

# アドバンスト NPC 回路用 IGBT モジュールの系列化

## IGBT Module Series for Advanced-NPC Circuits

小松 康佑 Kosuke Komatsu

原田 孝仁 Takahito Harada

楠木 善之 Yoshiyuki Kusunoki

アドバンスト NPC (A-NPC: Advanced Neutral-Point-Clamped) インバータを実現する IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールを開発し、系列化した。本製品は、A-NPC 回路 3 相分とサーミスタを 1 パッケージに集約している。素子には、第 6 世代 IGBT, FWD (Free Wheeling Diode) と RB-IGBT (Reverse Blocking IGBT) を採用して発生損失を最小化した。発生損失は、従来の 2 レベルインバータに比べて 51%, NPC3 レベルインバータに比べて 33% 低減できた。端子形状は、顧客のニーズに応じて 2 種類のピンから選択できる。

A series of IGBT (insulated gate bipolar transistor) modules has been developed to enable A-NPC (advanced neutral-point-clamped) inverters. Modules in this series integrate A-NPC circuits for three phases with thermistors in a single package. Loss is minimized by the adoption of 6th-generation IGBT, FWD (free wheeling diode) and RB-IGBT (reverse blocking IGBT) devices. Loss is reduced by 51% compared to conventional two-level inverters and by 33% compared to conventional NPC three-level inverters. Two types of pin configuration are available, and selectable according to customer requirements.

### 1 まえがき

近年、環境を保護するために CO<sub>2</sub> の排出量の低減に向けた取組みが世界各国で行われている。従来の化石燃料に頼らない、風力や太陽光に代表されるクリーンな新エネルギーへのシフトが高まっている。

パワーエレクトロニクス (パワエレ) 機器による省エネルギー (省エネ) は、家電製品から電気鉄道, FA システムなど多岐にわたっている。さらに、このような電力を消費するアプリケーションだけでなく、UPS や風力発電, 太陽光発電のような発電・送電・給電の分野にまで広がっている。特に、UPS や発電システムの電力変換効率を高める効果的な方法の一つとしては、マルチレベルインバータが提案されており、NPC (Neutral-Point-Clamped) インバータが実用化されている。この NPC インバータよりも回路が簡素化できる 3 レベルインバータ<sup>(注1)</sup>も提案されていたが、一般的な IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) とダイオードで構成すると、導通損失の増加や配線インダクタンスによる高いサージ電圧などの課題があった。

富士電機は、パワエレ機器であるインバータやコンバータの回路システムを開発し、主に産業分野の機器の省エネ

に貢献してきた。また、独自に開発したパワー半導体である RB-IGBT (Reverse-Blocking IGBT)<sup>(注2)</sup> を用い、専用の低インダクタンスパッケージにすることで、前述の課題を解決したアドバンスト NPC (A-NPC) 用 IGBT モジュールを開発した<sup>(注3)</sup>。そして、このモジュールを適用した UPS を市場に投入した。

現在、A-NPC3 レベルインバータ回路 3 相分とサーミスタを 1 パッケージに集約した A-NPC 用 IGBT モジュールを開発中であり、A-NPC 用 IGBT モジュールの系列拡充を図っている。本稿では、その概要について紹介する。

### 2 アドバンスト NPC 用 IGBT モジュールの特徴

#### 2.1 概要

A-NPC 用 IGBT モジュールの定格・寸法などの概要を表 1 に示す。メインスイッチの定格電圧は 1,200 V、中間の双方向スイッチの定格電圧が 600 V で、定格電流は 100 A である。特徴を次に示す。

- (a) A-NPC 回路 3 相分とサーミスタを 1 パッケージ化
- (b) インバータの組立ラインに応じて端子形状を選択可能

図 1 (a) に外観を、図 1 (b) に等価回路を示す。

表 1 A-NPC 回路用 IGBT モジュールの概要

型 式	パッケージ寸法	定格電圧	定格電流
12MBI100 VN-120-50 (ソルダピンタイプ)	L122.5×W62.5×H17 (mm)	1,200 V (メインスイッチ部) 600 V (双方向スイッチ部)	100 A (メインスイッチ部) 100 A (双方向スイッチ部)
12MBI100 VX-120-50 (プレスフィットピンタイプ)			

〔注 1〕 3 レベルインバータ技術 (353 ページ「解説 1」参照)

2.2 素子の電気特性

(1) メインスイッチ

メインスイッチである T1, T2 (表 2) には 1,200 V 定格の最新「V シリーズ」IGBT および FWD (Free Wheeling Diode) を採用している。V シリーズの特徴を次に示す。

- (a) フィールドストップ (FS) 構造とトレンチゲート構造の最適化によりオン電圧  $V_{CE(sat)}$  とスイッチング損失を低減
- (b) ゲート抵抗  $R_g$  によるターンオン  $di/dt$  の制御性の向上

(2) 双方向スイッチ

双方向スイッチである T3, T4 (表 2) には、600 V 定格の RB-IGBT を採用している。RB-IGBT の特徴を次に示す。

- (a) 逆耐圧性能を持つため、逆並列に RB-IGBT を接続

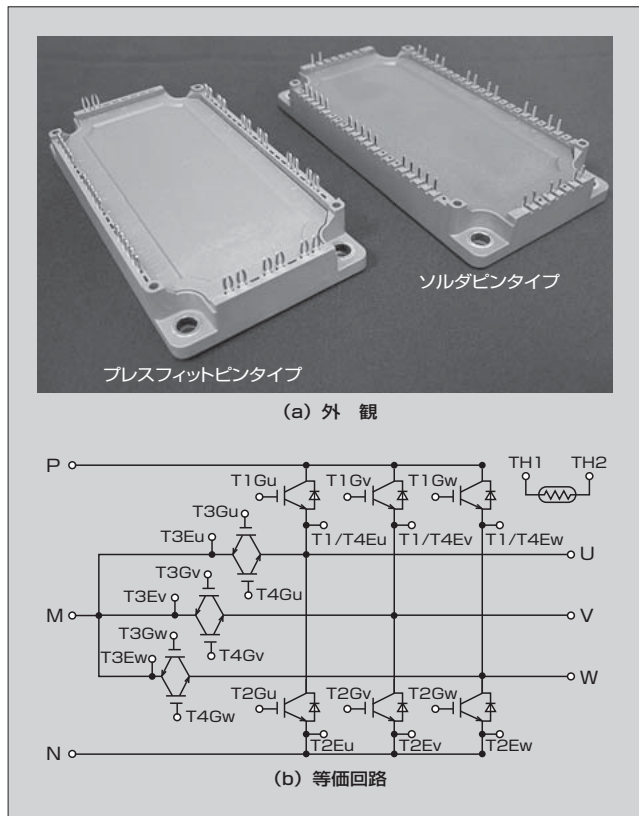


図1 A-NPC 用 IGBT モジュールの外観と等価回路

- することで双方向スイッチ化が可能
- (b) ゲートに正電圧を印加し、FWD として逆回復動作をさせたときの逆回復特性は、従来の FWD と同様
- (3) 定常損失

A-NPC インバータ回路は、従来の NPC インバータ回路に比べて、全ての電流経路において導通する素子数が半分になる。その結果、導通ロスは従来の NPC インバータに比べて約 30% 低減できる。表 2 に、従来の NPC インバータと A-NPC インバータの電流経路とオン電圧の比較を示す。

(4) スwitching 損失

A-NPC 用 IGBT モジュールは、従来の IGBT モジュール

表 2 NPC インバータと A-NPC インバータのオン電圧比較

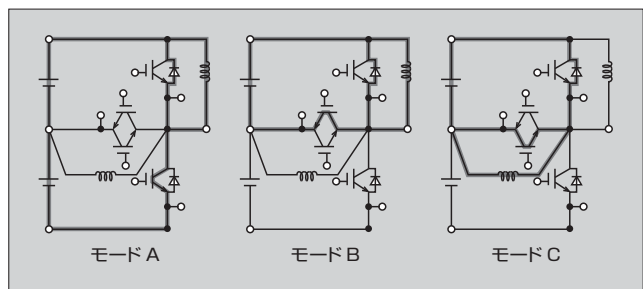
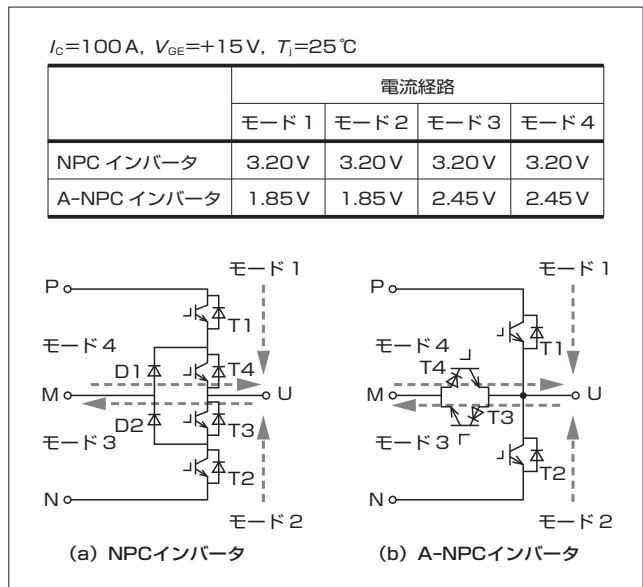


図2 各スイッチングモードの経路例

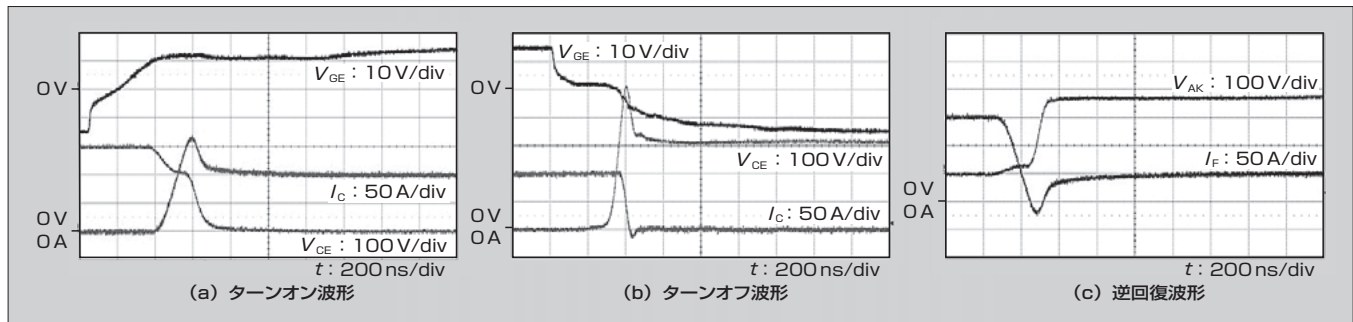


図3 スwitching 波形 (モード B)

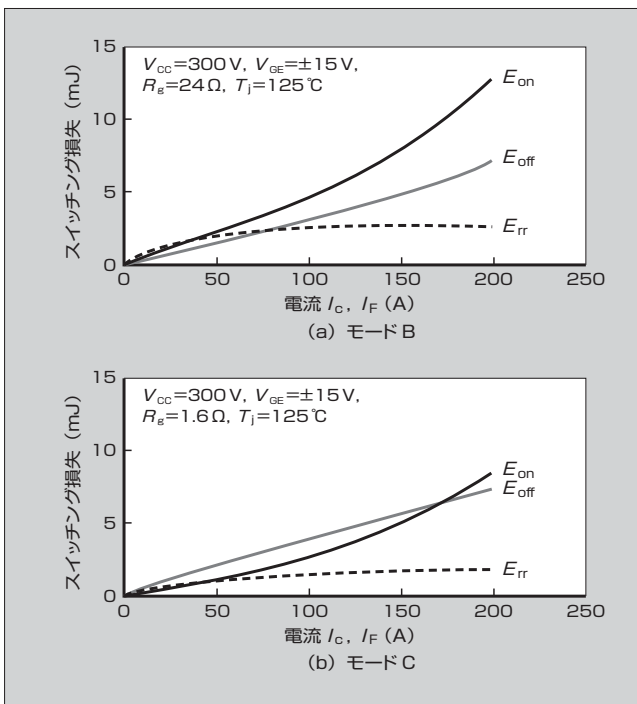


図4 スイッチング損失の電流依存性

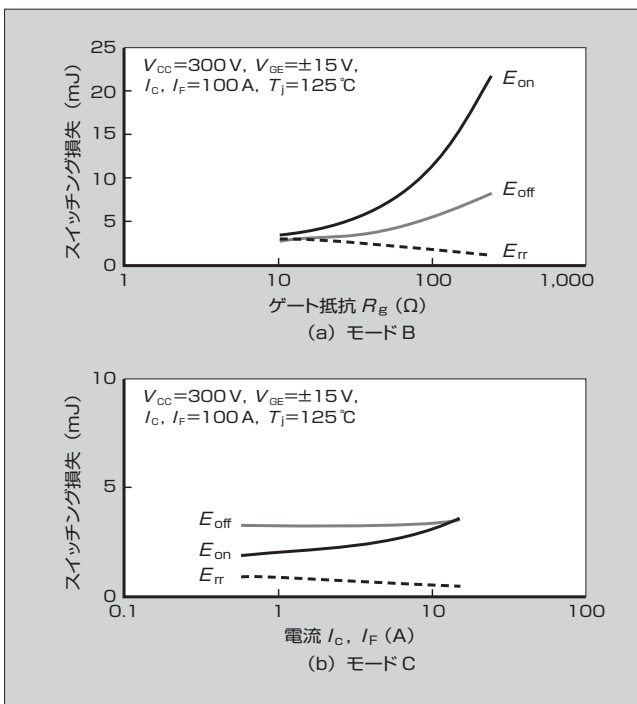


図5 スイッチング損失のゲート抵抗依存性

ルと異なり、スイッチングする経路には次の3通りがある。

- (a) メインの IGBT がスイッチングし、メインの FWD が逆回復する経路 (モード A)
- (b) RB-IGBT がスイッチングし、メインの FWD が逆回復する経路 (モード B)
- (c) メインの IGBT がスイッチングし、RB-IGBT が逆回復する経路 (モード C)

3 レベルインバータ動作においては、モード B とモード C の動作が基本となる。図 2 に、各モードの経路例を示す。

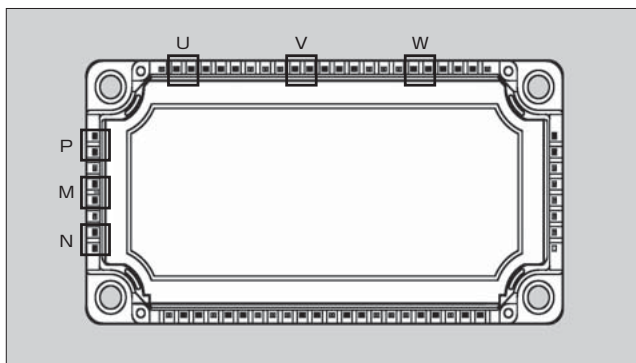


図6 主端子配置

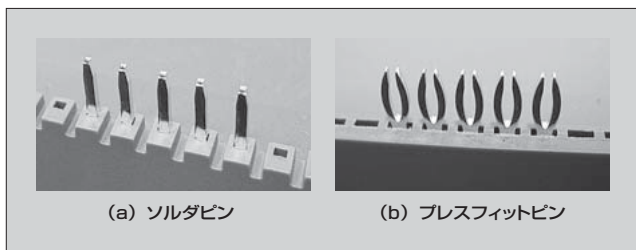


図7 ピン形状

図 3 に、 $V_{CC}=300V, I_C=100A, R_g=24\Omega, T_j=125^\circ C$  におけるモジュールのモード B におけるターンオン、ターンオフおよび逆回復波形を示す。

スイッチング損失は、ターンオンで 3.0 mJ、ターンオフで 4.1 mJ、逆回復で 1.67 mJ であり、定格電圧を超えるターンオフサージは確認されない。

図 4 にスイッチング損失の電流依存性、図 5 にスイッチング損失のゲート抵抗依存性を示す。前述したとおり、RB-IGBT が逆回復するモード C での逆回復損失特性は、従来の FWD が逆回復するモード B の傾向と変わらない。

### 2.3 パッケージ

今回開発した A-NPC 用 IGBT モジュールには、従来品の小型パッケージ (ECONOPIM<sup>TM</sup> 3/PC-PACK3) を選択した。その結果、次のような特徴を持つパッケージとなっている。

- (a) 主端子 P, M, N

サージ電圧を低減するためのスナバコンデンサを配置 (P-M 間, M-N 間) しやすい配列とした (図 6)。

- (b) 端子形状

顧客のニーズに応じて選択可能とし、ソルダピンとプレスフィットピンの 2 種類がある (図 7)。

- (c) 環境対策

鉛フリーを適用し、RoHS 指令<sup>(注3)</sup>に対応した。

<注2> ECONOPIM<sup>TM</sup>: Infineon Technologies AG の商標または登録商標

<注3> RoHS 指令: 電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限についての EU (欧州連合) の指令

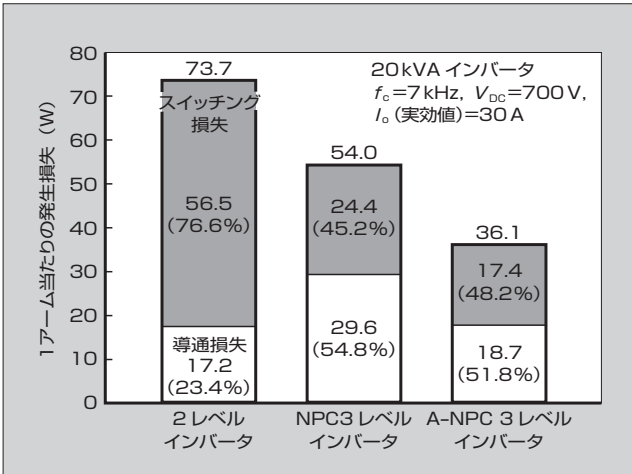


図8 各インバータの発生損失比較

### 3 発生損失

図8は、従来の2レベルインバータ、NPC3レベルインバータ、A-NPC3レベルインバータを、同じ条件で運転したときの1アーム当たりの発生損失を比較したものである。

従来の2レベルインバータは、Vシリーズ100A/1,200V定格 (ECONOPIM™ 3) の特性とし、NPC3レベルインバータは、Vシリーズ100A/600V定格 (ECONOPIM™ 3) の特性を用いて発生損失を計算した。20kVAインバータの運転条件は、 $f_c$ を7kHz、DC電圧を700V、出力電流(実効値)を30Aとした。その結果、A-NPC3レベルインバータの発生損失が最も低く、従来の2レベルインバータに比べて51%、NPC3レベルインバータに比べて33%低減している。個別にみると、次の特徴がある。

2レベルインバータでは、導通する素子は一つであるため、導通損失は最も小さくなる。しかし、DC電圧が3レベルインバータの2倍となるため、スイッチング損失が発生損失全体の76.6%を占める。

NPC3レベルインバータでは、全ての電流ルートについて導通する素子が二つであるため、導通損失が最も大きくなる。しかし、3レベル化によりDC電圧が半分になり、スイッチング損失は2レベルの半分以下となる。この結果、導通損失が1アーム当たりの発生損失の54.8%を占める。キャリア周波数が低いほど導通損失が発生損失全体に占める割合は大きくなる。

A-NPC3レベルインバータでは、RB-IGBTの導通損失が通常のIGBTよりも大きいため、2レベルインバータより導通損失が8.7%大きくなるが、NPC3レベルと比べると約37%低減できる。一方、スイッチング損失はNPC3レベルと同様に小さくなり、発生損失の48.2%を占める。この結果、NPC3レベルに比べて導通損失とスイッチング損失の比率が均等化するため、キャリア周波数変化してもNPC3レベルインバータの発生損失よりも大きくはならない。

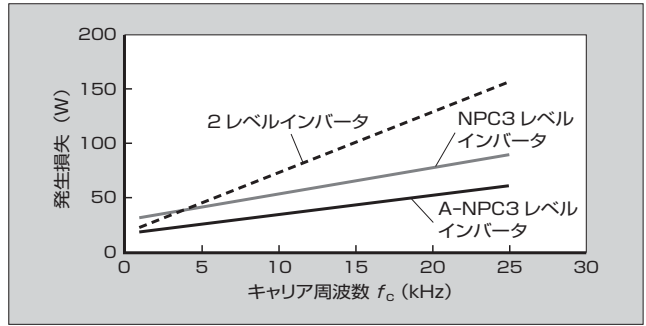


図9 発生損失のキャリア周波数依存性

図9に、発生損失のキャリア周波数依存性を示す。キャリア周波数5kHz以上の領域では、2レベルインバータよりも3レベルインバータのほうが発生損失は小さい。5kHzより低い領域では2レベルインバータのほうが低いように見えるが、インバータ装置として取り付けるノイズフィルタは、2レベルインバータのほうが3レベルインバータより大きいものが必要になる。その結果、インバータ装置全体で発生する損失(固定損、フィルタ損を含む発生損失)でみると、3レベルインバータのほうが発生損失は小さくなる。

### 4 あとがき

本稿では、アドバンストNPCインバータに適用するIGBTモジュールの系列化について、その概要および特徴を紹介した。本製品は、数10kVAの容量帯のアプリケーションに対応し、高効率・小型化・使いやすさといったお客様の要求を満足できるものと確信している。

今後も、アドバンストNPC回路用IGBTモジュールの系列化を進め、UPSなどの高効率化の要求に対応するモジュールの開発を行っていく所存である。

### 参考文献

- (1) Nabae, A. et al. "A New Neutral-Point-Clamped PWM Inverter", IEEE Trans. on I. A., 1981, vol.IA-17, no.5, p.518-523.
- (2) Takei, M. et al. "The Reverse Blocking IGBT for Matrix Converter with Ultra-Thin Wafer Technology", Proc. of ISPSD '03, 2003, p.156-159.
- (3) Komatsu, K. et al. "New IGBT Modules for Advanced Neutral-Point-Clamped 3-Level Power Converters" proc. of IPEC '10, 2010, p.523-527.
- (4) 関野裕介ほか. 「Vシリーズ」チップ搭載のPIM・6in1 IGBTモジュール系列. 富士時報. 2010, vol.83, no.6, p.379-383.
- (5) 小松康佑ほか. アドバンストNPC回路用IGBTモジュール. 富士時報. 2010, vol.83, no.6, p.362-365.



**小松 康佑**

IGBT モジュールの開発設計に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部技術統括部モジュール技術部。



**楠木 善之**

IGBT モジュールの開発設計に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部技術統括部モジュール技術部チームリーダー。



**原田 孝仁**

IGBT モジュールの構造開発・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技術統括部モジュール技術部。

特集





\*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。