

LV100パッケージ製品の 再生可能エネルギー市場向け製品展開

Product Development of LV100 Package Family for Renewable Energy Market

*パワーデバイス製作所

要 旨

化石燃料の代替として注目される再生可能エネルギー電源は、単機当たりの出力性能を向上させることによって発電電力を低資源かつ効率的に供給できる。出力性能向上には、電力変換装置の大電流・高電圧化が必要であり、そのコアパーツであるパワーモジュールがより小さい電力損失で発熱を抑えて、かつ安全に動作することが求められている。

三菱電機は、低電力損失である第7世代IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を業界標準であるLV100パッケージに搭載した製品を展開している。中でも、2.0kV及び1.2kV耐圧の製品は、太陽光発電や蓄電池、風力発電システムの
大電流・高電圧化の技術動向に適応した製品としてその付加価値向上に貢献している。

1. ま え が き

カーボンニュートラル実現に向けた再生可能エネルギーを用いた発電システムの導入が加速的に進んでいる。中でも、太陽光や風力エネルギーを用いた発電システムやその発電エネルギーを効率良く蓄電・輸送・活用するための蓄電池や燃料電池システムが、化石燃料を用いた発電システムの主要な代替システムと大きく期待され、著しく実績を伸ばしている。これらの再生可能エネルギー発電システムの高効率化、すなわち投入資源当たりの出力電力量の最大化を目的として、システム大容量化やシステムコストの低減が活発に進められている。

本稿では、これらの再生可能エネルギー発電システムの中で、特にメガワットを超える大規模発電設備で用いられる電力変換装置(以下“インバーター”という。)で使われるパワーデバイスについて、システム大容量化やシステムコスト低減を実現するためにパワーデバイスに求められる技術要件と、対応する当社製品の展開について述べる。

2. 再生可能エネルギーシステム向けインバーターの技術動向

メガワットクラスの太陽光発電システム向けインバーター及び風力発電タービンの電流電圧定格について、各種メーカーの定格ラインアップをプロットしたものを、図1に示す。電圧・電流共に幅広い定格が存在するが、その動向について次に述べる。

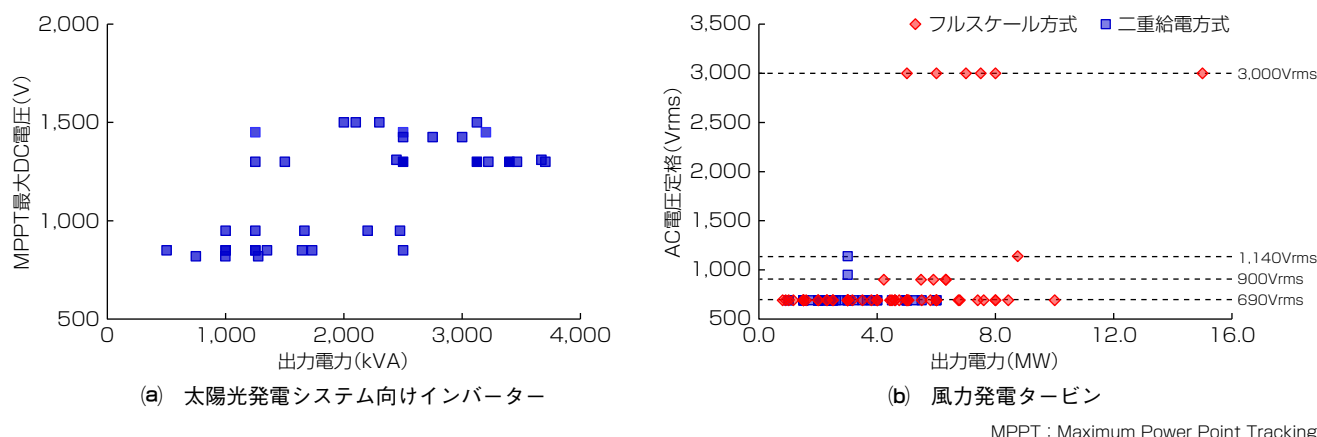


図1-システム出力電力と定格電圧

2.1 高出力電流化

太陽光発電システムや風力発電システムでは、出力電力の最大化を追求する開発が進んでおり、その方策の課題が出力電流の最大化である。装置を大型化せずに大電流化を実現するために、大電流動作でもその発熱が小さく抑えられる低電力損失パワーモジュールが求められる。一方で、電流増加に伴い、バスバーやケーブルなどのパワーモジュール以外の周辺部品の発熱も著しく大きくなるため、出力電流の最大化だけでは出力電力の最大化には一定の限界がある。

2.2 動作電圧の高電圧化

太陽光発電システムや蓄電池システム用途では、太陽光パネルや蓄電池など直流電源と接続される。そのインバーター入力部は1,000~1,500VDC定格が存在する。現在は、低電圧指令⁽¹⁾の要件に基づく直流電圧の上限値である1,500VDCが主流である。この指令に準拠するコンバーターは定格電圧が1,500VDC(及び1,000VAC)以下でなければならない。直流電圧を最大化することで、同じ出力電力を低い出力電流で実現でき、送電ケーブルなど出力電力当たりのコストが抑制される。定格1,500VDCに対して、太陽光発電システムでは太陽光パネルの出力特性とインバーターのMPPT制御によって、パワーデバイスは900~1,300VDCが主な連続動作点になる。ただし近年は特に、太陽光パネルの設置容量がインバーター定格より大きい場合や、電力の需給調整に伴う供給電力制限が求められる場合などが増えており、その場合1,400VDC程度のより高い連続動作電圧を考慮する必要がある。風力発電システムでも、変換器の入力電圧である交流発電機電圧や、出力電圧である系統接続トランスの一次電圧は、現在は690VACが主流な定格AC電圧であるが、同じ出力電流でより高い出力電力を得るために高出力電圧化が進んでいる。900VACシステムでは、1,400VDC程度を考慮する必要がある。グリッドコードで要求される系統異常時の継続動作要件であるLVRT(Low Voltage Ride Through)やHVRT(High Voltage Ride Through)を満たす必要がある場合は、690VACシステムであっても1,400VDC程度を考慮する必要がある。

このような高電圧動作に対して、パワーモジュールには、スイッチング時に発生するサージ電圧に対する十分な耐圧設計はもとより、宇宙線による破壊耐量(LTDS: Long Term DC Stability)が十分低いことが求められる。LTDSは通常、動作電圧に対して十分な尤度(ゆうど)を持った電圧定格を選択することでその故障率が低くなる。一方で、耐圧尤度を過度に設定すると、一般に電力損失が悪化するというトレードオフがある。良好なLTDS故障率を維持しながら低い電力損失を実現するための方策として、1,200V定格の2in1パワーモジュールを3個組み合わせた3レベルIタイプ回路がよく使用される(図2)。ただし、3レベルIタイプ回路は、必要な素子数が2レベルと比べて3倍多く、パワーモジュールの数も増えるため、制御の複雑化やゲートドライバーなど周辺部品の増加といったデメリットもあり、シンプルな2レベル回路と比べてその優劣は一長一短である。

このように再生可能エネルギー用インバーターの技術開発は、大電流化・高電圧化を追求する動向であり、その大電流・高電圧で低電力損失かつ安全動作を実現するパワーモジュールが求められる。さらに、その回路構成も2レベルや3レベルなど一様ではないため、それらの要求に柔軟に対応できるパワーモジュールが好適である。

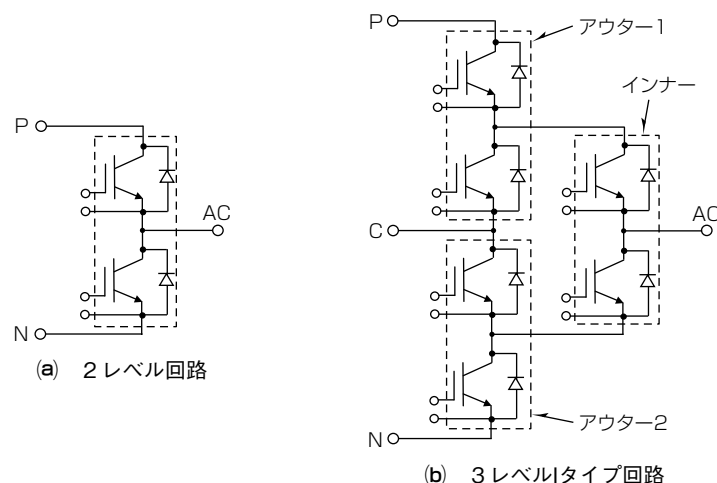




図2-2 2レベル回路と2in1素子を3個組み合わせる3レベルIタイプ回路

3. 顧客課題を解決するLV100パッケージ製品

表1に、大容量領域の標準パッケージであるLV100パッケージを用いた製品ラインアップを示す。実装サイズ100×140mmのコンパクト性を実現したLV100パッケージは、システムの大電流化・高電圧化に対応するパワーモジュールとして注目されている。パワーモジュール単体の大電流定格化が実現可能であるとともに、パワーモジュール同士の並列接続もしやすく、同一パッケージ外形で異なる電圧定格にも対応できるため、異なるシステム電流容量やシステム電圧定格への拡張性を実現する際に、主にその寸法設計が共通化されたゲートドライバーや冷却器を用いることができる。このように、大電流・高電圧に柔軟に対応可能なLV100パッケージは、同じく大電流・高電圧化が求められる再生可能エネルギー用途に適しており、当社は次に示すように同用途での顧客課題を解決する製品ラインアップを展開している。

表1-当社LV100パッケージ製品ラインアップ

		絶縁耐圧 4 kV 製品群 (産業用途向けLV100)			絶縁耐圧 6 kV 製品群 (電鉄用途向けLV100)	
製品						
外観サイズ(mm)		100×140×40			100×140×40	
絶縁耐圧(kV)		4			6	
定格電圧(kV)		1.2	1.7	2.0	1.7	3.3
定格電流(A)	Si	800 1,200	800 1,200	1,200	1,200	450 600
	ハイブリッドSiC	-	-	-	-	600
	フルSiC	-	-	-	-	750 800
品質マネジメント		ISO9001			IRIS	

Si：シリコン，SiC：シリコンカーバイド

3.1 2レベル回路対応2.0kV耐圧製品

1,500VDC定格の太陽光発電、蓄電池システム、900VAC定格の風力発電システムなどの高電圧システムを、2レベル回路の特長であるシンプルな回路構成によって実現可能になる1,200A/2.0kVパワーモジュールCM1200DW-40Tを展開している。低電力損失を実現した第7世代IGBT及びFWD(Free Wheeling Diode)を2.0kV耐圧に展開したパワーデバイスを搭載している。従来の1.7kV耐圧では高電圧動作でLTDSによる故障率が高くなるが、太陽光や蓄電池システムの動作電圧を考慮した最適な耐圧設計によってその故障率を十分低く抑えることができる(図3)⁽²⁾。一方で、過剰に尤度

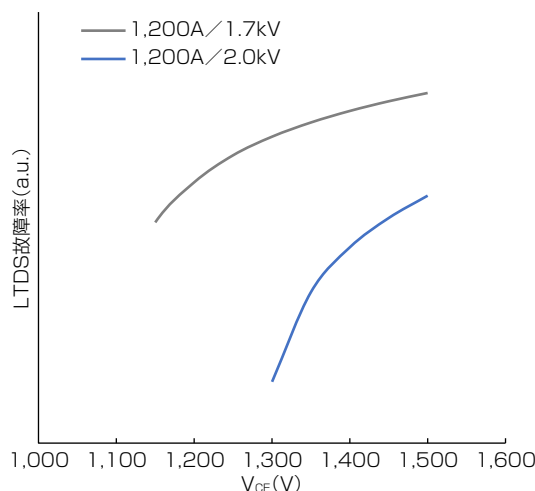


図3-LV100 1,200A製品のLTDS耐量

を取った耐圧設計を避けることで、電力損失の増加も最低限に抑制し、低故障率と低損失の要求に同時に対応する製品になっている。図4に、1,500VDC定格の太陽光及び蓄電池用途を想定した電力損失及び水冷による冷却を想定した動作温度の試算結果を示す⁽³⁾。このように、2レベル回路を用いた690kWインバーターが実現可能であり、さらにパワーモジュールを並列接続することでメガワット級のインバーターも構成できる。

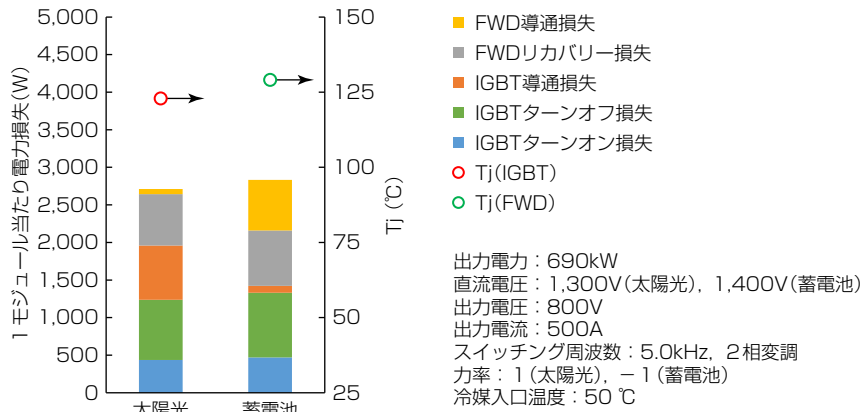


図4 - CM1200DW-40Tを用いた3相インバーターの電力損失・温度試算

3.2 3レベル対応1.2kVクラス耐圧製品

3.1節で述べた高電圧システムを3レベルIタイプ回路で構成する際に最適な1,200A/1.2kV IGBTモジュールCM1200DW-24Tを展開している。第7世代IGBTとFWDを搭載し、低電力損失を実現している。図5に、1,500VDC定格の太陽光及び蓄電池用途を想定した電力損失及び強制空冷による冷却を想定した動作温度の試算結果を示す。このように、3レベルIタイプ回路を用いて1,170kWインバーターが実現可能であり、強制空冷でもメガワット級のインバーターを構成できる。

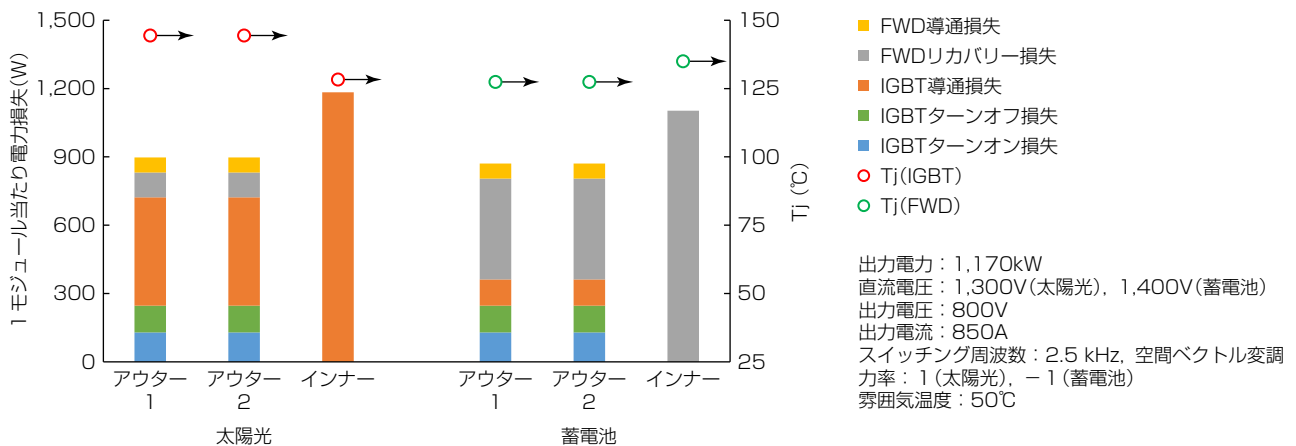


図5 - CM1200DW-24Tを用いた3相インバーターの電力損失・温度試算

4. 今後の展望

第7世代IGBTと比べて更に低損失化を実現できる次世代IGBTを搭載した大電流パワーモジュールや、今後も上昇していくことが見込まれる動作電圧に対応できる高電圧次世代パワーモジュールなど、これまで述べたインバーター電流・電圧性能の更なる向上が可能になる製品開発を進めて、再生エネルギー電源の付加価値向上に貢献する。3レベルなどマルチレベル回路の応用やSiCデバイスの採用が旺盛(おうせい)な市場でもあり、これらの動向を踏まえた最適な製品を展開していく。

5. む す び

2.0kV及び1.2kV耐圧の第7世代IGBTを搭載したLV100パッケージ製品CM1200DW-40T及びCM1200DW-24Tは、近年主流になっている定格1,500VDCの再生可能エネルギー電源用インバーターに適しており、その大電流化・高電圧化の実現を可能にするパワーモジュールである。今後、カーボンニュートラル実現への世界的潮流が加速していくことが見込まれ、更なる大電流化・高電圧化に対応できるパワーモジュール製品への期待は大きい。再生エネルギー電源の付加価値向上に貢献できる次世代製品の開発を進めて、市場・顧客の期待に対応していく。

参 考 文 献

- (1) Low Voltage Directive (2014/35/EU)
- (2) Radke, T., et al. : 2000 V Class LV100 IGBT Module Enabling Higher Power Density and Design Simplification in Renewable 1500 V Inverter Systems, PCIM Europe 2022, 383~387 (2022)
- (3) Miyahara, S., et al. : Novel 2000 V IGBT with LV100 package for Renewable Energy Application, PCIM Asia 2022, 200~205 (2022)

