

高圧インバータ「FRENIC4600FM4 シリーズ」用 レトロフィット製品

Retrofit Components for “FRENIC4600FM4 Series” Medium-Voltage Inverters

山田 達也 YAMADA, Tatsuya

市位 嘉崇 ICHI, Yoshitaka

高橋 義和 TAKAHASHI, Yoshikazu

設置後 20 年以上が経過し保守期間が終了した高圧インバータは、新機種への更新時期を迎えている。しかし、インバータ盤全体の更新では、改めて基礎工事が必要になるため、設備の停止期間が長くなる。また、設置場所によっては搬入口が狭く、盤の搬入ができないなどの問題が起こり得る。そこで、高圧インバータの盤全体ではなく、インバータセルや制御スタックなどの有寿命品だけを更新することで、停止期間の短縮や搬入の問題などを解消できる「FRENIC4600FM4 シリーズ」のレトロフィット製品「FRENIC4600FM4RF シリーズ」を開発した。

Medium-voltage inverters that are over 20 years old and have reached the end of their service life need to be replaced with a new model. However, replacing the entire inverter panel will require additional foundation work, resulting in longer downtime periods for the facilities. In addition, depending on the installation location, other problems could occur, such as the service entrance being too narrow to carry in the panel. Therefore, Fuji Electric has developed the “FRENIC4600FM4RF Series,” as a line-up of retrofit components for the “FRENIC4600FM4 Series.” It can shorten the downtime periods and solve the carry-in problems by replacing only consumable components, such as inverter cells and control stacks, rather than the entire medium-voltage inverter panel.

① まえがき

ファンやポンプ、ブロワ、圧縮機、押出機、ミキサなどで使われる 3.3 ～ 6.6 kV の高圧電動機を直接可変速制御し、信頼性に優れた高効率で高力率な高圧インバータは、安定操業や省エネルギーに大きく貢献している。

富士電機は、図 1 に示す高圧インバータ「FRENIC4600 FM4 シリーズ」を 1999 年に発売した。設置後 20 年以上経過し保守期間が終了した高圧インバータに対し、オーバホールではなく新機種への更新を提案している。しかし、高圧インバータは大型の盤構造であるため、基礎工事からの更新作業となるとお客様の設備の停止期間も長くなるため、積極的な更新を提案できない場合がある。また、設置場所によっては、部材の搬入口が狭く、盤の搬入ができないなど、更新が困難な場合がある。

そこでこれらの問題を解消するため、盤全体の更新で

はなく、有寿命品だけを更新することで、更新時間の短縮と狭い搬入口でも更新を可能とするレトロフィット製品を開発した。本稿では、このレトロフィット製品「FRENIC4600FM4RF シリーズ」について述べる。

② 「FRENIC4600FM4 シリーズ」と関連シリーズの位置付け

図 2 に高圧インバータの回路構成を示す。高圧インバータ FRENIC4600FM4 シリーズは、3 レベルの単相インバータ（インバータセル）を多直列に接続して、それらをスター結線構成とすることで、三相高電圧を出力可能としている⁽¹⁾。また、それぞれのインバータセルに、位相差を持たせた電圧を入力するための多相巻線の入力変圧器を持つ。2005 年には後継機種として「FRENIC4600FM5 シリーズ」を発売した。

そして 2015 年には、さらなる容量のラインアップの拡充と、機能の改善と追加を行った「FRENIC4600FM6e シリーズ」の量産を開始した。このシリーズはインバータセルを 2 レベルの単相インバータとし、長寿命であるフィルムコンデンサをオプションで選択できる。また、インバータセルが故障したときにバイパスして健全なセルだけで運転を継続するセルバイパス機能を持っている。

FRENIC4600FM4 シリーズが更新時期を迎えた場合には、装置を撤去して最新の FRENIC4600FM6e シリーズへの置換えを推奨している。一方で、さまざまな制約により撤去と置換えができない場合には、部分的な置換えによる FRENIC4600FM4RF シリーズへのレトロフィットを行うことができるようにしている。



図 1 高圧インバータ「FRENIC4600FM4 シリーズ」

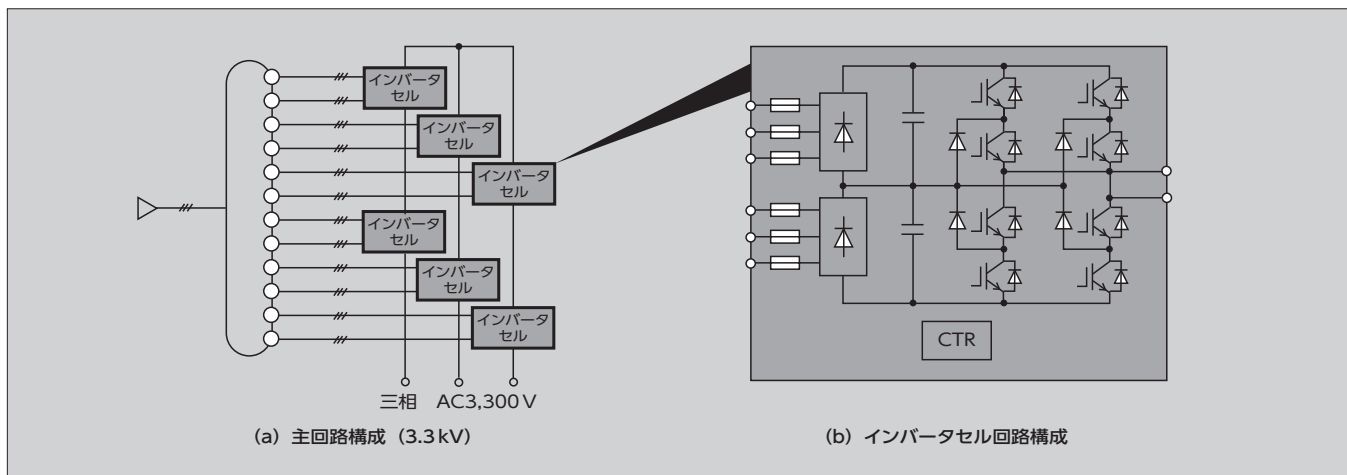


図2 高圧インバータの回路構成

3 概要

図3に FRENIC4600FM4 シリーズの内部構造を示す。盤内部に複数のインバータセル〔図3(a)〕や各インバータセルを制御する制御スタック〔図3(b)〕、入力変圧器〔図3(c)〕、その他電気品（ファンや電源など）などから構成されている。

これらのうち20年の保守期間を経過したインバータセルや制御スタックと、一部の電気品だけを更新することを FRENIC4600FM4RF シリーズは特徴としている。大型の盤筐体（きょうたい）や入力変圧器と主回路ケーブルは継続して使用することで、高圧インバータ全体を更新せずに設備の延命ができる。

FRENIC4600FM4RF シリーズの仕様を表1に示す。容量範囲は3.3kV系で400～825kVA、6.6kV系で800～1,650kVAをラインアップした。

表1 「FRENIC4600FM4RF シリーズ」の主要仕様

項目		仕様					
受電電圧		3φ AC3,300V 50/60Hz			3φ AC6,600V 50/60Hz		
トランス2次電圧		AC500V×12回路			AC500V×24回路		
出力	電圧	AC3,300V (入力電圧比例)			AC6,600V (入力電圧比例)		
	最高周波数	60Hz					
	容量 (kVA)	400	550	825	800	1,100	1,650
	定格電流 (A)	70	96	144	70	96	144
定格		100%連続					
		120% 60秒対応					
運転モード		2象限（回転制動なし）					
制御	方式	V/f一定制御（簡易センサレスベクトル制御）					
	範囲	1 : 50					
	精度	デジタル設定時周波数：±0.01% アナログ設定時周波数：±0.5%					
周囲条件	設置場所	屋内、標高1,000m以下					
	温度	0～+40℃					
	湿度	20～85%RH、結露なきこと					
	雰囲気	腐食性ガス、じんあい、引火、および爆発性ガスのない一般環境					
収納盤		自立閉鎖盤					
保護構造		IP20					
冷却方式		強制風冷					

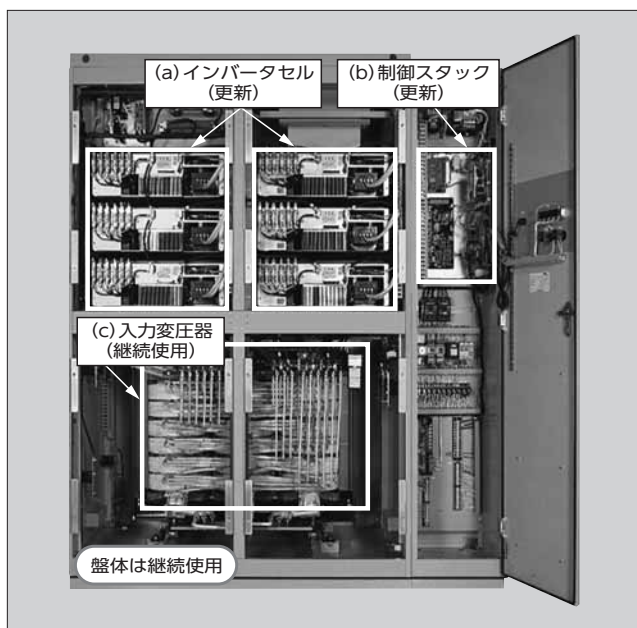


図3 「FRENIC4600FM4 シリーズ」の内部構造

4 特徴

4.1 新しいインバータセル

レトロフィット製品 FRENIC4600FM4RF シリーズ用に開発したインバータセルの外観を図4に示す。更新対象である FRENIC4600FM4 シリーズのインバータセルの外形寸法、取付け穴の位置と大きさ、および端子位置を同じにすることで、インバータ盤の改造や電線の交換を不要とし、更新作業の工数を削減している。

インバータセルの IGBT (Insulated Gate Bipolar

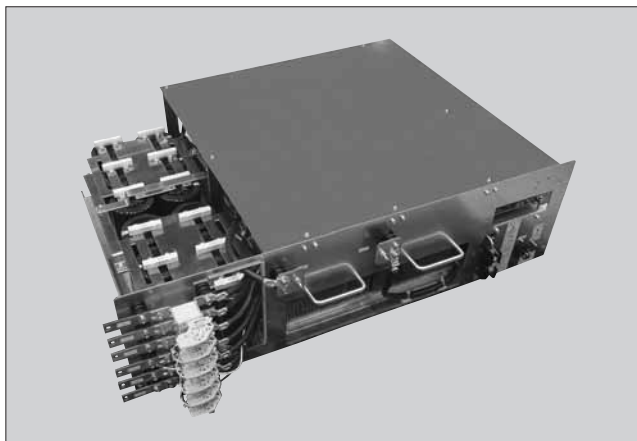


図4 「FRENIC4600FM4RF シリーズ」のインバータセル

Transistor) およびそれを駆動する制御回路は実績のある FRENIC4600FM5 シリーズのものを利用した。IGBT の制御は、後述する制御スタックからの制御信号を光ファイバケーブルにより各インバータセルのローカル制御装置に伝送することで行っている。FRENIC4600FM4 シリーズの制御スタックと各インバータセル間の通信には、図5に示すように多数の光ファイバケーブルが必要である。そのため、配線作業の工数が多くなってしまった。さらに、ループバック方式で各セルの運転状況を監視するため、この伝送経路に異常が生じると異常箇所の特定が困難であるという問題もあった。

この問題を解決するため、FRENIC4600FM4RF シリーズでは、最新の FRENIC4600FM6e シリーズで実績のある伝送構成に変更した。この伝送方式を図6に示す。

- (1) 従来、1台のセルごとに IGBT 制御用信号〔PWM (Pulse Width Modulation) 信号〕の伝送用光ファイバケーブルが5本必要であった。FRENIC4600FM4RF シリーズでは、高速シリアルデータ通信化とローカル制御装置側でデータを制御信号に復元する方式とすることで、5本あった伝送用光ファイバケーブルを1本に削減した。
- (2) 各セルの運転状況を監視するための伝送は、従来のループバック方式からシリアル通信方式に変更した。また、ローカル制御装置はシリアルデータ受信に連動してデータ送信を返す方式とすることで制御スタックと各セルとを1対1で接続する構成に変更した。

この変更により、配線作業の工数削減に加え、伝送経路に異常が発生した場合、制御スタックにて異常セルを容易に特定できるようになり、異常な伝送経路を表示によって明確化できるようになった。

この変更により、配線作業の工数削減に加え、伝送経路に異常が発生した場合、制御スタックにて異常セルを容易に特定できるようになり、異常な伝送経路を表示によって明確化できるようになった。

4.2 制御スタック

レトロフィット製品 FRENIC4600FM4RF シリーズの制御スタックを図7に示す。インバータセルと同様に、FRENIC4600FM4 シリーズの制御スタックの外寸法をはじめ、取り付け穴の位置と大きさ、および端子位置も同じにすることで、インバータ盤の改造や電線の交換は不要と

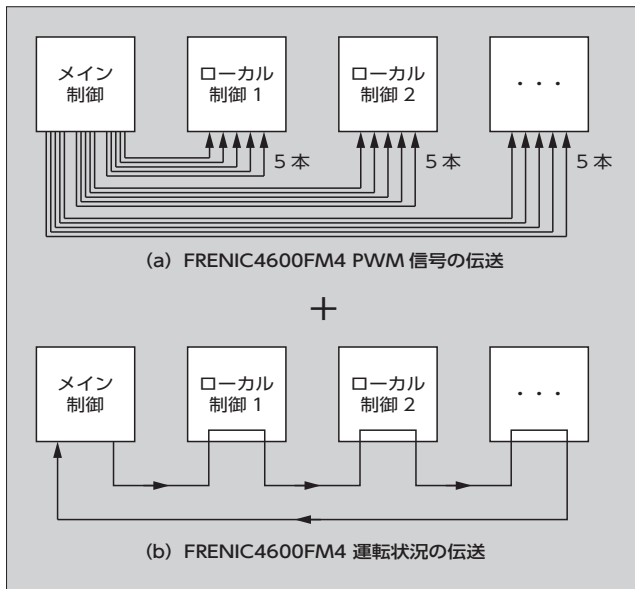


図5 伝送回路 (従来)

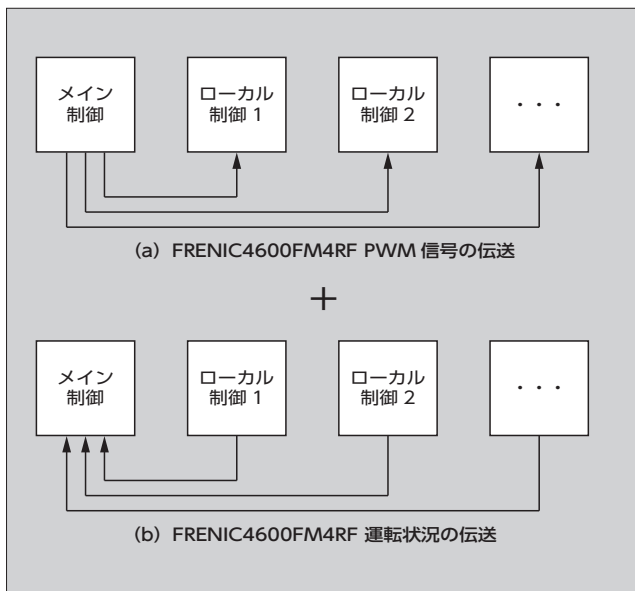


図6 伝送回路 (レトロフィット製品)

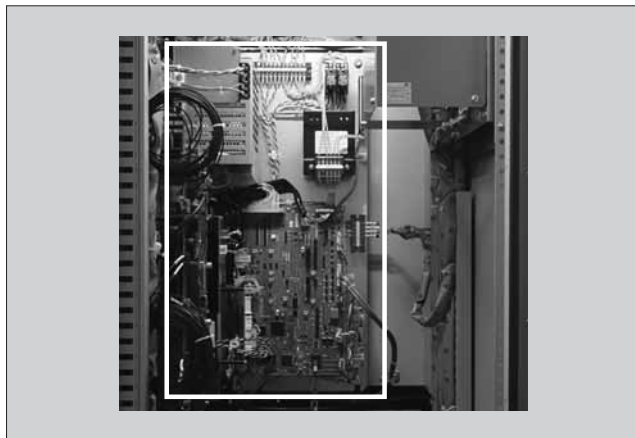


図7 「FRENIC4600FM4RF シリーズ」の制御スタック

し、更新作業の工数を削減している。

最新の FRENIC4600FM6e シリーズの制御回路をベースにし、かつ、制御ソフトも使用することで、最新シリーズと同等の制御性能と多機能化を実現した。また、前述したように光ファイバケーブルの伝送方式を改良した。さらに、USB インタフェースを新たに追加し、後述するメンテナンスツールの機能を大幅に向上させた。

4.3 メンテナンスツール DDC ロード

メンテナンスツール DDC (Direct Digital Control) ロードを使用することで、PC 上で制御パラメータの設定・変更・表示・保存や、運転状態の表示、故障原因の表示、といったメンテナンスなどに必要な作業が容易に行うことができる。

更新対象となる従来の FRENIC4600FM4 シリーズは、RS-232C インタフェース経由でデータを取得するため、DDC ロードはデータを高速で伝送できなかった。レトロフィット製品である FRENIC4600FM4RF シリーズの DDC ロードは、多くのデータを高速で伝送できる USB インタフェースに対応し、新開発のチャート機能を搭載している。この概略仕様を表 2 に示す。これにより、高圧インバータの内部データをリアルタイムに瞬時値の波形として描画できるようになった。

この機能を搭載したことにより、納入試験における調整時の波形確認工数が大幅に削減できる。例えば、電圧や電流などの波形確認のために、各測定点に設置する必要があった測定器が不要になる。グラフの豊富な線種や位置調整ができ、さらに画面キャプチャ機能を活用することで、取得波形をレポートに直接貼り付けたり、取得波形の瞬時値データを Excel ファイルに出力したりできるなど、データ解析を容易にし、報告書作成作業の煩雑さを大幅に軽減した。

図 8 に、商用同期投入動作時のチャート機能による波形描画の一例を示す。商用同期投入動作は、高圧電動機を商用電源周波数まで加速し、インバータ出力電圧の位相および振幅を商用電源と一致させ、インバータによる駆動から商用電源による駆動に切り替える機能である。複数のアナログ信号とデジタル信号を同時に表示することが可能であり、調整作業を合理的に行うことができる。

表 2 チャート機能の概略仕様

項目	仕様
サンプリング時間	0.001 ~ 1 s
サンプリング数	5,000 points/ch
チャンネル数	アナログ+デジタルの合計32ch
トリガ検出	アナログまたはデジタルに設定可能

〈注〉 Excel : Microsoft corporation の商標または登録商標

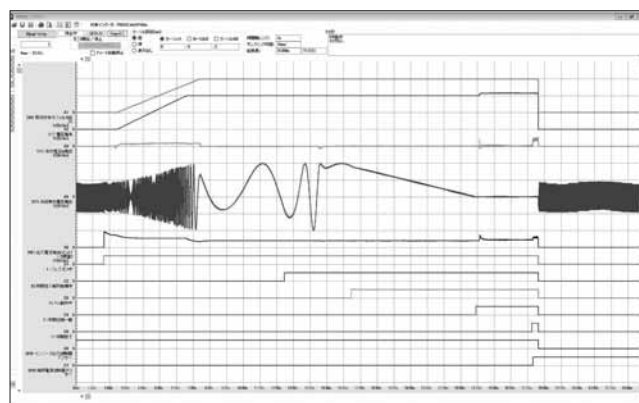


図 8 チャート機能による商用同期投入動作時の波形描画

5 運転特性

開発したレトロフィット製品 FRENIC4600FM4RF シリーズの代表的な運転特性について述べる。

5.1 マルチレベル PWM 制御

富士電機の高圧インバータは、出力電圧の変化量がセル直流電圧 1 段分となるマルチレベル PWM 制御としている。FRENIC4600FM4RF シリーズも、FRENIC4600FM4 シリーズと同数の 3 レベルのインバータセルを接続して、同じ出力特性を持たせて高圧インバータの置換えを可能とした。図 9 に 3.3 kV 系列の出力電圧波形の一例を示す。

5.2 フリーラン再起動

富士電機の高圧インバータは、フリーラン再起動により、瞬時停電復帰後の再起動や負荷機械の影響による空転中から再起動することができる。

FRENIC4600FM4RF シリーズでは、最新の FRENIC4600FM6e シリーズで用いている電流引込み方式を採用した。本方式によるフリーラン再起動のチャート機能による波形描画の一例を図 10 に示す。電流引込み方

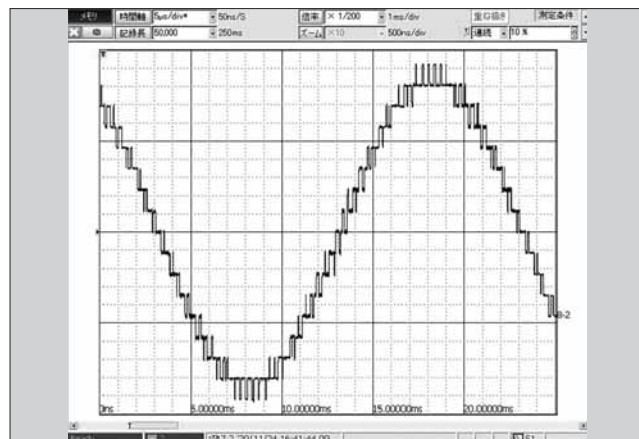


図 9 マルチレベル PWM 制御時の出力電圧波形 (3.3 kV 系列: U-V 線間)

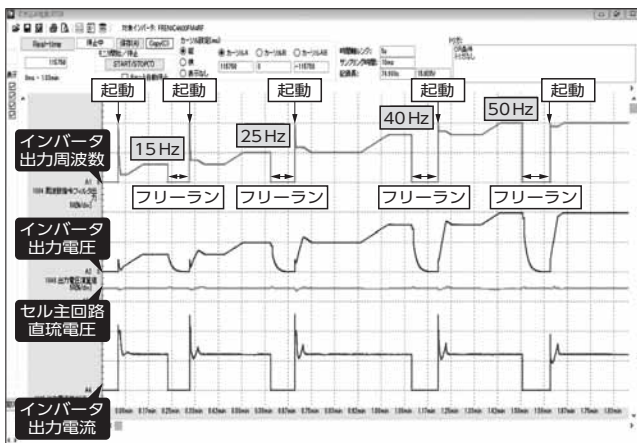


図 10 チャート機能によるフリーラン再起動の波形描画

式の特徴は、再起動直後はインバータ出力周波数を高くし、電動機の回転周波数の方が低い場合は大きな電流が流れるので、その場合はインバータ出力周波数を下げていき、電流が所定値以下になるとそれを止めることで、インバータ出力周波数を電動機の回転周波数に同期させることができる。これによりトリップすることなく安定した再起動を可能にした。この方式を採用したことにより、速度サーチ方式の FRENIC4600FM4 シリーズに比べ、短時間の調整で再起動できるようになった。

⑥ あとがき

高圧インバータ「FRENIC4600FM4 シリーズ」用

レトロフィット製品について述べた。今後は、「FRENIC 4600FM5 シリーズ」のレトロフィット製品を開発し、さらなる更新需要に対応していく所存である。

参考文献

- (1) 藤本潔、花澤昌彦. 環境改善・省エネルギー用高圧インバータ. 富士時報. 2007, vol.80, no.2, p.120-123.



山田 達也

モータ駆動用高圧インバータの製品開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部パワエレ機器開発部 グループリーダー。



市位 嘉崇

モータ駆動用高圧インバータの製品開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部パワエレ機器開発部 グループリーダー。



高橋 義和

産業可変速駆動装置の開発検証に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部パワエレ機器開発検証部主任。





*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。