

SiC ハイブリッドモジュールを搭載した 690 V 系列 インバータ「FRENIC-VG スタックシリーズ」

690-V Inverters Equipped with SiC Hybrid Module, “FRENIC-VG Stack Series”

佐藤 和久 SATO, Kazuhisa

高野 信 TAKANO, Makoto

野村 和貴 NOMURA, Kazuki

富士電機では、業界最高クラスの性能を持つ「FRENIC-VG シリーズ」に、690 V 系列のスタックタイプを用意している。船舶や海外の化学プラント、鉱業、水処理設備などでの需要が多く、これまで 90 ~ 315 kW の容量であった 690 V 系列に、355 ~ 450 kW の容量をラインアップに追加した。低損失の SiC ハイブリッドモジュールを搭載することで大容量化に伴う製品の大型化を抑制し、製品の幅寸法を 220 mm に維持している。また、複数台のスタックの並列接続により、2,700 kW までの多巻線モータの駆動や、ダイレクトパラ接続方式による 1,200 kW までの大容量単巻線モータの駆動を可能にした。

Fuji Electric offers 690-V stack type of the “FRENIC-VG Series” that has the highest-level performance in the industry. The 690-V inverters have seen high demand from the marine industry, overseas chemical plants, mining and water treatment facilities and their conventional capacities were between 90 and 315 kW. Now capacities from 355 to 450 kW have been added to the lineup. Incorporating a SiC hybrid module with low power dissipation prevents the product from becoming larger due to capacity enlargement, and keeps the product width to 220 mm. Connecting multiple stacks in parallel makes it possible to drive multi-winding motors up to 2,700 kW. Having a direct parallel connection enables large-capacity single-winding motors to be driven up to 1,200 kW.

① まえがき

近年、鉄鋼プラントや大型クレーンなどの大規模設備で使われるインバータに対して、大容量化や高応答・高精度化の要求が高まるとともに、設置や交換作業などのメンテナンス性の向上と省スペース化が求められている。

こうしたニーズに応えるため、業界最高クラスの性能を持つ「FRENIC-VG シリーズ」のラインアップに、400 V 系列のスタックタイプを 2012 年度に加えた。また、船舶や海外の化学プラント、鉱業、水処理設備などで需要が多い 690 V 系列インバータのスタックタイプを、2014 年 6 月に発売した。図 1 に製品の適用先を示す。

今回、90 ~ 315 kW の容量であった 690 V 系列に、355 ~ 450 kW の容量をラインアップに追加した。低損失の SiC ハイブリッドモジュールを搭載することで、大容量化に伴う製品サイズの大型化を抑制している。図 2 に製品の外観と盤への収納例を示す。

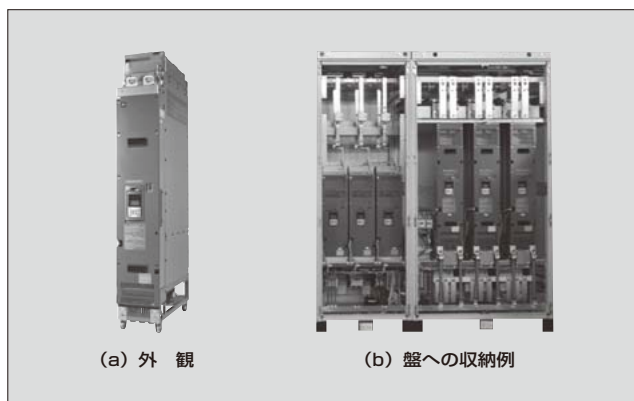


図 2 690 V 系列インバータ「FRENIC-VG スタックシリーズ」

本稿では、SiC ハイブリッドモジュールとこれを搭載した 690 V 系列インバータ「FRENIC-VG スタックシリーズ」について述べる。

② SiC ハイブリッドモジュール

355 ~ 450 kW の容量の 690 V スタックに搭載した SiC ハイブリッドモジュールは、SiC-SBD (Schottky Barrier Diode) と Si-IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) で構成している。これは、富士電機製 1,700 V 耐圧 SiC-SBD チップと第 6 世代「V シリーズ」IGBT チップを使用したものである。SiC ハイブリッドモジュールの外観および回路構成を図 3 に示す。

2.1 SiC ハイブリッドモジュールの特徴

SiC ハイブリッドモジュールは、少数キャリアの注入がないユニポーラデバイスである SiC-SBD を使っているため、スイッチング動作時において逆回復損失 E_{rr} がほとん



図 1 690 V 系列インバータ「FRENIC-VG スタックシリーズ」の適用先

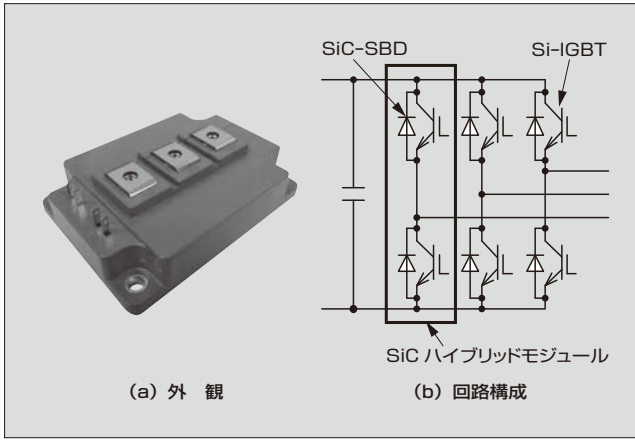


図3 SiC ハイブリッドモジュール

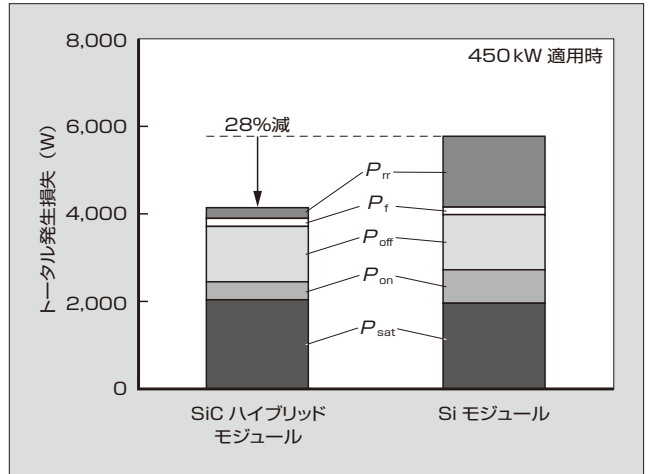


図5 モジュールのトータル発生損失

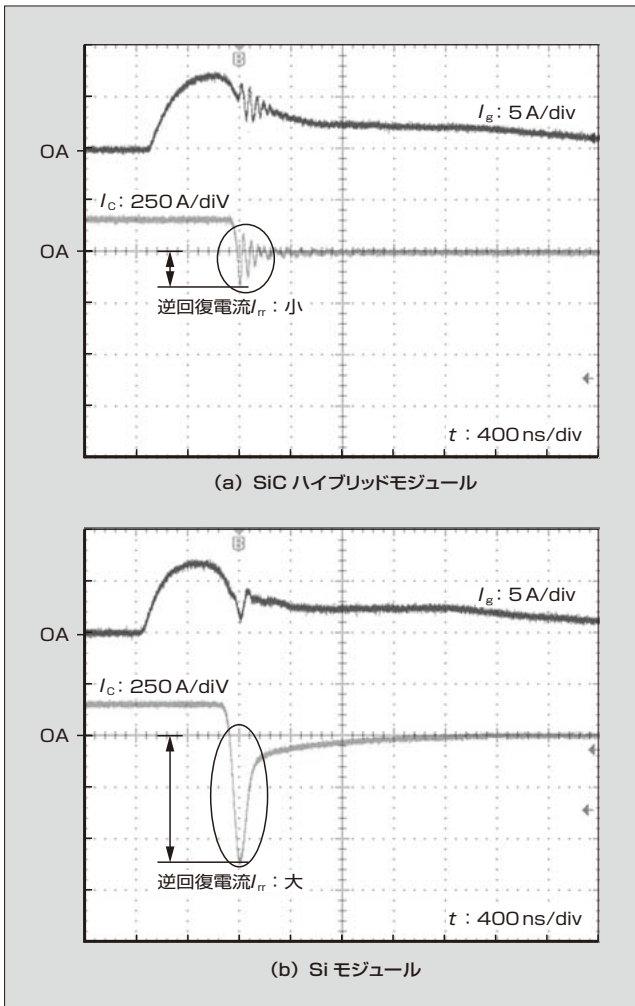


図4 モジュールの逆回復電流波形

ど発生しないという特徴がある。図4に、モジュールの逆回復電流波形を示す。従来のSiモジュールに比べてSiCハイブリッドモジュールの逆回復電流が大幅に小さくなっている。さらに逆回復電流の低減は、対向アームIGBTのターンオン損失 E_{on} の低減にもつながる。

図5に、450kWスタックに搭載した場合のSiモジュールとSiCハイブリッドモジュールのトータル発生損失の比較を示す。SiCハイブリッドモジュールの P_{rr} は、Siモ

ジュールに比べて約85%低減し、 P_{on} は約45%低減する。トータル発生損失は28%低減され、装置の小型化や容量の拡大が可能となる。

2.2 SiC ハイブリッドモジュールの適用における課題と対策

SiCハイブリッドモジュールは、Siモジュールよりも高速でスイッチングを行う。そのため、デバイスを並列に接続した場合に電流の分担を適切にして、動作の安定化を図る必要がある。さらに、インダクタンスの低減と均等化を行い、インピーダンスのマッチングを行うことで発振現象を抑えてEMCの低ノイズ化を図る必要がある。

そこで、配線インダクタンスの電磁解析シミュレーション(図6)により、電流分担の最適化およびモジュール内部インピーダンスとゲートドライブ回路のインピーダンスのマッチングを行い、ゲート発振を抑えたスイッチング動作を得ている。

また、海外向けのインバータでは、輸出先ごとの規格に適合することが必須である。特にEMC規格であるEN61800-3の放射ノイズをクリアするため、次の施策を行った。

SiCハイブリッドモジュールは高速でスイッチングするため、インバータから発生する放射ノイズは増加する。従来の放射ノイズの対策は、インバータを盤に収納することやインバータの出力ケーブルに零相リアクトル(コモン

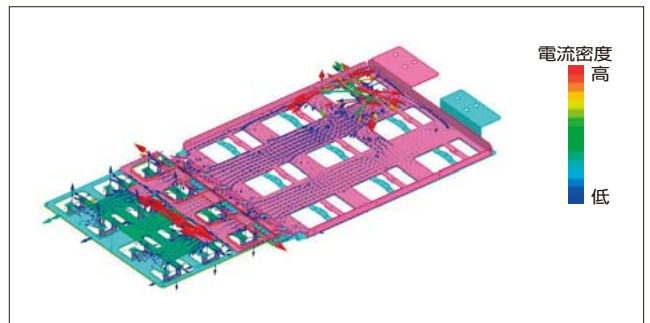


図6 配線インダクタンスの電磁解析シミュレーションの例

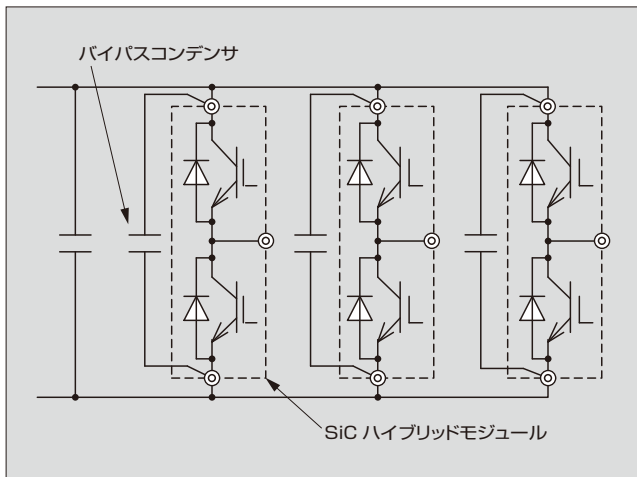


図7 SiC ハイブリッドモジュールに接続したバイパスコンデンサ


モードリアクトル) を挿入することで行っていた。しかし、このようなインバータの外部での対策は、SiC ハイブリッドモジュールの適用で増加した放射ノイズに対しては低減効果が十分ではない。

一方で放射ノイズは、ノイズ電流が流れるループ(放射面積)の大きさに比例するので、このループを小さくするためにノイズ源の近傍で対策を行うと効果的である。そこで、FRENIC-VG スタックシリーズでは、ノイズ源である SiC ハイブリッドモジュールの直近に、周波数特性の良いバイパスコンデンサを並列に接続して放射ノイズを低減した(図7)。

③ 690V 系列インバータ「FRENIC-VG スタックシリーズ」

3.1 製品ラインアップ

690 V 系列インバータ「FRENIC-VG スタックシリーズ」のラインアップを図8に示す。インバータ、PWMコンバータ、フィルタスタック、ダイオード整流器を同一形状のスタックとして用途に応じて選択できる。SiCハ

形状	シリーズ	形状構成	仕様 (適用負荷)	標準適用モータ容量 (kW)				
				50	100	500	1,000	5,000
 スタック	インバータ 「FRENIC-VG」	単機	MD (LD)	90 (110)	450 (450)	1,200 (1,200)	2,700 (2,700)	
	PWMコンバータ 「RHC-D」*	単機	MD (LD)	132 (160)	450 (450)	1,200 (1,200)	2,700 (2,700)	
	フィルタスタック 「RHF-D」*	単機	—	160	450			
	ダイオード整流器 「RHD-D」	単機	MD (LD)	220 (250)	450 (450)	2,000 (2,000)		

* 2015 年度発売予定

図8 690 V 系列インバータ「FRENIC-VG スタックシリーズ」のラインアップ

イブリッドモジュールを新たに搭載した単機容量 355 ~ 450 kW のインバータを追加して、90 ~ 450 kW の範囲のインバータをそろえた。モータのさらなる大出力化に対応する場合には、巻線分割を行った大容量多巻線モータを使用するか、スタックを並列に接続することで出力容量を拡大する。

FRENIC-VG では、最大 6 巻線までの多巻線モータを駆動することができ、2,700 kW までの容量に対応が可能である。また、限流用リアクトルを使用せずにスタックを並列で接続することで大容量単巻線モータを駆動できるダイレクトパラ接続方式にも対応している。このダイレクトパラ接続方式は、図9に示すように、最大 3 台のスタックをモータ端子部で並列接続することで、1,200 kW までの大容量単巻線モータの駆動が可能である。

なお、各スタック間の出力電圧の誤差により、誤差電流(横流)が生じる。従来は、限流用リアクトルを挿入することで横流を抑えていた。FRENIC-VG では、制御ソフトウェアによる横流抑制制御を適用することにより、限流用リアクトルを不要にした。この横流抑制制御と出力動力

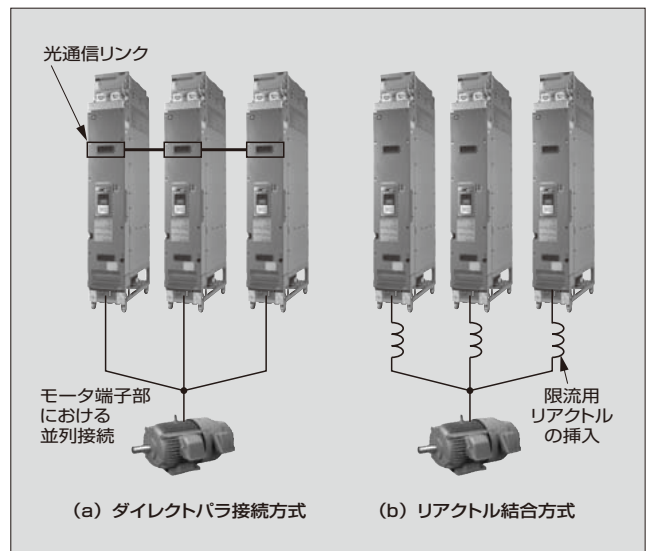


図9 スタックの並列接続方式

線の内部インダクタンスにより、スタックの並列接続を可能としている。

3.2 スタックタイプの特徴

(1) 製品の幅寸法の統一

690 V 系列インバータの FRENIC-VG スタックシリーズは、スタック幅を 220 mm に統一し、盤への収納性を高めることにより、省スペース化とトータルコストダウンを可能にした。

特に、355～450 kW のスタックについては、[2章](#)で述べたとおり、SiC ハイブリッドモジュールを搭載することにより、Si モジュールに比べてトータル発生損失を 28% 低減している。これにより、モジュールの冷却体部分の容積を従来のままとし、スタック幅を 220 mm に維持することができた。

従来、690 V 系列の 450 kW のインバータを構築するには、[図 10](#) に示すように、ダイレクトパラ接続によって 250 kW のスタックを 2 並列で構成する必要があった。SiC ハイブリッドモジュールを搭載した 450 kW スタックであれば、スタックは 1 台だけで駆動できるので、盤の小型化に大きく貢献できる。

(2) 用途に応じたコンバータの選択

オールインワンのユニットタイプと異なり、スタックタイプではコンバータ部とインバータ部を別々のスタックに分離して構成した。

これによって用途に応じたコンバータの選択が可能となり、電源回生がない用途ではダイオード整流器を、電源回生もしくは高調波抑制が必要な用途には PWM コンバー

タを選択できる。

(3) 直流配電による省スペース化

直流部分でコンバータ部とインバータ部を分離した構成としているため、直流母線間のエネルギー授受を目的とした直流配電によるマルチドライブの構成が可能となる。これによってコンバータ容量の削減や、大容量システムの構築が容易になり、盤の省スペース化が実現できる。

(4) メンテナンス性の向上

重要設備では、トラブル発生時や設備更新時などにおいて、インバータの交換に必要な作業時間の短縮が求められる。

スタックタイプでは、キャスターによる引出し構造や交換用リフターを準備することにより、従来のユニットタイプと比較して大幅な作業時間の短縮を実現している。

4 あとがき

SiC ハイブリッドモジュールを搭載した 690 V 系列インバータ「FRENIC-VG スタックシリーズ」について述べた。

今後は、ダイレクトパラ接続方式において、横流抑制制御の制御ソフトウェアを拡張して並列接続数を増やすことにより、690 V 系列インバータシステムの適用分野を拡大していく所存である。

参考文献

- (1) 田中正男ほか. 高性能ベクトル制御形インバータ「FRENIC-VG」. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.3, p.199-203.

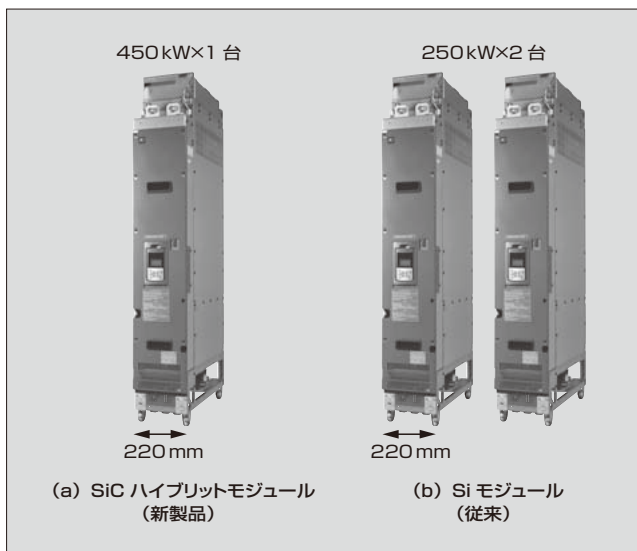


図 10 SiC ハイブリッドモジュール適用による省スペース化



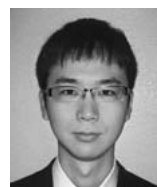
佐藤 和久

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス事業部開発部グループリーダー。



高野 信

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス事業部開発部グループリーダー。



野村 和貴

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス事業部開発部。



*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。