1,700 V / 75～200 A　4 in 1 モジュール

4–in–1 Modules with ratings of 1,700 V / 75–200 A

堀江　峻太 * HORIE, Shunta　　小平　悦宏 * KODAIRA, Yoshihiro　　郑　　茂 ‡ Zheng, Mao

交流から直流、あるいは直流から交流など、電気エネルギーを変換する電力変換装置では、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）モジュールを中心としたパワーモジュールがキーデバイスとして広く用いられている。IGBT モジュールでは、高性能・高信頼性だけでなく、装置設計の簡便化および小型化への対応も要求されている。さらに、用途ごとに実用化されているさまざまな回路方式に適した特性を持つことも必要とされている。

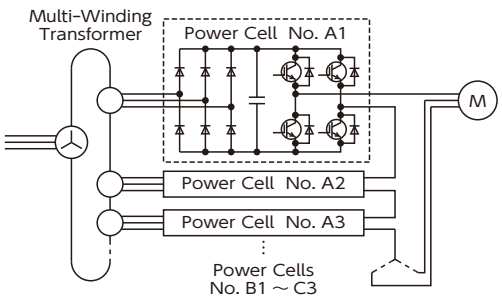
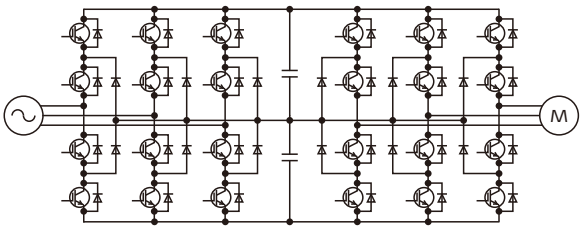
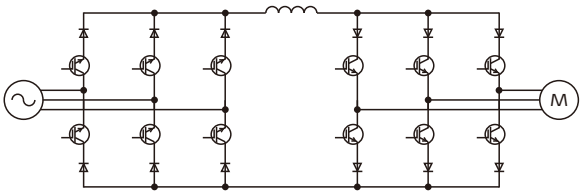
本稿では、高圧インバータの回路構成に最適となるように、新たに開発した 1,700 V/75 ～ 200 A　4 in 1 モジュールについて述べる。

1　特徴

高圧インバータは、690 V 以上の高い入力電圧に対して出力電圧と周波数を制御する電力変換装置であり、金属加工、化学工場、天然ガスや化石燃料の採掘など、さまざまな分野で使用されている。**表 1** に高圧インバータの回路方式を示す。このうち、ユニット直列多段式は、構成が簡素で、かつ保守が容易であるなどの特徴から、中国市場を中心として全世界で 60% 近いシェアを占め、今後も高圧インバータの主流となることが見込まれている。

従来のユニット直列多段式高圧インバータは、2 in 1 モジュール 2 台とコンバータダイオードモジュール 1 台を組み合わせていた。これに対して、今回開発した 1,700 V

表 1　高圧インバータの回路方式

	回路例	特徴	適用モジュール	市場に占める割合と主に使われる地域
ユニット直列多段式		○シンプルなトポロジー ○メンテナンスが容易 ○直列数によって出力調整が可能 ○入力用のトランスが必要（高コスト）	1,700 V / 75 ～ 1,200 A 2 in 1 モジュール	60% 世界各地（中国ほか）
3レベル式		○トランス不要 ○トポロジーが複雑	3.3 kV / 800 ～ 1,500 A 4.5 kV / 400 A ～ 1,500 A HPM	30% 欧州およびアメリカ
電流源式		○逆阻止ダイオード要（高損失）	6.5 kV / 400 A ～ 1,500 A Press Pack（GCT）	10% 欧州およびアメリカ

＊ 富士電機株式会社半導体事業本部産業事業部産業設計第一部

‡ 富士電機（深圳）有限公司パワー半導体開発部

4 in 1 モジュールは、**図 1** と**図 2** に示すように、1 パッケージに三相整流回路、H ブリッジ回路とサーミスタを内蔵することにより、入力整流回路と出力インバータ回路を最適化している。このモジュール 1 台と受動部品のみでインバータユニットを構成できるため、ユニットの多段化を容易に行うことができる。また、1 パッケージ化により、モジュールのフットプリントを従来の構成に比べ 54% 低減している。

今回開発した 1,700 V　4 in 1 モジュールは、**表 2** に示すように 75～200 A までを同一パッケージでラインアップしている。

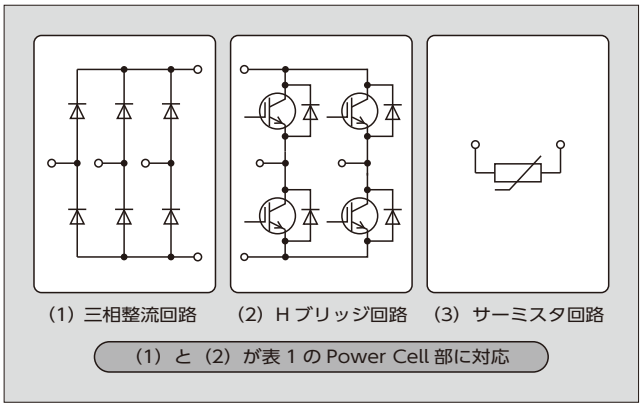


図 1　等価回路

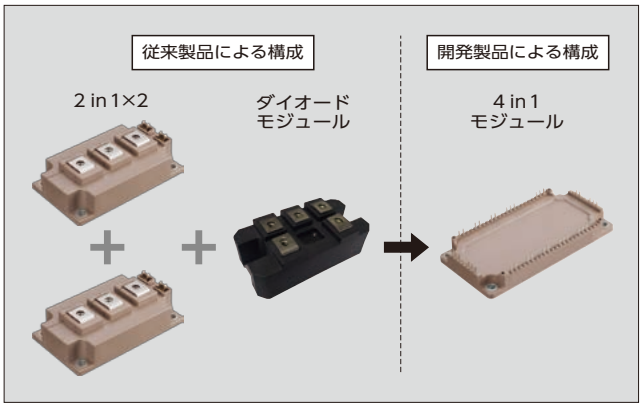
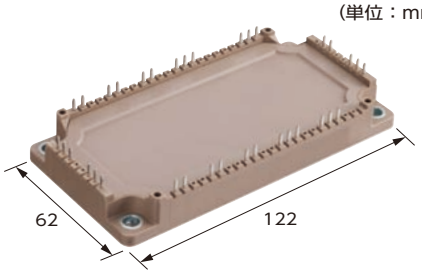


図 2　高圧インバータモジュール構成比較

表 2　1,700 V 4 in 1 モジュールラインアップ

定格電圧 (V)	定格電流 (A)			
	75	100	150	200
1,700	→			
製品外観 EconoPIM™*	(単位：mm) 			

*EconoPIM™: Infineon Technologies AG の商標または商標登録

2　適用技術

2.1　レイアウト最適化による熱集中の低減

1 章で述べたように、従来に比べフットプリントを 54% 低減しているため、モジュールの熱密度が増大する。そのため、隣接するチップ同士の熱干渉によるチップ温度の上昇を抑えることが開発する上での技術課題であった。

開発製品の半導体素子には、インバータ動作時の電力損失を低減した第 7 世代 FWD（Free Wheeling Diode）を採用したことで、モジュールの温度上昇を抑え、従来は 2 in 1 パッケージ 2 台で構成していたが、1 パッケージに 4 in 1 回路を搭載することを可能にした。

温度上昇を抑制するため、チップの配置を最適化し、チップ間の熱干渉の影響を抑えるレイアウトとした。**図 3** に有限要素法による温度解析結果を示す。最も厳しい条件として搭載した全チップが同時に発熱した場合では、IGBT チップの最高温度は 142.6 ℃となることが判明した。このモジュールの最高温度は、各チップの最高温度の平均値である 136 ℃と比べると、その差は 5% 以内と小さかった。この結果より、発熱密度が増大しても一つのチップが過剰に温度上昇することがないことを確認した。

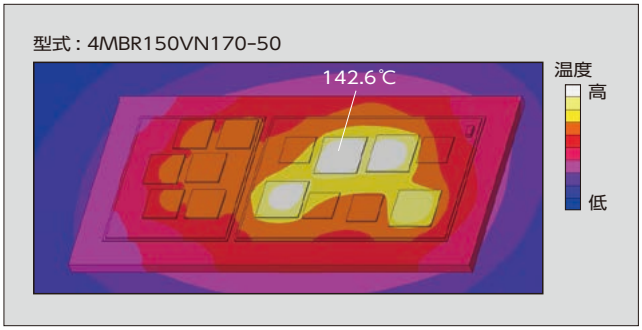


図 3　有限要素法による温度解析結果（全相発熱）

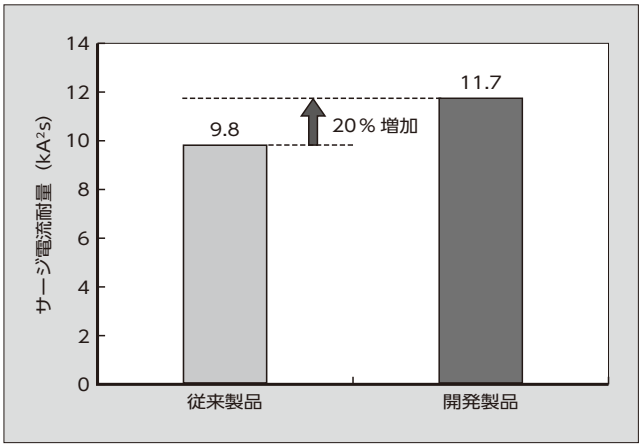


図 4　サージ電流耐量の比較結果（T_{vj}=150 ℃）

2.2　2,200 V コンバータダイオードによる高信頼性化

高圧インバータが電源の不安定な地域で使用されることを想定すると、外来サージ電圧に耐えられるように過電圧耐量を向上させることと、瞬時電圧低下からの復帰時に発生する入力サージ電流に耐えられるように入力サージ電流耐量を向上させる必要がある。そこで、モジュール耐圧の 1,700 V を上回る 2,200 V の耐圧とサージ電流耐量を持つコンバータダイオードを開発した。**図 4** に従来製品と開発製品のサージ電流耐量の比較結果を示す。従来モジュールに対し、耐量が 20% 増加し、信頼性が向上した。

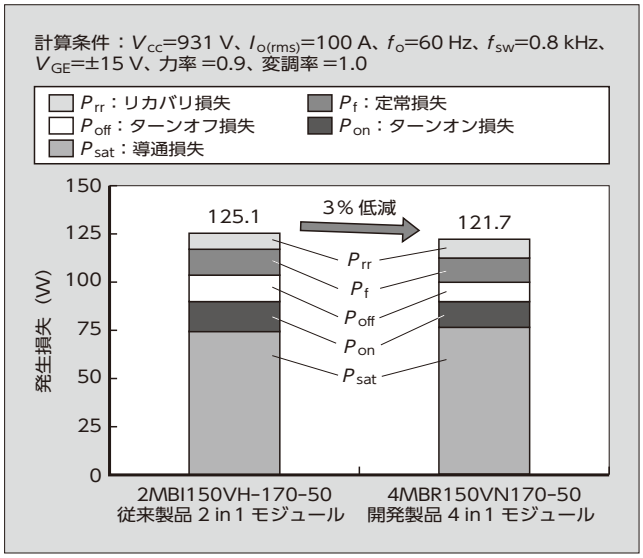


図 5　発生損失の比較結果

3　適用例

図 5 に、開発した 4 in 1 モジュールと従来の 2 in 1 モジュールを高圧インバータに組み込んだときの発生損失の比較結果を示す。開発製品である 4 in 1 モジュール（4MBR150VN170−50）は従来製品である 2 in 1 モジュール（2MBI150VH−170−50）と比較して、発生損失が 3% 低減した。この結果より、インバータの周辺部品を変更することなく、従来の構成に比べてフットプリントを 54% 低減した 4 in 1 モジュールを搭載でき、システム全体の小型化に寄与することができる。

発売時期

2021 年 4 月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
半導体事業本部営業統括部営業第一部
電話（03）5435−7152

（2023 年 3 月 22 日 Web 公開）

富士電機

Innovating Energy Technology

＊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。