

マトリクスコンバータ用双方向スイッチング IGBT モジュール

Bidirectional Switching IGBT Modules for Matrix Converters

有田 康彦 Yasuhiko Arita

吉渡 新一 Shinichi Yoshiwatari

AC-AC 電力変換を行うマトリクスコンバータ方式は、PWM (Pulse Width Modulation) 変換方式に比べて、変換効率が約 30% 高く、小型化が可能のため、ますます適用が進むと考えられる。この方式には、双方向スイッチングデバイスが不可欠であり、富士電機では、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) チップを逆向きに並列接続した双方向 IGBT モジュールを生産している。最新世代の「V シリーズ」IGBT チップを適用し、より大容量である定格 1,200 V/800 A、M258 パッケージのマトリクスコンバータ用双方向スイッチング IGBT モジュールの製品開発を行っている。

The matrix converter method of AC-AC power conversion realizes an approximate 30% higher conversion efficiency than the PWM (pulse width modulation) conversion method. Moreover, equipment can be miniaturized and applications of this method are likely to increase in the future. For this method, bidirectional switching devices are essential, and Fuji Electric produces a bidirectional IGBT module that contains parallel-connected reverse-oriented IGBT chips. At present, the latest generation “V-Series” IGBT chips are being used to develop a bidirectional IGBT module for matrix converters, which has larger capacity than prior modules, i.e. rated voltage and current of 1,200 V and 800A, respectively, and housed in a M258 package.

1 まえがき

近年、省電力を目的として PWM (Pulse Width Modulation) インバータを適用した電力変換回路が普及している。CO₂削減などの社会的要請により、さらに高い変換効率の電力変換方式が必要とされている。

交流モータを駆動・制御するためには、交流出力の周波数を任意に変化させる必要がある。一般的には、電源からの交流を一度直流に変換した後、任意の周波数の交流に逆変換する PWM 方式などのインバータが用いられている。これに対して、交流から交流へ直接変換することで、変換効率をより高めることが可能なマトリクスコンバータ方式の適用が始まっている。マトリクスコンバータ方式は、順方向と逆方向のどちらの方向にも電流を流せる双方向スイッチングデバイスが必要である。PWM 方式に比べ電力変換効率が高く、また装置の小型化、軽量化が可能であり、今後ますます適用範囲が拡大すると考えられる。

富士電機では、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) チップを逆向きに並列接続した双方向スイッチング IGBT モジュールと、双方向に耐圧を持つ逆阻止 IGBT [RB (Reverse Blocking)-IGBT] チップを並列接続した双方向スイッチング RB-IGBT モジュールの両方を生産している。双方向スイッチング能力があるこれらのモジュールは、マトリクスコンバータ回路への適用が進められている。

本稿では、主に中容量から大容量のマトリクスコンバータに使用する富士電機の双方向スイッチング IGBT モジュールの系列、特徴および今後の開発動向について紹介する。さらに、現在富士電機が開発している、最新世代の「V シリーズ」IGBT チップを適用した大容量 IGBT モジュールについて紹介する。

2 マトリクスコンバータ用 IGBT モジュールの概要

2.1 マトリクスコンバータの原理⁽¹⁾

図 1 に、従来の PWM 変換方式とマトリクスコンバータ方式の回路比較を示す。

図 1 (a) に示すように、従来、高変換効率の電力変換方式として一般的に適用されてきた PWM 変換方式では、電源からの交流をコンバータ部で整流して、直流にいったん変換する。コンバータ部と PWM インバータ部の間には、電解コンデンサを入れて平滑化する。その直流を、PWM

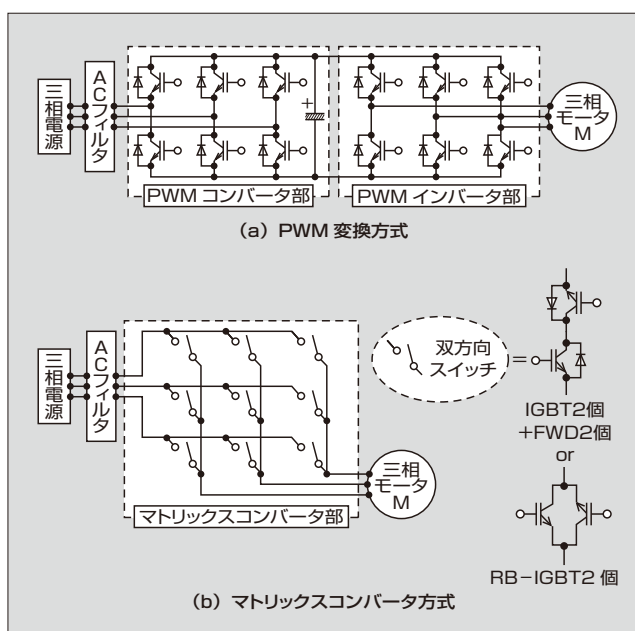


図 1 従来の PWM 変換方式とマトリクスコンバータ方式の回路比較

インバータ部でスイッチングデバイスを高速でオンオフして、任意の幅と任意の周期のパルスとすることで、必要な周波数の交流に再び変換している。モータからの電力回生機能を持つ PWM 変換方式の回路を構成するためには、12 個の IGBT チップと、12 個の FWD (Free Wheeling Diode) チップが必要であった。

図 1 (b)に示すように、マトリックスコンバータ方式では、電源の交流を、格子 (マトリックス) 状に配置した双方向スイッチングデバイスを高速でオンオフして、任意の幅の双方向パルスとすることで、必要な周波数の交流に直接変換する。9 個の双方向スイッチングデバイスがあれば、マトリックスコンバータが構成できる。

マトリックスコンバータ方式は、電圧平滑用の電解コンデンサなどの部品が不要になるために、装置全体の小型化、軽量化が可能になる。また、RB-IGBT チップを適用すれば、スイッチングデバイスの数を少なくできるため、信頼性の向上とオン損失の低減 (変換効率の向上) が可能になる。

2.2 マトリックスコンバータ用 IGBT モジュールへの要求

マトリックスコンバータ方式に適用されるスイッチングデバイスには交流電圧が印加されるため、双方向の耐圧が必要になる。また、双方向に電流を流すために双方向スイッチング機能が必要となる。

図 2 に、マトリックスコンバータ用 IGBT モジュールの等価回路を示す。IGBT チップは順方向の耐圧のみなので、逆方向の耐圧を持たせる目的で FWD チップを IGBT チップと直列に接続している。これらを 1 組として、2 組を逆向きに並列接続して双方向スイッチング機能を持たせている。

富士電機のマトリックスコンバータ用 IGBT モジュールは、2 個の IGBT チップと、2 個の FWD チップで 1 個の双方向スイッチング機能を構成している。2 in 1 パッケージで 1 個の双方向スイッチングデバイスとなる。M258 パッケージ品や M248 パッケージ品では 9 モジュールで、M644 パッケージ品では 3 モジュールで、マトリックスコンバータを構成できる。

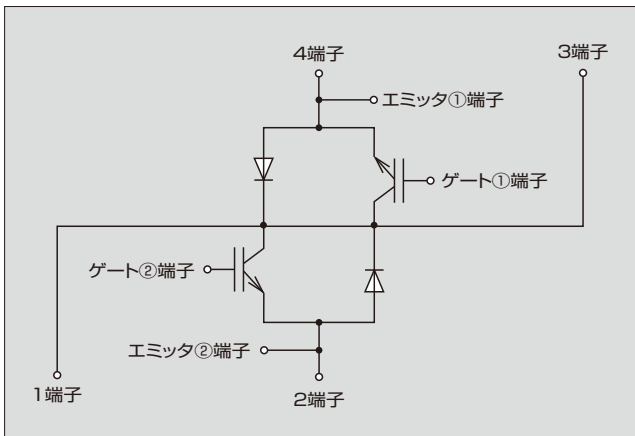


図 2 マトリックスコンバータ用 IGBT モジュールの等価回路

また、RB-IGBT チップは 2 個で 1 個の双方向スイッチング機能を構成できるため、IGBT チップと FWD チップで構成する場合に比べてチップ数を少なくできる。RB-IGBT モジュールの M801 パッケージ品と M802 パッケージ品は、それぞれ 1 モジュールでマトリックスコンバータが構成できる。

③ マトリックスコンバータ用 IGBT モジュールの特徴

3.1 IGBT モジュール系列

表 1 に、マトリックスコンバータ用の RB-IGBT モジュールと IGBT モジュールの製品系列を示す。マトリックスコンバータ用 IGBT モジュールとして、RB-IGBT チップを搭載した 600 V 耐圧品ならびに 1,200 V 耐圧品、「U シリーズ」IGBT チップを搭載した 600 V 耐圧品、1,200 V 耐圧品ならびに 1,700 V 耐圧品を系列化している。

3.2 パッケージ系列

比較的小容量のマトリックスコンバータ用 RB-IGBT モジュールでは、9 個の双方向スイッチング機能を内蔵し 1 個でマトリックスコンバータを構成できる、M801 パッケージ品と M802 パッケージ品を系列化している。

また、U シリーズの中容量のマトリックスコンバータ用

表 1 マトリックスコンバータ用モジュールの製品系列

シリーズ	定 格		パッケージ	
	電 圧 (V)	電 流 (A)	構 成	形 式
RB-IGBT	600	100	18 in 1	M802
		200		M801
	1,200	50		M802
		100		M801
U シリーズ (従来品)	600	400	2 in 1	M258 (NewDual)
		200		
	1,200	400	6 in 1	M644 (ECONOPACK™+)
		400		
1,700	400	2 in 1	M248 (HPM)	
	800			
V シリーズ (開発中)	1,200	800	2 in 1	M258 (DualXT)

* : ECONOPACK™+ : Infineon Technologies AG の商標または登録商標

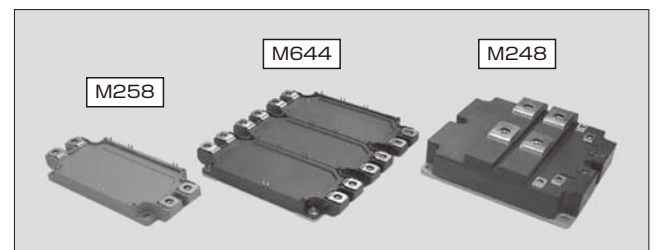


図 3 マトリックスコンバータ用 IGBT モジュールの外観

表 2 マトリックスコンバータ用「Vシリーズ」IGBT モジュール (定格 1,200V/800A) の特性一覧

項目	記号	条件*	特性			単位	
			最小	標準	最大		
コレクター-エミッタ間電圧	V_{CES}	—	—	—	1,200	V	
ゲート-エミッタ間電圧	V_{GES}	—	—	—	± 20	V	
コレクタ電流	I_c	—	—	—	800	A	
ケース温度	T_c	—	—	—	125	°C	
絶縁耐圧	V_{iso}	—	—	—	2,500	V	
ゲート-エミッタ間しきい値電圧	$V_{GE(th)}$	$V_{GE} = 20V, I_c = 800mA$	6.00	6.50	7.00	V	
コレクター-エミッタ間飽和電圧(端子)	$V_{CE(sat)}$	$V_{GE} = 15V, I_c = 800A$	$T_j = 25^\circ C$	—	2.35	2.80	V
			$T_j = 125^\circ C$	—	2.85	—	
			$T_j = 150^\circ C$	—	2.95	—	
ダイオード順電圧 (端子)	V_F	$V_{GE} = 0V, I_f = 800A$	$T_j = 25^\circ C$	—	2.25	2.70	V
			$T_j = 125^\circ C$	—	2.50	—	
			$T_j = 150^\circ C$	—	2.45	—	
熱抵抗	$R_{th(j-c)}$	IGBT	—	—	0.04	K/W	
		FWD	—	—	0.06		

* : 特に指定がないかぎり、 $T_j = 25^\circ C$ の値

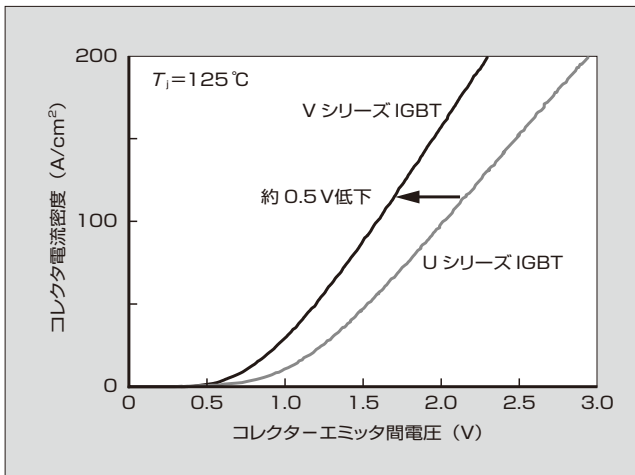


図 4 「Uシリーズ」と「Vシリーズ」の IGBT チップの出力 (J-V) 特性

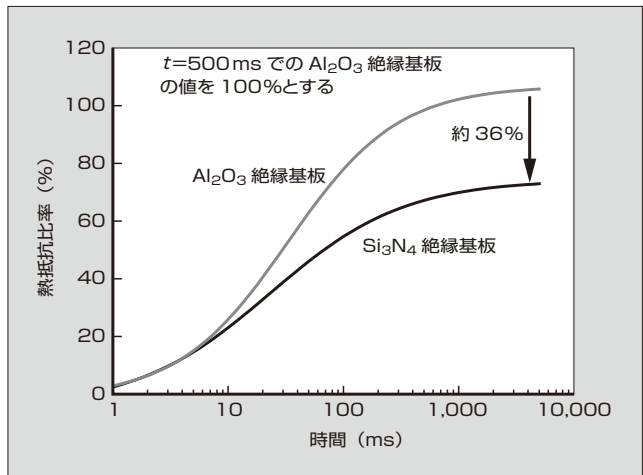


図 5 Al_2O_3 絶縁基板と Si_3N_4 絶縁基板の熱抵抗比率

IGBT モジュールでは、1 個の双方向スイッチング機能を内蔵した M258 パッケージ (NewDual パッケージ) 品を系列化している。

さらに、比較的大容量のマトリックスコンバータ用 IGBT モジュールでは、3 個の双方向スイッチング機能を内蔵し、並列使用が容易な M644 パッケージ (ECONOPACK^{TM+} パッケージ) 品を系列化し、1 個の双方向スイッチング機能を内蔵した M248 (HPM: ハイパワーモジュール) パッケージ品を系列化している。

図 3 に、マトリックスコンバータ用 IGBT モジュールの外観を示す。

<注> ECONOPACK^{TM+} : Infineon Technologies AG の商標または登録商標

3.3 「Vシリーズ」IGBT モジュールの開発

現在、最新世代の V シリーズ IGBT チップを適用した、より大容量のマトリックスコンバータ用 IGBT モジュールを開発している。表 2 に、定格1,200V/800A、M258 パッケージ (DualXT パッケージ) のマトリックスコンバータ用 V シリーズ IGBT モジュールの特性一覧を示す。

V シリーズ IGBT チップは、チップ表面のゲート構造を最適化し、さらにチップ厚を薄くすることによって、単位面積当たりのオン電圧を、U シリーズ IGBT チップに比べて約 23% 低減している。これにより、U シリーズ IGBT チップと同一チップ面積の V シリーズ IGBT チップを適用すると、同一パッケージで約 30% 大容量化した IGBT モジュールが可能になる。

図 4 に、U シリーズの IGBT チップと、V シリーズの IGBT チップの出力 (J-V) 特性を示す。コレクタ電流密

度 = 115 A/cm², T_j = 125℃で、VシリーズのIGBTチップのコレクター-エミッタ間電圧 (= オン電圧) が約 1.7V となり、UシリーズのIGBTチップのオン電圧約 2.2V に対して、約 0.5V (約 23%) 低下している。

モジュールの大容量化により、内蔵チップのオン損失が同等であっても内部配線などの内部損失は増加し、モジュール全体の発熱量は増大する。さらに、今後の大容量化、チップの高密度集積化により、モジュールの発熱量は増大していくと考えられる。VシリーズIGBTモジュールは、UシリーズIGBTモジュールに使用されているアルミナ (Al₂O₃) 絶縁基板よりも熱伝導性と機械的強度に優れた窒化けい素 (Si₃N₄) の絶縁基板を採用することにより、発熱量増大に対応している。図5に Al₂O₃絶縁基板と Si₃N₄絶縁基板の熱抵抗比率を示す。Si₃N₄絶縁基板の熱抵抗は、Al₂O₃絶縁基板の熱抵抗に比べて約 36% 低減している。

4 今後の開発動向

現在、富士電機ではRB-IGBT技術の適用範囲の拡大に注力している。RB-IGBTチップを大容量マトリックスコンバータ用IGBTモジュールに適用することによって、大容量のマトリックスコンバータを少ないスイッチングデバイスで構成することが可能になる。RB-IGBTチップの適用範囲拡大により、顧客からのさらなる高変換効率 (低オン損失) 化ならびに小型化、軽量化の要求に応えるべく、技術開発を進めている。

5 あとがき

富士電機は、マトリックスコンバータ用IGBTモジュール

を含む各種パワー半導体デバイスを開発し、製品化してきた。今後も電力変換回路の変換効率向上ならびに装置の小型軽量化へのさらなるニーズに応えるべく、絶え間ない製品開発と提案を行い、電力変換分野のますますの発展に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 伊藤淳一ほか. マトリックスコンバータを利用した高効率電力変換. 富士時報. 2004, vol.77, no.2, p.142-145.
- (2) Onozawa, Y. et al. Development of the next generation 1,200 V trench-gate FS-IGBT featuring lower EMI noise and lower switching loss. 19th ISPSD. 2007, vol.19, p.13-16.
- (3) 仲野逸人ほか. 第6世代IGBTモジュール「VシリーズPIM」. 富士時報. 2007, vol.80, no.6, p.388-392.
- (4) 高橋孝太ほか. IGBTモジュール「Vシリーズ」の系列化. 富士時報. 2009, vol.82, no.6, p.380-383.



有田 康彦

IGBTモジュールの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部モジュール技術部。



吉渡 新一

IGBTモジュールの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部モジュール技術部チームリーダー。





*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。