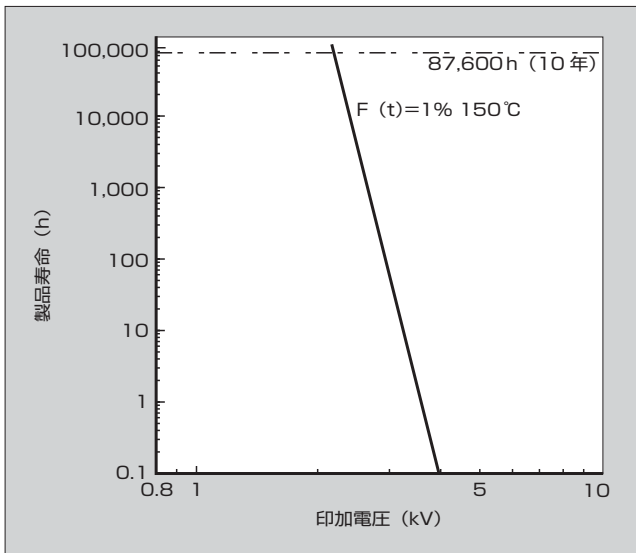


図5 アルミニウムベース絶縁基板のV-t特性

3.2 デバイス設計

先にも述べたように、エアコンの省エネ性能は、APFが主流となっている。エアコンの年間の約79%は軽負荷状態での動作となっており、IGBTとFWDの設計としては、APFに適合した低負荷動作時の損失低減がポイントとなる。

(1) IGBT 設計

図6に、IGBTの断面構造の比較を示す。小容量IPMでは、オン電圧とターンオフ損失のトレードを改善するために、従来構造であるノンパンチスルー（NPT）型のプレーナ構造IGBTに代えて、第6世代の技術であるフィールドストップ（FS）型のトレンチゲート構造IGBTの技術を適用している。

図7に、IGBTの常温と高温下におけるオン電圧とコレ

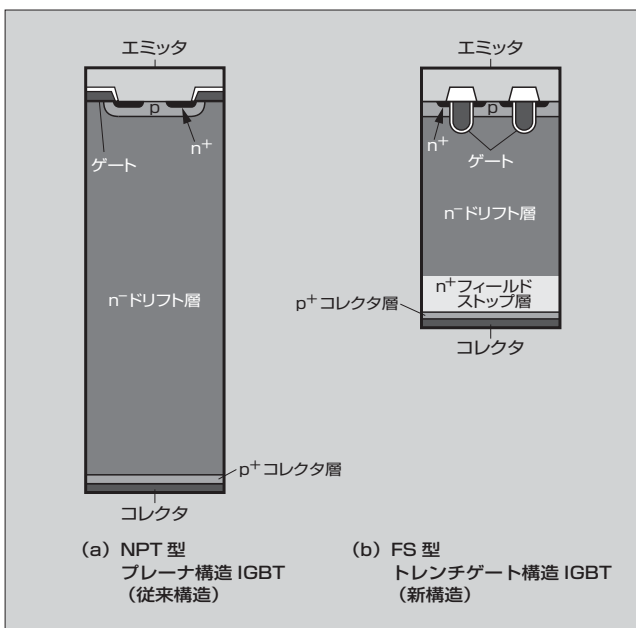


図6 IGBTの断面構造

クタ電流特性を示す。FS型トレンチゲート構造のIGBTでは、標準の第6世代IGBTをベースに表面構造を最適化することにより、APFで重要となる軽負荷領域でのオン電圧を従来品に比べて約0.3V低減している。

図8に、従来品とFS型トレンチゲート構造におけるIGBTのオン電圧とターンオフ損失を示す。前述の表面構造の最適化を行うと同時にライフタイム制御の最適化を行うことで、同一スイッチング損失におけるオン電圧を約30%低減し、トレードオフを改善している。ターンオフ損失のコレクタ電流依存性としては、FS型トレンチゲート構造のIGBTは従来品に比べ、定格電流領域では約30%損失が低く、エアコンの軽負荷動作となる3A以下の電流領域では約50%の低損失化を実現している。

(2) FWD 設計

FWDを設計する上でのポイントは、FWDのVF特性ならびにIGBTのターンオン損失として全体損失に大きな影響を与えるリカバリースイッチング特性の改善である。

図9にFWDのVF特性の温度依存性を、図10にFWD

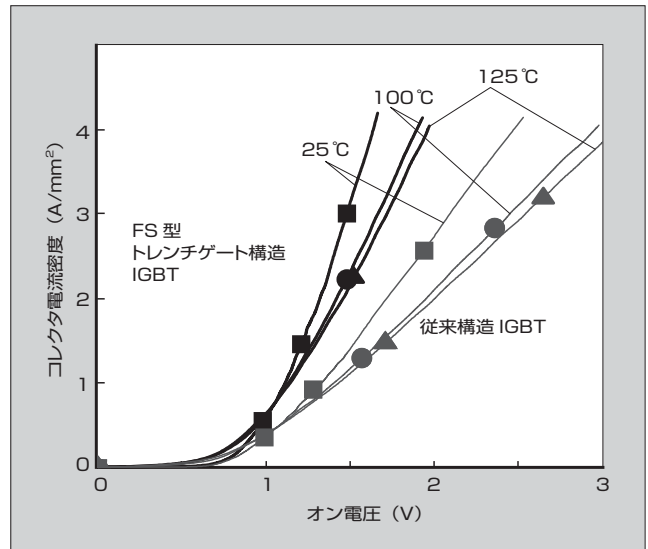


図7 オン電圧とコレクタ電流特性

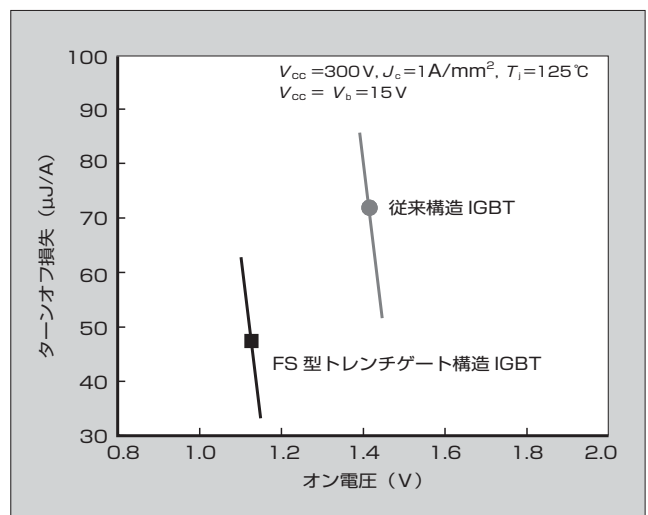


図8 オン電圧とターンオフ損失

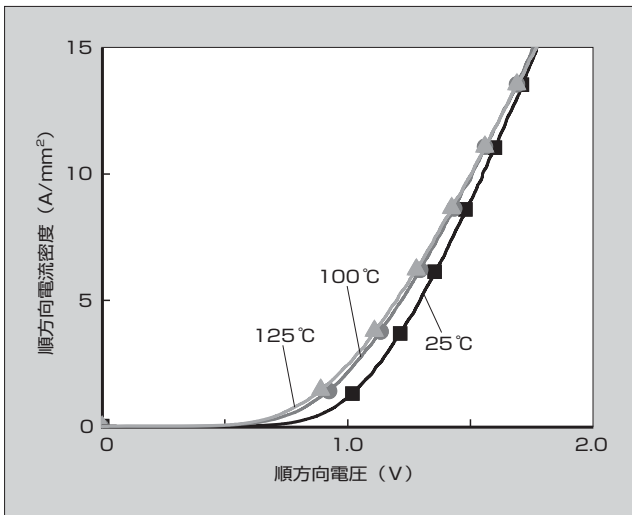


図9 FWDのVF特性の温度依存性

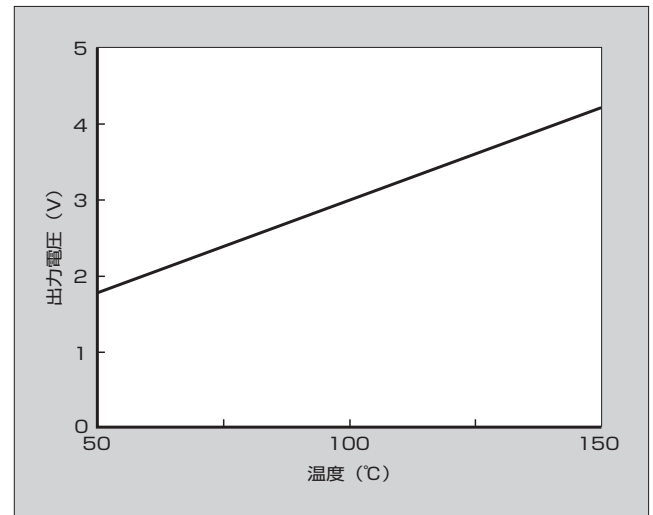


図11 リニア温度センサの出力電圧特性

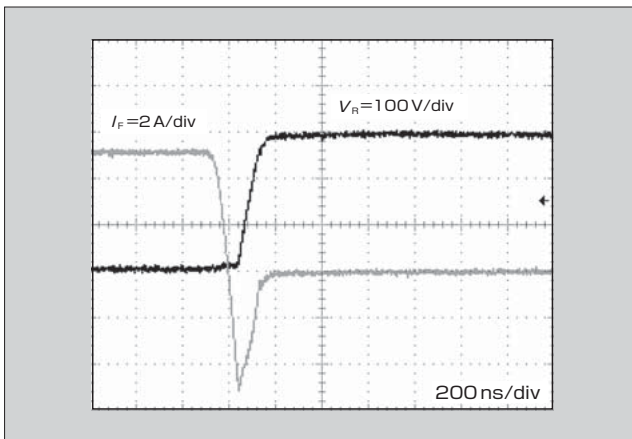


図10 FWDのリカバリースイッチング特性

のリカバリースイッチング特性を示す。FWDは、アノード拡散プロファイルの最適化およびライftime制御を最適化することにより、温度依存性が少なく低いVF特性と、高速かつ低ノイズのリカバリースイッチング特性とを実現している。

3.3 制御回路設計

家庭用の電気製品では、IPMなどのパワーデバイスをマイコンや制御ICからの制御信号で直接駆動することが一般的である。そこで、小容量IPMも、インバータの入力端子は3.3Vまたは5Vのマイコンから直接駆動できる仕様となっている。

また、ハイサイドのドライブ回路はHVICと内蔵BSD回路によって構成されており、外部での絶縁回路やレベルシフト回路が不要であり、かつ最小の外付け部品で小容量IPMを動作させることが可能である。

小容量IPMに搭載されている保護機能としては、過電流保護(OC)、低電圧動作保護(UV)、リニア温度センサ(LT)、過熱保護(OH)および異常アラーム出力(FO)である。LTとOHの組み合わせにより3種類の製品をラインアップしている。

図11に、リニア温度センサの出力電圧特性を示す。このリニア温度センサは、LVICに内蔵のセンサによりケース温度を常温からチップ温度の最高値150°Cまでを直線かつ高精度に測定できる。高度な温度ディレーティング制御などのアプリケーションの実現が可能になる。

4 小容量IPMの適用効果

図12に、4kW出力の家庭用エアコンを想定した小容量

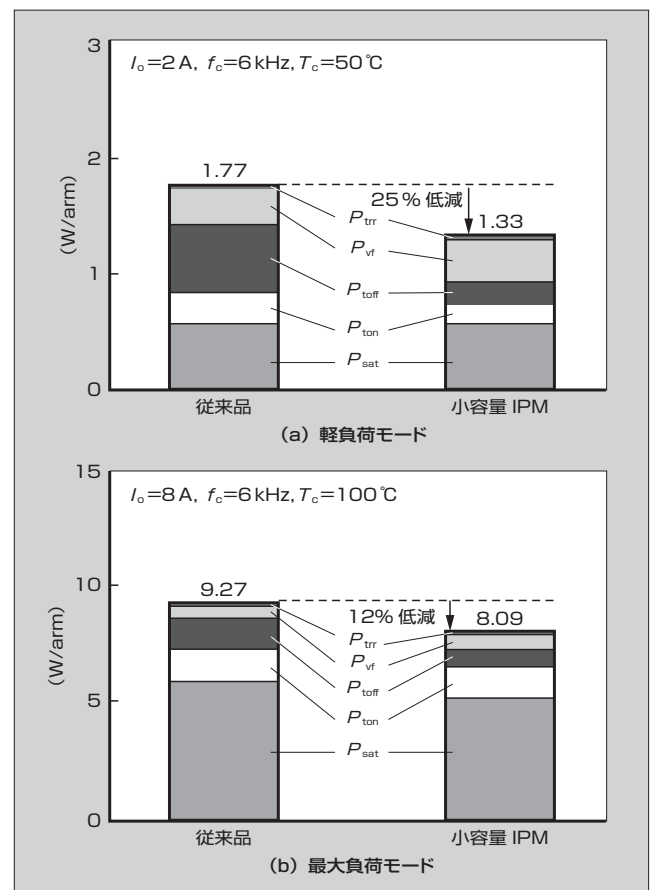


図12 損失シミュレーションの結果(4kW出力エアコン)

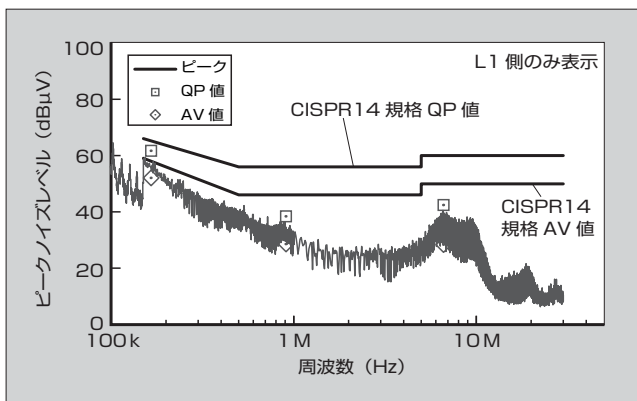


図13 伝導ノイズ測定結果 (2.6 kW 出力エアコン)

IPM における IGBT および FWD の損失シミュレーションの結果を示す。

3章に示す IGBT および FWD の設計を行うことにより、APF で支配的となる軽負荷モードでは損失を約 25%、最大負荷モードにおいても約 12% 低減している。

また、伝導ノイズは、国際無線障害特別委員会の定める CISPR14 規格にのっとり評価を行った。図13に、2.6 kW 出力タイプのルームエアコンに実装した場合の伝導ノイズの測定結果を示す。単相入力の L1 側と L2 側の測定結果は同等であり、ここでは L1 側のみを示している。150 kHz から 30 MHz の周波数領域において、QP 値と AV 値のいずれも規格値をクリアしている。

5 あとがき

家庭用の電気製品であるエアコンをメインターゲットに開発した小容量 IPM の特徴と、その設計について述べた。小容量 IPM を使用することにより、三相インバータブリッジ回路部の損失を従来品に比べて 12% から 25% 低

減することが可能であり、APF などの省エネルギー性能の向上に貢献する。また、伝導ノイズは、CISPR14 規格に適合しており、装置設計を効率化できる。

小容量 IPM は、エアコンだけでなく自動販売機やエコキュートなどのヒートポンプを内蔵した機器への適用も可能であり、さらに電流ラインアップの拡充と他のアプリケーションを狙った製品化を進めていく所存である。

参考文献

- (1) Yamada, T et al. "Novel Small Intelligent Power Module For RAC" proc. 2012 PCIM Asia.
- (2) Onozawa, Y. et al. "Development of the next generation 1,200 V trench-gate FSIGBT featuring lower EMI noise and lower switching loss" proc. 2007 ISPSD, p.13-16.



山田 忠則

ディスクリートパワーデバイス、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パワー半導体事業統括部ディスクリート・IC 技術部。



傳田 俊男

ディスクリート、IC および小容量 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パワー半導体開発統括部パッケージ実装開発部。



白川 徹

IGBT チップの設計・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パワー半導体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。