

電源回生機能付き高力率 PWM コンバータ 「FRENIC-RHC シリーズ」

“FRENIC-RHC Series” High Power Factor PWM Converters with Power Regeneration Function

佐藤 和久 SATO, Kazuhisa

栗井 昭裕 AWAI, Akihiro

大森 聖史 OMORI, Takashi

汎用インバータによるモータ制御を行う場合、入力電流に対する高調波抑制と、モータからの制動エネルギー処理の検討が必要になる場合がある。富士電機は、既存の PWM コンバータよりも機能や操作性を向上させた電源回生機能付き高力率 PWM コンバータ「FRENIC-RHC シリーズ」を開発した。絶縁トランスを設けない並列接続を最大 4 並列まで拡張して大容量対応、アラーム発生の要因解析を助けるトレースバック機能の標準搭載、高速通信 E-SX バス対応による詳細な運転状態の上位側モニタリングの実現といった特徴を持つ。

Controlling a motor with a general-purpose inverter occasionally needs to suppress input current harmonics and to process motor braking energy. Fuji Electric has developed the “FRENIC-RHC Series” of high power factor PWM converters with power regeneration function as a line-up of products that offer better features and operability than conventional PWM converters. The series has the following features: Capable of controlling large capacity equipment through the extended number of parallel connections, up to four, without isolation transformers, standardized traceback function for analyzing the causes of alarms; highly detailed monitoring of the operating conditions of the upper layer system via high-speed E-SX bus communications.

1 まえがき

汎用インバータなどの可変速駆動システムにおいて、経済産業省が制定したガイドラインに基づいた指針⁽¹⁾を順守して同じ系統に接続された他の機器への高調波障害を防止するためには、入力電流を正弦波化することで解決できる。また、電源側に回生することで、省エネルギー（省エネ）も実現できる。このような高調波対策を行うとともに、省エネ対策を行った PWM（Pulse Width Modulation）コンバータ「RHC-C シリーズ」⁽²⁾を市場に提供してきた。

この既存の PWM コンバータよりもさらに機能や操作性を向上した PWM コンバータ「FRENIC-RHC シリーズ」を新たに開発した。本稿では、FRENIC-RHC シリーズの特徴や仕様について述べる。

2 「FRENIC-RHC シリーズ」の特徴

図 1 に FRENIC-RHC シリーズの外観を示す。表 1 に標準容量系列と標準仕様を示す。FRENIC-RHC シリーズは、従来機種との互換性を確保しつつ、複数台並列システムにおける接続台数の拡張や、トレースバック機能の標準搭載、高速通信バス「E-SX バス」への対応といった特徴を持ち、多種多様なファクトリーオートメーション（FA）システムへの対応が可能である。

2.1 容量系列の充実と容量拡張

FRENIC-RHC シリーズは、200 V/30 ~ 90 kW までの 6 機種と 400 V/45 ~ 630 kW までの 15 機種の全 21 機種を標準容量系列として用意している。また、今回は説明を省略したが、小容量向けに 200 V/5.5 ~ 22 kW と 400 V/5.5 ~ 75 kW のコンパクト PWM コンバータ



図 1 「FRENIC-RHC シリーズ」

「FRENIC-eRHC シリーズ」を用意している。

FRENIC-RHC シリーズは、中過負荷向けの MD (CT)^{(注1) (注2)}仕様と軽過負荷向けの LD (VT)^{(注3) (注4)}仕様の 2 種類の定格を備え、ユーザーが負荷容量に応じて選択できる。MD (CT) 仕様では 1 分間の過負荷定格が連続容量の 150%、定トルク負荷である一般産業機械などが主な用途である。LD (VT) 仕様では 1 分間の過負荷定格が 120%、二乗低減トルク負荷^(注5)であるファンやポンプなどが主な用途である。LD (VT) 仕様では、負荷容量に応じた小さい容量の

〈注 1〉 MD：中過負荷（Medium Duty）

〈注 2〉 CT：低トルク用途（Constant Torque）

〈注 3〉 LD：軽過負荷（Low Duty）

〈注 4〉 VT：二乗低減トルク用途（Variable Torque）

〈注 5〉 二乗低減トルク負荷：回転速度の二乗に比例して負荷トルクが変化する負荷

表1 標準容量系列・標準仕様

(a) 三相 200V シリーズ

項目		仕様						
形式 RHC□□□-2E□		30	37	45	55	75	90	
MD (CT) 仕様	適用インバータ容量 (kW)	30	37	45	55	75	90	
	出力	連続容量 (kW)	36	44	53	65	88	103
		過負荷定格	連続定格の150% -1 min					
		電圧	DC320 ~ 355V (入力電圧に応じて可変します)					
LD (VT) 仕様	適用インバータ容量 (kW)	37	45	55	75	90	110	
	出力	連続容量 (kW)	44	53	65	88	103	126
		過負荷定格	連続定格の120% -1 min					
		電圧	DC320 ~ 355V (入力電圧に応じて可変します)					
入力電源	相数・電圧・周波数	三相3線式、200 ~ 220V 50Hz/200 ~ 230V 60Hz						
	電圧・周波数許容変動	電圧：-15 ~ +10%、周波数：-5 ~ +5%、電圧相間アンバランス率：2%以内						

(b) 三相 400V シリーズ

項目		仕様															
形式 RHC□□□-4E□		45	55	75	90	110	132	160	200	220	280	315	355	400	500	630	
MD (CT) 仕様	適用インバータ容量 (kW)	45	55	75	90	110	132	160	200	220	280	315	355	400	500	630	
	出力	連続容量 (kW)	53	65	88	103	126	150	182	227	247	314	353	400	448	560	705
		過負荷定格	連続定格の150% -1 min														
		電圧	DC640 ~ 710V (入力電圧に応じて可変します)														
LD (VT) 仕様	適用インバータ容量 (kW)	55	75	90	110	132	160	200	220	280	315	355	400	500	-	-	
	出力	連続容量 (kW)	65	88	103	126	150	182	227	247	314	353	400	448	560	-	-
		過負荷定格	連続定格の120% -1 min														
		電圧	DC640 ~ 710V (入力電圧に応じて可変します)														
入力電源	相数・電圧・周波数	三相3線式、380 ~ 440V 50Hz/380 ~ 460V 60Hz															
	電圧・周波数許容変動	電圧：-15 ~ +10%、周波数：-5 ~ +5%、電圧相間アンバランス率：2%以内															

PWM コンバータが使用できるので経済的である。このように、充実した容量系列を提供しているので、各用途に最適な PWM コンバータが選定できる。

2.2 多重接続による容量拡張

630 kW を超える用途には、PWM コンバータユニットを並列接続して大容量化することで対応できる。それぞれのユニットに、制御オプションカードの高速シリアル通信対応端子台「OPC-RHCE-TBSI」を搭載して光ファイバで接続することで、各 PWM コンバータの入力側の電流の位相が一致するように制御することで、並列接続が可能となる。

並列接続には、入力側に絶縁トランスを設ける方法と絶縁トランスを設けない方法とがある。入力側に絶縁トランスを設けないトランスレス並列システムでは、従来の RHC-C シリーズは最大 3 並列であったが、図 2 (a) に示すように FRENIC-RHC シリーズでは最大 4 並列に拡張した。これは、光ファイバによるシリアル通信の速度を 1 Mbps から 2.5 Mbps に改善させたことで実現した。入力側に絶縁トランスを設けるトランス絶縁式並列システムでは、図 2 (b) に示すように最大 6 並列が可能である。このような並列接続により、図 2 (c) に示すように、

400 V の MD 仕様においてトランスレス並列システムでは 2,400 kW、トランス絶縁式並列システムでは 3,700 kW まで容量を拡張できる。

2.3 トレースバック機能

高性能ベクトル制御形インバータ「FRENIC-VG シリーズ」に搭載していたトレースバック機能を、FRENIC-RHC シリーズにも標準搭載した。アラームが発生する直前と直後の PWM コンバータの内部データと日時を記録し、電池にてバックアップを行う。入力電圧や電流は最小 62.5 μs のサンプリング周期で測定できる。これらは図 3 に示すように、PWM コンバータ支援ソフトウェア「FRENIC-RHC Loader」(富士電機の Web サイトから^(注6)無料でダウンロード可能)を使って、PC 画面上に時系列の波形データを確認することができ、アラームの発生要因の解析を容易にする。

〈注 6〉「FRENIC-RHC Loader」の富士電機 Web サイトにおける
無料ダウンロード URL
<https://felib.fujielectric.co.jp/download/>

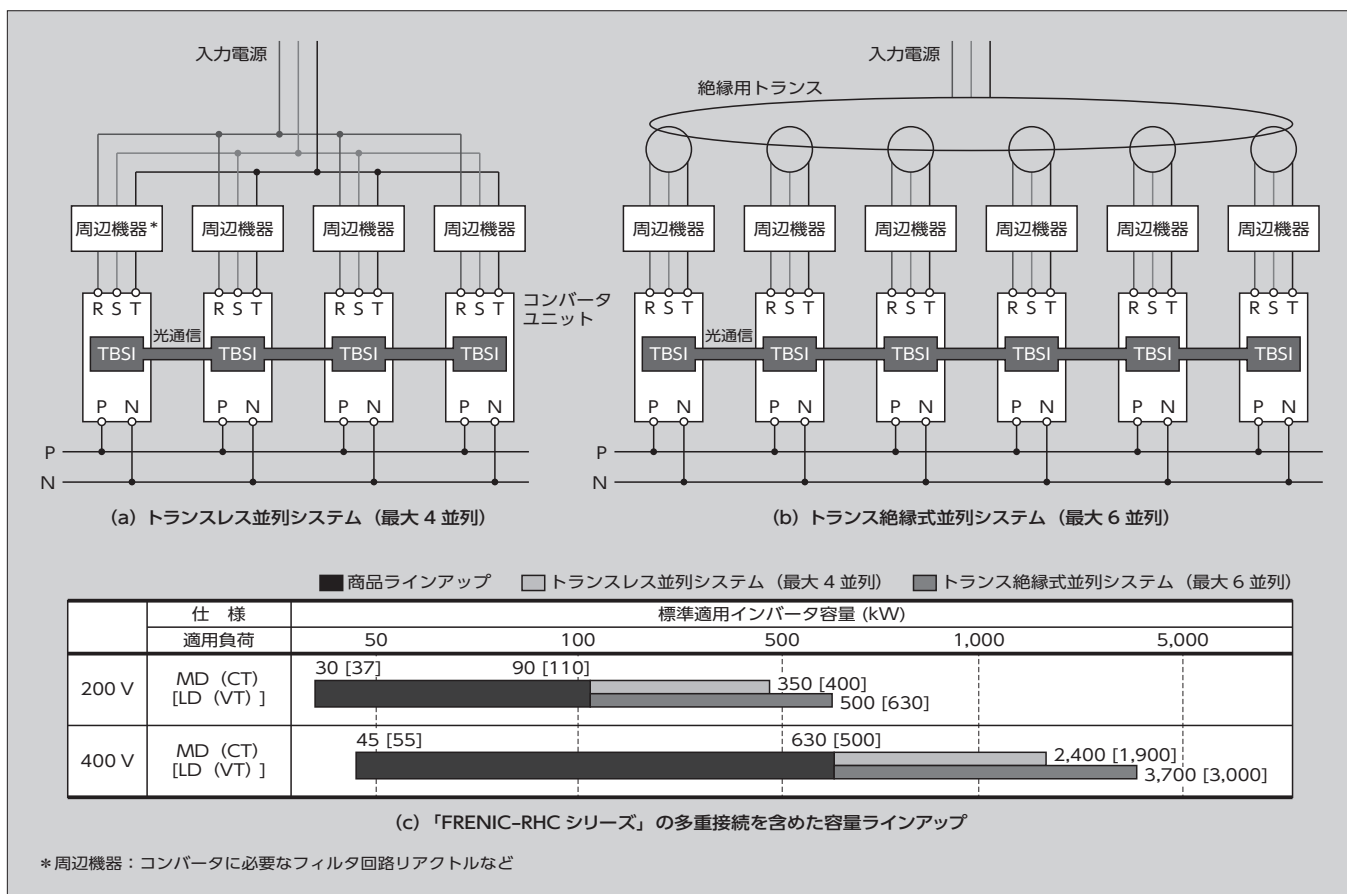


図 2 「FRENIC-RHC シリーズ」の並列接続の構成

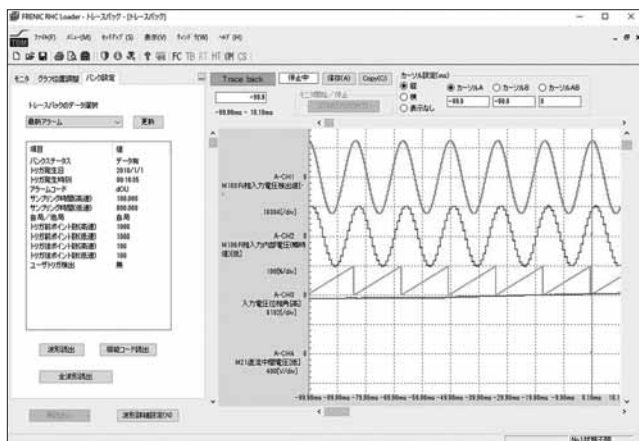


図 3 「FRENIC-RHC Loader」によるトレースバック画面

2.4 制御オプション

表 2 (a) に通信オプションを含む FRENIC-RHC シリーズが対応している制御オプションの一覧を、表 2 (b) に制御オプションの搭載制約を示す。

なお、表 2 の FRENIC-VG シリーズではすでに対応している高速で大容量のデータを扱える E-SX バス通信に、FRENIC-RHC シリーズも対応できるようにした。従来の SX バスでは最小 500 μs 周期で送受信できる最大データ数は 16 ワードであった。E-SX バスでは、最小 250 μs 周期で最大 32 ワードのデータが送受信できるため、

FRENIC-RHC シリーズの詳細な運転状態を上位側でモニタできるようになった。

3 運転特性

3.1 入力電流と高調波特性

400 V、315 kW の FRENIC-RHC (型式：RHC315-4E) での負荷率 150% で運転したときの、駆動時と制動時の PWM コンバータ入力電流波形および相電圧波形は図 4 に示すように、入力電流は正弦波となる。駆動時には、相電圧と同相の電流を流し、力率 1 となるように制御している。

図 5 は、同機種での負荷率 100% で駆動運転したときの PWM コンバータ入力電流の高調波含有率を示したものである。50 次までを測定しており、基本波成分 (1 次: 60 Hz) を 100% として各次の高調波含有率を示している。2 次成分が最も高く 1.04% であり、全高調波ひずみ率^(注 7) THD は、1.85% となっている。

高調波対策を実施しない一般的な三相全波整流を行うインバータでは、7 次成分でも高調波含有率が 40% 程度あ

$$\langle \text{注 7} \rangle THD = \frac{\sqrt{(\sum I_n^2)}}{I_1} \times 100$$

I_1 : 基本波電流

I_n : n 次高調波電流

表 2 制御オプション

(a) 制御オプションの一覧

区分	名称	形式	仕様
アナログカード (Aポート専用)	Aio増設カード	OPC-VG1-AIO	AO 2点の増設カード
アナログカード (Bポート専用)	ACヒューズ断線検出カード	OPC-RHCE-ACF	ACヒューズ断線検出用カード
デジタルカード (AorBポート専用)	Dio増設カード	OPC-VG1-DIO	DIOA設定時：DO 8点の増設カード
	Tリングインタフェースカード	OPC-VG1-TL	Tリングインタフェースカード
	CC-Linkインタフェースカード	OPC-VG1-CCL	CC-Linkインタフェースカード
デジタルカード (Dポート専用)	SXバスインタフェースカード	OPC-VG1-SX	SXバスインタフェースカード
	E-SXバスインタフェースカード	OPC-VG1-ESX	E-SXバスインタフェースカード
制御回路端子 (Fポート専用)	高速シリアル通信対応端子台	OPC-RHCE-TBSI-□	並列システムに使用する 電圧系列により形式が変わる

(b) 制御オプションの搭載制約

○：同時搭載可能、×：搭載不可

OPC-□□□□-□□□□	AIO	ACF	DIO	TL	CCL	SX	ESX	TBSI
VG1-AIO	×	—	—	—	—	—	—	—
RHCE-ACF	○	×	—	—	—	—	—	—
VG1-DIO	○	○	×	—	—	—	—	—
VG1-TL	○	○	○	×	—	—	—	—
VG1-CCL	○	○	○	×	×	—	—	—
VG1-SX	○	○	○	○	×	×	—	—
VG1-ESX	○	○	○	×	×	×	×	—
RHCE-TBSI-□	○	○	○	○	○	○	○	×

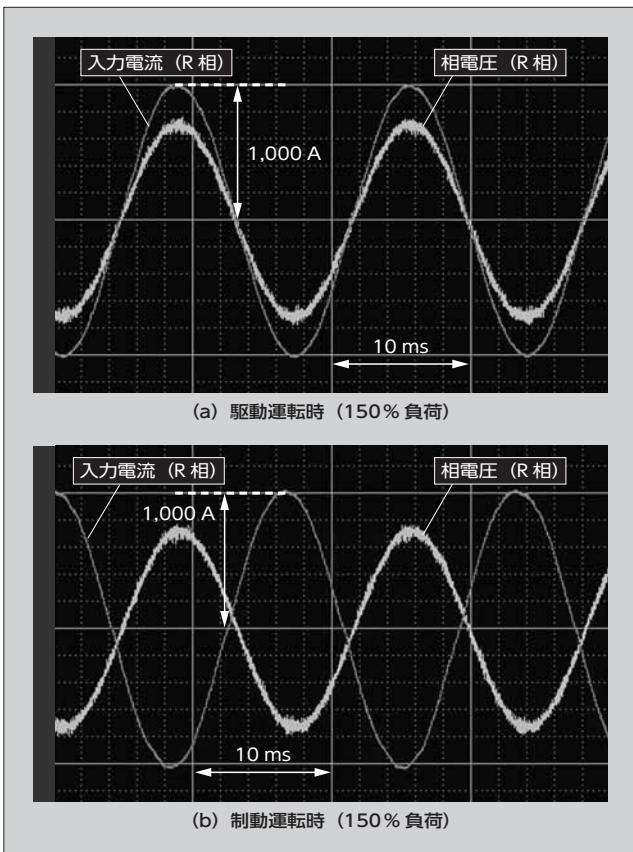


図 4 「FRENIC-RHC」(RHC315-4E) 入力電流・相電圧波形

ることから、PWM コンバータの採用により、高調波電流が大幅に低減できていることが分かる。

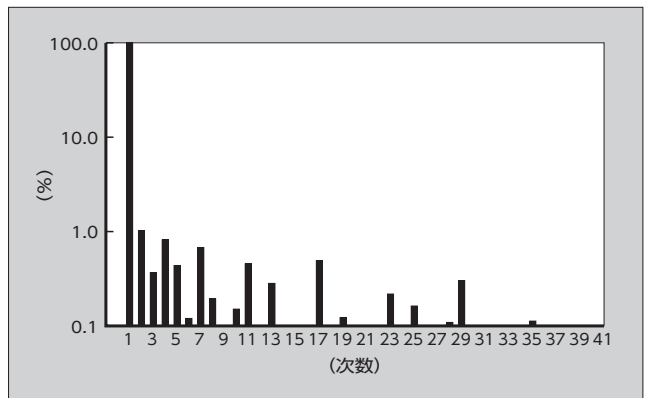


図 5 「FRENIC-RHC」(RHC315-4E) 入力電流高調波特性

3.2 インパクト負荷特性

同機種 RHC315-4E にて負荷を急変させたときのインパクト負荷特性を、図 6 に示す。負荷率 100% から無負荷に瞬時急変させたときの直流中間電圧をオーバーシュートが最大 44 V の過電圧とならない程度に抑える制御を行うことで、安定した運転が継続できる。

3.3 トランスレス並列システムの運転特性

トランスレス並列システムにて 4 並列接続で運転した場合の入力電流波形を図 7 に示す。PWM コンバータは 400 V、75 kW の RHC75-4E を 4 台接続し、それぞれ PWM コンバータの負荷率は 100% で駆動した。同図には、4 台の PWM コンバータの R 相入力電流とその合成電流の波形を示している。各コンバータの R 相電流波形は正

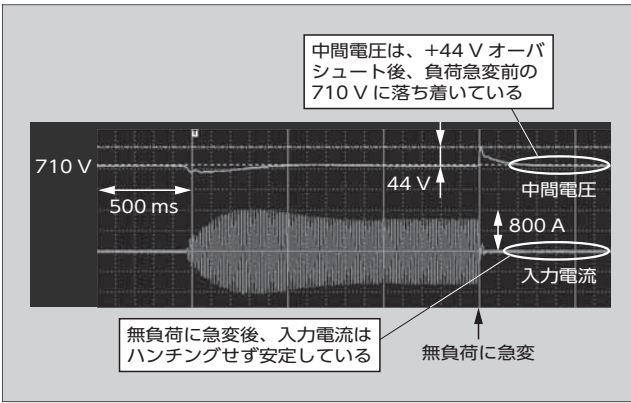


図6 「FRENIC-RHC」(RHC315-4E) インパクト負荷特性

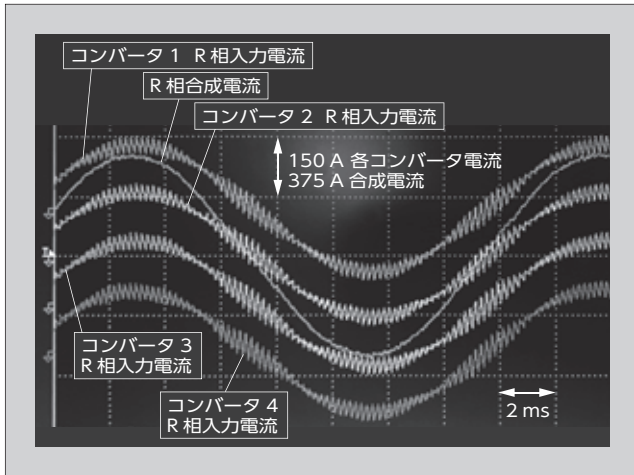


図7 「FRENIC-RHC」(RHC75-4E) トランスレス並列システム (4 並列) 入力電流波形

弦波状となっており、それぞれの波高値と位相は一致していることから、並列システムの電流制御が正しく動作していることが分かる。このときの合成電流の *THD* は 2.31% であり、高調波特性も良好である。

4 あとがき

電源回生機能付き高効率 PWM コンバータ「FRENIC-

RHC シリーズ」について述べた。今後は、多くのインバータを必要とする産業用プラントや港湾クレーンの用途向けに、スタックタイプの開発と規格対応を進めていく。FRENIC-RHC シリーズは、多くの容量ラインアップから並列システムによる容量拡充、機能拡充ならびに高速で大容量のデータを扱うことができる E-SX バス通信に対応したことにより、幅広い分野に適用できる。PWM コンバータがインバータ適用時の高調波対策、電源回生機能の用途だけでなく、インバータと組み合わせたシステムとして、新たな市場要求に応えるために、製品開発に一層の努力をしていく所存である。

参考文献

- (1) 高調波抑制対策技術指針, JEAG9702-2013. 一般社団法人 日本電気協会.
- (2) 豊田敏久ほか, PWMコンバータ「RHC-Cシリーズ」, 富士時報. 2003, vol.76, no.8, p.457-460.



佐藤 和久

モータ駆動用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ーエレクトロニクス インダストリー事業本部開発統括部パワーエレクトロニクス開発部マネージャー。



粟井 昭裕

モータ駆動用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ーエレクトロニクス インダストリー事業本部開発統括部パワーエレクトロニクス開発部。



大森 聖史

汎用インバータ、電源回生コンバータの開発検証に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス インダストリー事業本部開発統括部パワーエレクトロニクス開発部。

特集 省エネルギー・小型化と生産性向上に貢献するパワーエレクトロニクス





*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。