

新幹線車両走行試験用周波数変換装置

馬場 謙二(はば けんじ)

梅沢 一喜(うめざわ かずよし)

本木 泰(もとき やすし)

1 まえがき

新幹線車両の駆動技術は、最新のパワーエレクトロニクス技術により飛躍的に進歩している。

車両メーカーにおいては、交流電車用として 50/60 Hz が出力可能な車両試験用電源設備を必要とするはもとより、最近の技術進歩に応じた設備仕様とすることが求められる。

川崎重工業(株)兵庫工場の新幹線電車用試験電源は、サイリスタを用いた強制転流形変換装置により、納入後20年間運用され数多くの新幹線電車の試験に活用されてきたが、電車に応じた設備容量の増大と機能面の向上を図る必要性が顕著となってきていた。

このような背景のもと、新造新幹線車両などの試験用電源として、自励サイリスタ式に代わる IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子を適用した自励式周波数変換装置を開発し製品を納入した。

本稿では、納入した自励式周波数変換装置のシステム構成や実運転での性能評価結果について紹介する。

2 システムの概要

2.1 システムの仕様

表 1 に周波数変換装置の仕様を示す。

本周波数変換装置は主に 60 Hz を 50 Hz に変換し電力を供給するとともに、車両のブレーキ制動時の回生電力を電源系統へ回生すること、および入出力系統の高調波を抑制することを目的としている。また、出力変圧器の多重接続は、出力インピーダンスが比較的高くなり高調波による共振が問題となるため、新抑制制御方式を採用している。

2.2 システムの構成

図 1 に新幹線車両走行試験用周波数変換装置の主回路システム構成を示す。

本システムは、3.3 kV 高圧配電盤、2 × 1,100 kVA 入力変圧器、PWM (Pulse Width Modulation) 整流器、PWM

インバータ、4 × 500 kVA 出力変圧器、電源保安装置および特別高圧断路器盤から構成されている。

変換装置入力部は、装置の故障時に故障箇所を切り離して容量の低減を図り運転を継続できるように 2 系統入力の構成としている。整流器は PWM 整流器方式を採用し、高力率、低高調波特性を有したものとしている。インバータは、4 多重として出力変圧器 4 台のカスケード接続によって特別高圧出力 20/25 kV に対応している。

2.3 システムの特長

このシステムの特長は次のとおりである。

1) 高力率

PWM 整流器の採用により入力力率をほぼ 1 としており、省エネルギー化を図っている。

表 1 周波数変換装置の仕様

項目		仕様
方式	主回路方式	自励式電圧形
	主回路素子	IGBT (1,400 V 300 A)
	制御方式	多重PWM (DDC)
	冷却	強制風冷 (ヒートレーン)
入力	定格電圧	3,300 V ± 10 %
	定格周波数	60 Hz ± 5 %
	相数および線数	三相3線
	入力容量	2,200 kVA
	入力高調波電流	5 %以下
	入力力率	95 %以上
出力	相数および線数	単相2線
	電圧	20 kV/22.5 kV/25 kV
	周波数	50/60 Hz
	負荷力率	0.4 (遅れ) ~ 1.0
	定格容量	2,000 kVA連続, 過負荷耐量 150 % 1分間
	波形ひずみ率	3 %以下 (直線性負荷) 5 %以下 (100 %整流負荷)
特殊機能	負荷側からの電力回生機能付き 車両発生高調波 (n=40) 共振防止機能付き	



馬場 謙二

電気鉄道用変電・制御システムの技術企画業務に従事。現在、電機システムカンパニー交通・特機事業部変電技術部主任。電気学会会員。



梅沢 一喜

UPS および応用電源装置の開発、設計に従事。現在、東京システム製作所開発設計部主任。電気学会会員。



本木 泰

UPS および応用電源装置の開発、設計に従事。現在、東京システム製作所開発設計部主任。電気学会会員。

図1 新幹線車両走行試験用周波数変換装置の主回路システム構成

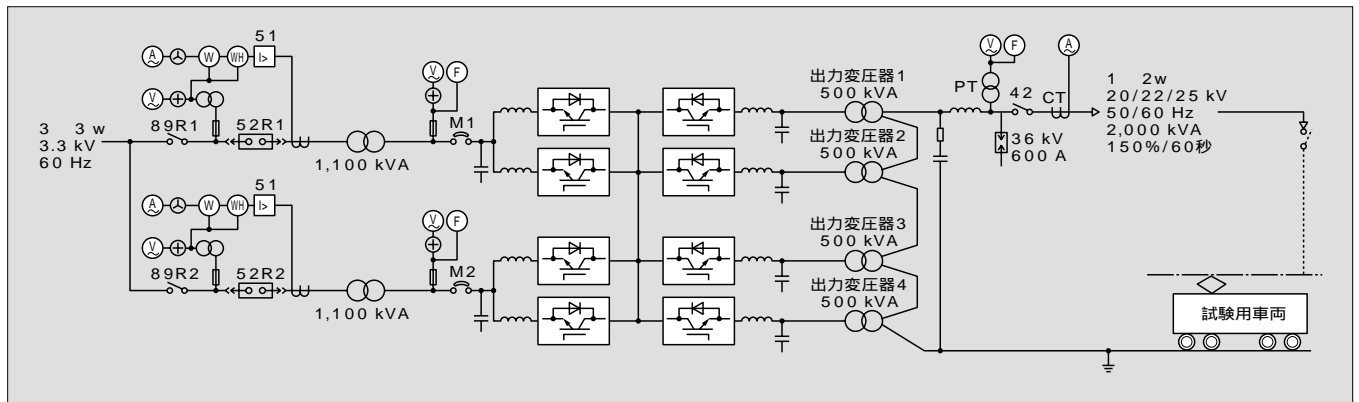


図2 変換装置の外観



図3 IGBT インバータモジュールの実装状態



(2) 低高調波

適切なスイッチング周波数により、低高調波を実現している。

(3) 負荷側高調波抑制機能

車両から発生する高調波を制御により抑制し不要な共振を防止しており、高調波フィルタを必要としない装置となっている。

(4) 新冷却 IGBT インバータモジュールの採用

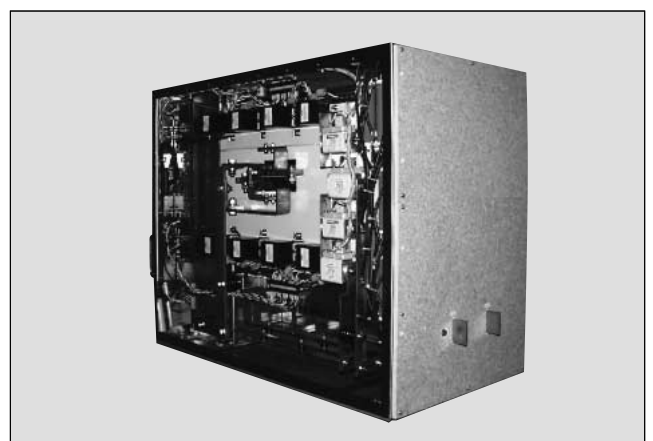
新型ヒートパイプを適用した強制風冷式モジュールを採用して、PWM 整流器部と PWM インバータ部を共用とした標準モジュール化を図っている。

③ 変換装置

3.1 変換装置の構成

図2は変換装置の外観である。盤形態は設置スペースの制約を満足するために前面保守が行えることを目的に背面合せの盤構造を採用している。図3に IGBT インバータモジュールの実装状態を示す。本モジュールは標準化を志向して PWM コンバータ部と PWM インバータ部は共用ユ

図4 IGBT インバータモジュールの外観



ニット化している。また、トレイ構造を採用して保守しやすいものとしている。インバータモジュールは合計20台使用している。

3.2 IGBT インバータモジュール

図4に IGBT インバータモジュールの外観を、表2に

IGBT インバータモジュールの仕様を示す。インバータモジュールは、IGBT 素子、ゲート駆動回路、スナバ、直流中間コンデンサ、ヒューズおよび冷却フィンから構成されている。主回路配線には低インダクタンス大電流基板を採用している。このインバータモジュールは、主回路への接続をプラグイン式のトレイ構造とすることで収納盤前面から取付け、取外しを容易にし、保守性を向上させている。

図 5 に IGBT インバータモジュールの回路構成を示す。IGBT 素子は富士電機の NPT (Non-Punch Through) IGBT モジュール「Pシリーズ」1,400 V 300 A を採用して、直流

表 2 IGBT インバータモジュールの仕様

項目	仕様
直流電圧	DC 760 V
交流電圧	AC 380 V
出力電流	1,316 A
適用素子	IGBT 1,400 V 300 A
素子構成	16並列
冷却方式	強制風冷

図 5 IGBT インバータモジュールの回路構成

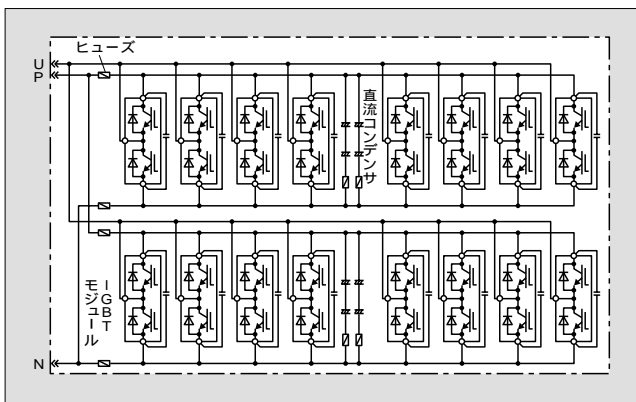
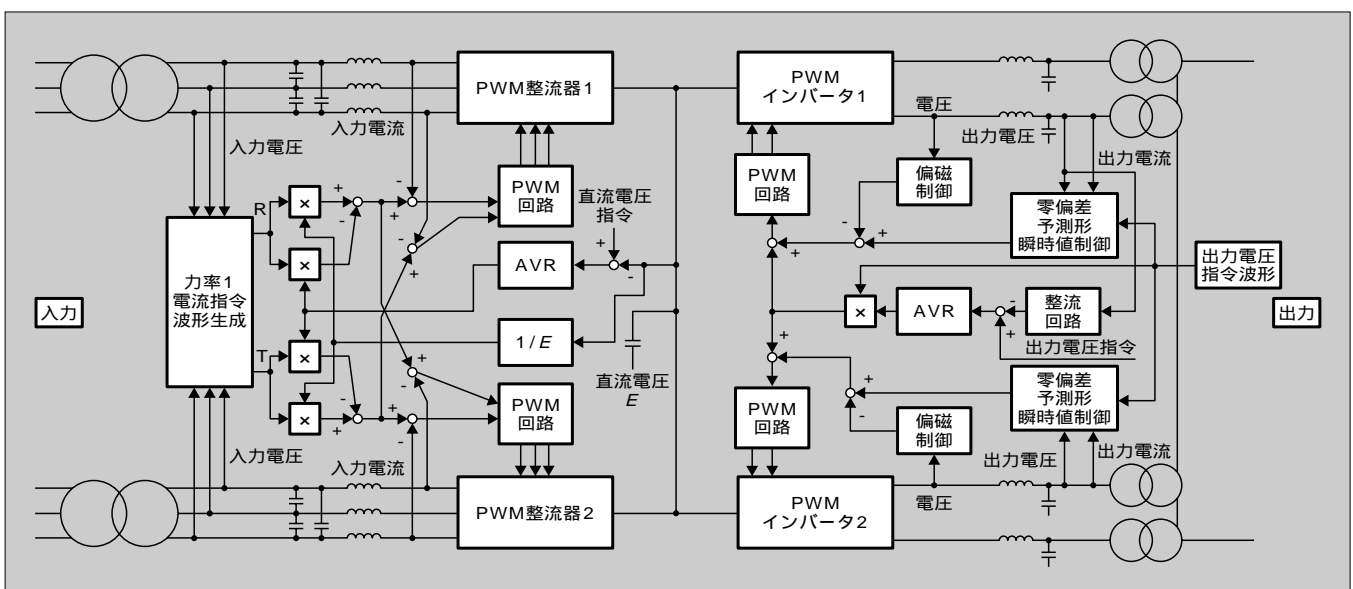


図 6 システム全体の制御ブロック図



の高圧化と優れた並列特性により16並列接続化を図っている。

冷却体にはヒートパイプの一種である冷却効率の高いヒートレーン式冷却体を採用して、小型・軽量化を図った。ヒートレーン式冷却体はヒートパイプ式に比べ次の特徴を有する。

- (1) 冷却体の受熱部と放熱部間の熱輸送効率が高いため、熱抵抗が小さい。
- (2) 圧損が小さい。
- (3) 小型・軽量である。
- (4) 受熱部・放熱部の上下位置を考慮しなくてよいため、部品配置の自由度が高い設計が可能である。

4 制御方式

4.1 制御システム構成

図 6 にシステム全体の制御ブロック図を示す。

制御は、DDC (Direct Digital Control) を採用し、入力力率 1 の電流制御、直流電圧一定制御および特別高圧出力電圧一定制御を行っている。また、DDC により、シーケンス制御、故障監視、診断機能を充実して試験および保守点検の効率化・高信頼化を実現している。

4.2 負荷側高調波抑制機能

新幹線車両に搭載されている静止形変換装置は高調波を発生する。今回のシステムにおいても負荷である新幹線車両からの高調波電流が周波数変換装置の出力端に流れ、出力電圧に大きなひずみを生じる課題がある。この対策として、従来のパッシブな高調波フィルタにより高調波を減衰させる方式に代わり、3 kHz 帯までの高調波を制御にて抑える方式として車両から発生する高調波電流に影響されないシステムを実現した。

インバータの出力電圧の波形制御を制御対象となる電圧

図7 零偏差予測形瞬時値制御方式のブロック図

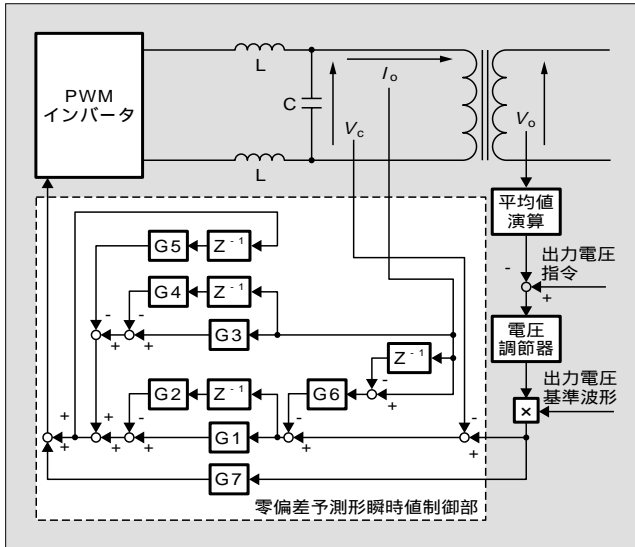
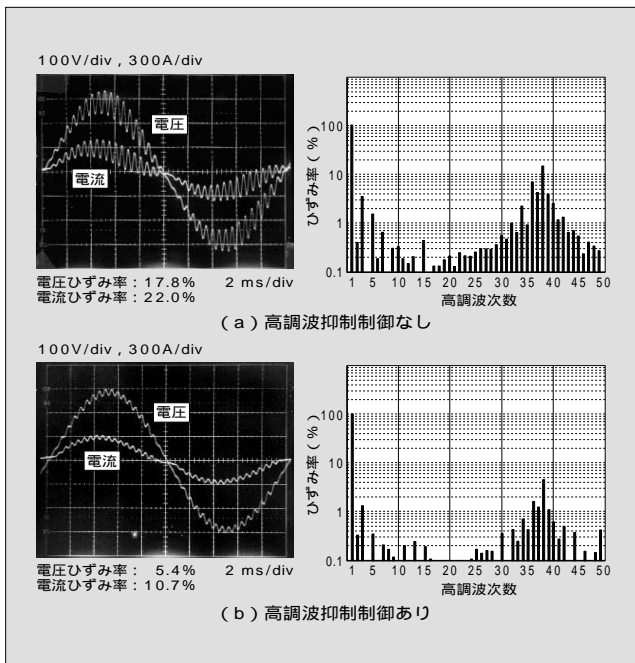


図8 ミニモデル検証結果



だけでなく、負荷に流れる電流も検出し、負荷が発生している高調波電流による電圧変動状態を組み込んだ零偏差予測形瞬時値制御方式のブロック図を図7に示す。これにより高調波電流の変化による出力電圧のひずみを抑え、さらに急しゅんな電流変動に対する電圧制御のオーバーシュートによる振動を抑制するために、電流差分を補償する電圧指令補正により高調波電流に対して振動しない安定した出力電圧を実現した。

5 性能検証試験結果

5.1 ミニモデル試験結果

静止形変換装置としての諸特性についての性能検証試験はもとより、高調波抑制効果を事前に検証することを目的

図9 模擬負荷容量に対する出力電圧総合ひずみ率

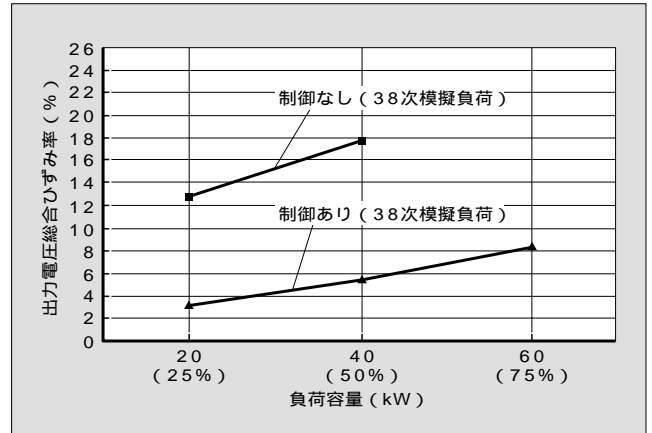
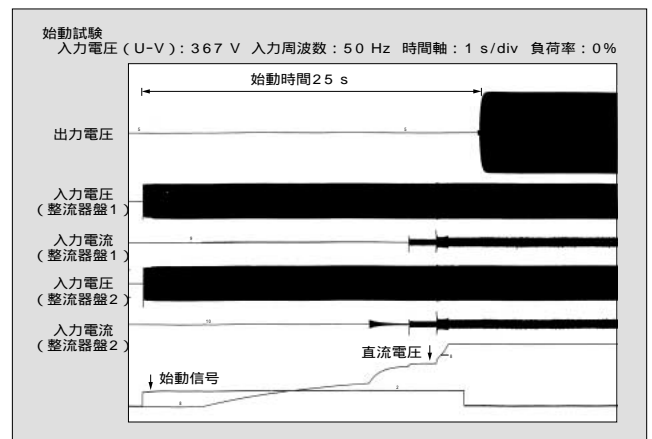


図10 始動時の各部波形



として、80 kVA ミニモデル機による高調波抑制効果確認試験を実施した。このミニモデル機は実機構成をスケールダウンしてインピーダンスなどの特性が同一になるよう構成した。負荷モデルに用いた単相PWMコンバータは、入力電流指令値に高調波成分の指令波形を加算して車両負荷と類似の高調波を発生できる。その高調波指令は実機の高調波電流データに近い38次近傍とした。

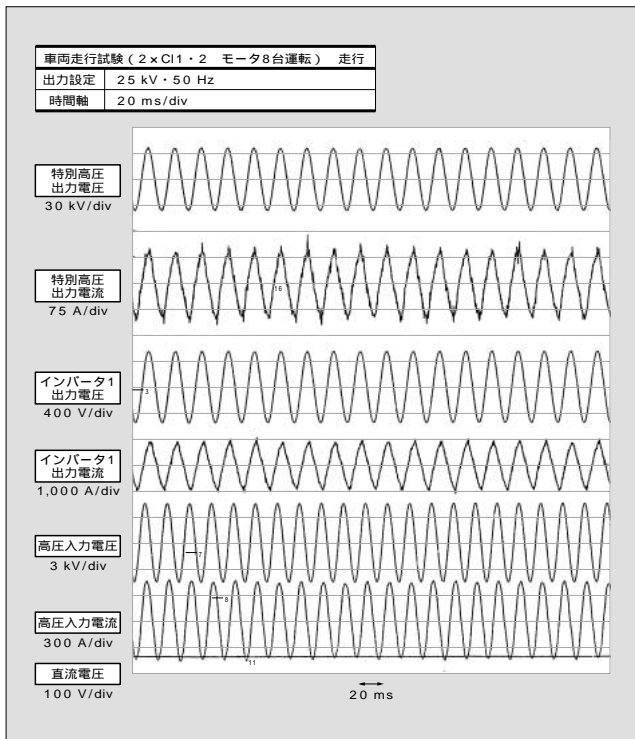
ミニモデルによる検証結果の波形データの一例を図8に示す。高調波抑制制御を行った場合、制御しないときと比較して大幅な高調波抑制効果が得られていることが分かる。図9は、模擬負荷容量に対する出力電圧総合ひずみ率である。これは、負荷率を変化させた場合の特性を示したもので、制御によって総合ひずみ率が1/3以下に低減されることが分かる。

5.2 納入時の試験結果

周波数変換装置の始動時の各部電圧・電流の推移を図10に示す。本装置の始動方式は、抵抗により直流電圧を充電し一定電圧に達するとPMW整流器運転、インバータ運転を行う方式である。抵抗始動ではあるが、特別高圧出力電圧が始動操作後25秒後に確立するスムーズな立上げとなっている。

図11は、製品納入時に行われた新幹線車両の負荷試験お

図 11 走行試験時の各部波形例



よび走行試験時における力行運転中の動作波形例である。このときの高調波電流 11 % を含む負荷電流 65 A に対し、特別高圧出力電圧のひずみ率は 1.5 % 以下に抑制されており、良好な結果であることが分かる。

⑥ あとがき

新幹線車両などの走行試験に対応する試験電源の設備更新にあたって、設備容量のアップと車両の高調波に起因した共振現象を制御によって抑制することを目的に最新のパワーエレクトロニクス技術を結集した自励式周波数変換装置を開発・納入した。

この周波数変換装置は従来装置と比較して飛躍的な性能向上を実現しており、広範な採用が期待される。工場設備などの計画に際してこのような事例が参考になれば幸いである。

最後に、本システムの開発・設計・製作にあたり多大なご指導・ご協力をいただいたユーザー関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

1. 山田修ほか．川崎重工業・兵庫工場納入車両試験用静止形周波数変換装置．富士時報．vol.52，no.3，1979，p.174-179．
2. 井上亮二ほか．新幹線車両用主回路システム．富士時報．vol.72，no.2，1999，p.127-132．
3. 馬場謙二ほか．新幹線車両走行試験用周波数変換装置の高調波抑制方式．鉄道サイバネティクス国内シンポジウム．vol.37，2000，p.476-478．
4. 馬場謙二ほか．新幹線車両走行試験用周波数変換装置の高調波抑制方式．電気関係学会関西支部連合大会シンポジウム．セッション 1-6．2000．

