

鉄道車両用次期補助電源装置と在来線用試験電車への適用

Advanced Auxiliary Power Unit and Application to MUE-Train

吉川 賢一 尾谷 浩昭

■ KIKKAWA Kenichi

■ OTANI Hiroaki

近年、世界的な環境問題への関心の高まりに伴い、高信頼性や省メンテナンスに加え省エネへの要求がますます強くなり、鉄道車両用電源装置でも、いっそうの環境負荷の低減など環境性能の向上が求められている。

東芝はこのような背景のなか、時代の要求に適合するため、鉄道車両用補助電源装置として用いる静止形インバータ (SIV: Static Inverter) を2レベルインバータ方式^(注1)から3レベルインバータ方式^(注2)にするとともに、素子に低損失タイプの新型IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を採用することでインバータ損失の低減を図り、SIVの効率を94%から96%に向上できた。また、絶縁トランスをリーケージタイプのトランスにすることで交流リアクトルが削除でき、質量を同容量タイプの従来装置に比べ23%削減することができた。この装置を基にして、東日本旅客鉄道(株)の209系試験電車 (MUE-Train: Multipurpose Experimental Train) 用に定格出力容量を変更して適用した。

The recent increase in awareness of global environmental issues has led to growing demand for high reliability, energy saving, and ease of maintenance in the railway transportation field. Improved environmental performance of auxiliary power units (APUs) for rolling stock is also required, such as further reduction of the environmental load.

Toshiba has developed an advanced APU in response to this situation. This APU achieves a higher efficiency of 96% compared with the 94% efficiency of conventional APUs, through the adoption of a three-level inverter system instead of the conventional two-level type and the application of low-loss insulated gate bipolar transistors (IGBTs). It also achieves a 23% reduction in weight compared with conventional models of the same capacity, through the use of leakage transformers as isolation transformers to eliminate the need for AC reactors. We provided the advanced APU with the rated output capacity of 260 kVA for the multipurpose experimental train (MUE-Train) for conventional railway lines of East Japan Railway Company.

1 まえがき

昨今、世界的に環境問題への関心が高まっている。この社会情勢のなかで、電車を用いた交通システムはクリーンな移動及び輸送の手段として着目されている。

車両に搭載される鉄道車両用補助電源装置はMG (Motor Generator) から始まり、GTO (Gate Turn-off Thyristor) を用いた静止形インバータ (SIV: Static Inverter)、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を用いたSIVへと変遷してきている。その効率は、MGを採用していた頃の70~80%から、90%台にまで向上してきた。現在では、装置が大容量化することにより、1%でも効率が向上することで効率改善の効果も大きくなる。

東芝は今回、従来装置の機能を踏襲しつつ、高効率、小型、及び軽量で大容量のSIVを開発した(図1)。また、この装置の定格出力容量を変更して、東日本旅客鉄道(株)の在来線用

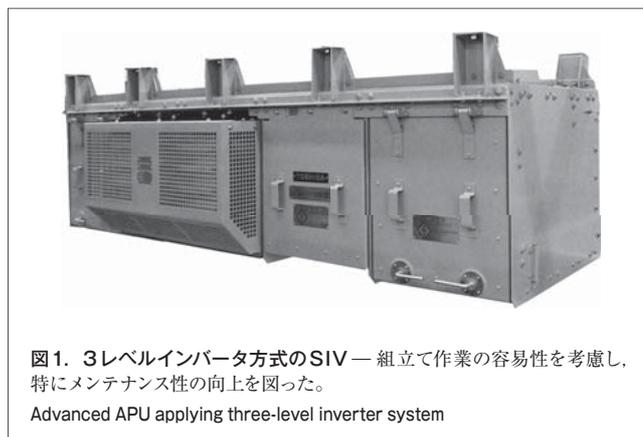


図1. 3レベルインバータ方式のSIV — 組立て作業の容易性を考慮し、特にメンテナンス性の向上を図った。

Advanced APU applying three-level inverter system

試験電車 (MUE-Train: Multipurpose Experimental Train) へ適用した。ここでは、開発したSIVの仕様や特長、性能を述べるとともに、MUE-Trainへの適用について述べる。

2 SIVの仕様と構成

この装置の開発にあたって、国内の主な路線で採用されている入力電圧DC (直流) 1,500 V-出力電圧AC (交流) 440 V

(注1)、(注2) スイッチング素子のON/OFFにより、パルス電圧を0%、100%の2段階で出力する方式を2レベルインバータ方式と呼び、パルス電圧を0%、50%、100%の3段階で出力する方式を3レベルインバータ方式と呼ぶ。

表 1. SIVの主要諸元

Main specifications of advanced APU

項目	諸元
定格入力電圧	DC1,500 V
入力電圧変動範囲	DC900 ~ 1,800 V
定格出力電圧	AC440 V-3相-60 Hz
定格出力容量	270 kVA
負荷力率	0.85 (遅れ)
変換効率	96 %以上
インバータ素子	IGBT 1,700 V-1,200 A
インバータ冷却方式	水冷媒ヒートパイプ方式
制御方式	全デジタル制御
騒音	67 dBA以下
検査機能	運転台からの自動検査に対応

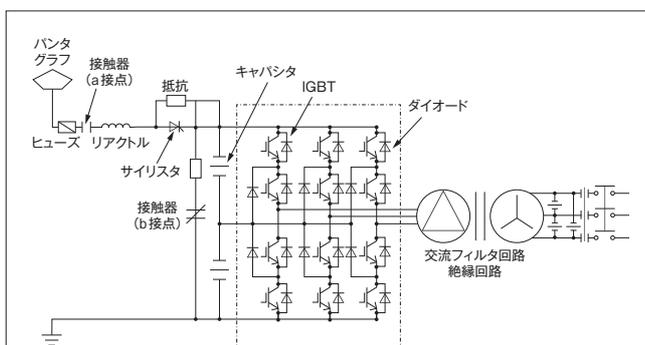


図2. 3レベルインバータ方式の主回路構成 — 東芝の従来装置に採用していた2レベルインバータ方式の回路を見直し、特に効率アップと小型・軽量化を図った。

Configuration of main circuit

-周波数60 Hzを基本に、他の入力電圧や出力電圧、周波数にも対応できるように、標準化指向の設計を行った。

主要諸元を表1に示す。

主回路構成は、当社の従来装置に採用していた2レベルインバータ方式を基に、特にインバータ回路の見直しを行い、図2に示す3レベルインバータ方式とした。

3 SIVの特長

3.1 高効率

IGBTを用いた当社の従来装置の効率は、定格入出力では94%となっていた。そこで、損失を最低でも5%未満とすることを目標に装置の開発を行い、効率96%を実現した。

従来装置のシステムは2レベルインバータ方式としていたが、今回開発した装置のシステムは3レベルインバータ方式を採用した。また、素子には低損失タイプの新型IGBTを採用することで、インバータ損失の低減を図ることができた。

3.2 小型・軽量化

3レベルインバータ方式とすることで、出力回路部分にあっ

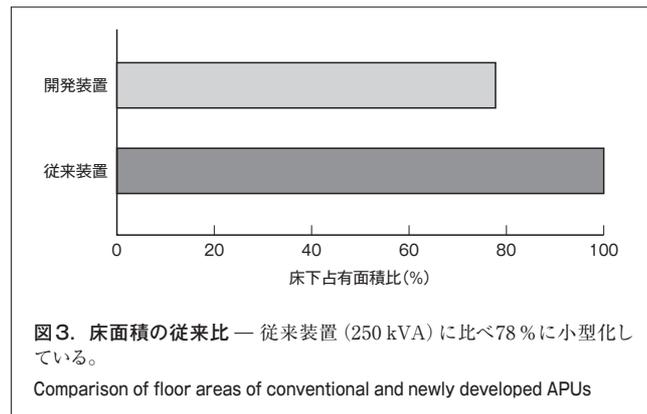


図3. 床面積の従来比 — 従来装置 (250 kVA) に比べ78%に小型化している。

Comparison of floor areas of conventional and newly developed APUs

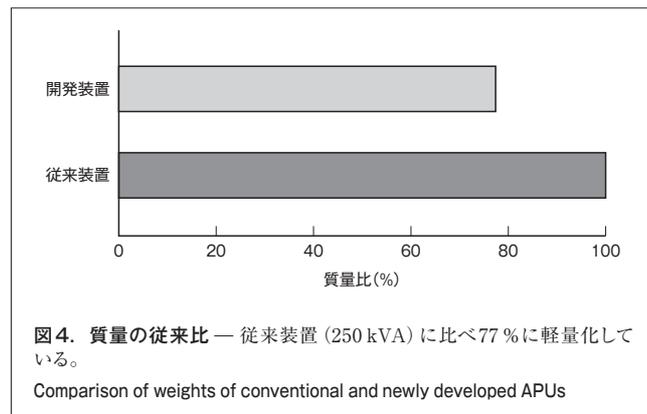


図4. 質量の従来比 — 従来装置 (250 kVA) に比べ77%に軽量化している。

Comparison of weights of conventional and newly developed APUs

た交流フィルタ回路のインダクタンス値を小さくすることができる。そこで、絶縁トランスをリーケージタイプのトランスにすることで、交流リアクトルをなくすことができた。

この結果、リアクトルトランスの質量は2/3程度となり、開発した装置の大きさは、当社従来装置 (250 kVA) との床面積比で78% (図3)、質量比で77% (図4) と小型・軽量化を実現した。

また、インバータ及び制御基板を一体化することで、配線数を削減している。

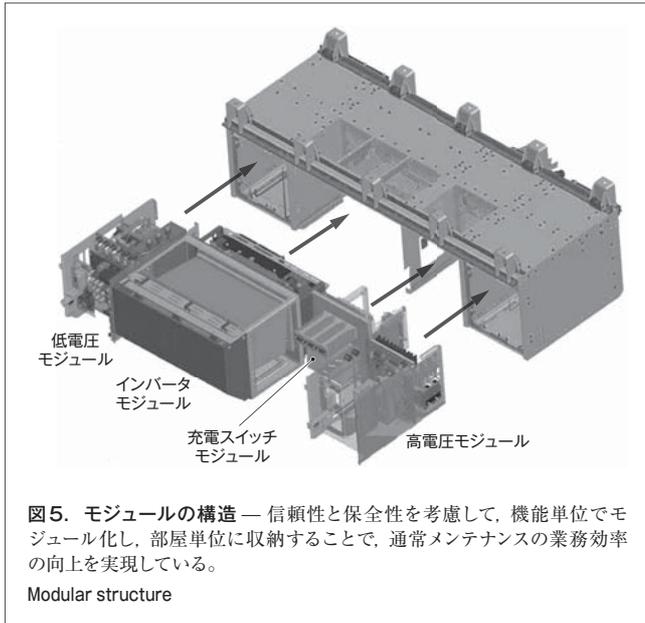
3.3 メンテナンス性の向上

従来の装置では、各部品を箱枠に搭載していたことから、メンテナンスや修理をする際は部品ごとに取り外して、箱内の狭いスペースで作業を行った。

そこで、信頼性と保全性を考慮し、機能単位でモジュール化し、部屋単位に収納することで、通常メンテナンスの業務効率の向上を実現できた (図5)。また、故障が発生した場合、機能単位で集約したモジュールであることから、モジュール内での復旧に限定できる可能性が高く、復旧のためのモジュール交換作業が容易となり、ダウンタイム (機能停止時間) の短縮も図れるようになった。

3.4 制御の高信頼化と高速化

1枚の基板にシーケンス制御、インバータゲート制御、伝送、状態記録などの全ての制御機能を集約し、全てデジタル制御



を行っている。アナログ調整部がないため、制御パラメータなどを調整する必要がなく、部品定数のばらつきを最小限にして制御性能を高めている。また、部品点数を削減することで、信頼性も向上している。

この基板には新型のパワーエレクトロニクス専用の32ビット高速演算プロセッサを搭載しており、従来装置に比べ8倍の高速制御ができ、3相個別での瞬時値制御や、高速状態記録(1 μ s)の波形記録を標準に搭載した。

4 SIVの性能

4.1 静特性

定格負荷時の出力電圧波形を図6に示す。このときの歪み(ひずみ)率及び効率の測定結果を表2に示す。

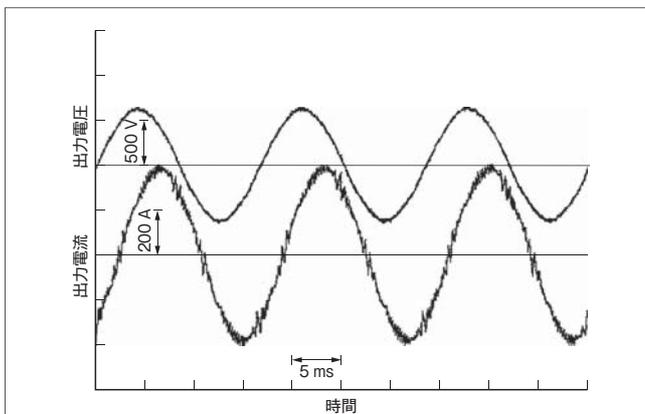


図6. 定常特性波形 — 高周波リップル成分もなく、波形歪みもほとんど観測されず、従来装置と同等の正弦波を実現している。

Stationary characteristic waveforms

表2. 定格入出力時の歪み率及び効率測定結果

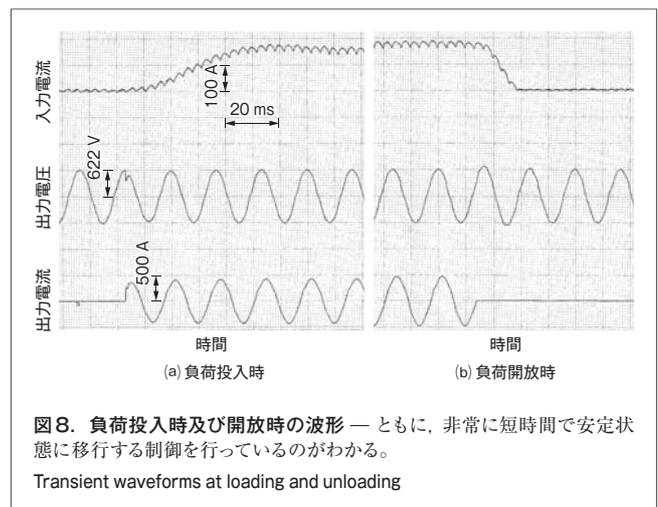
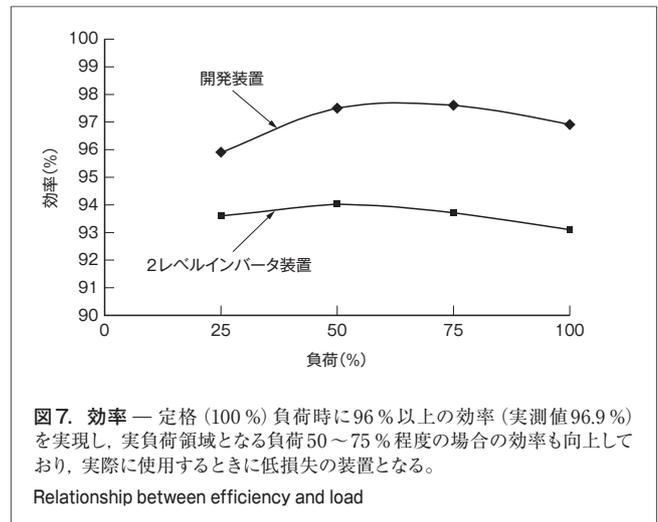
Results of distortion rate and efficiency measurements (at rated input-output point)

測定項目	測定値	
力率	0.85 (遅れ)	1.0 (抵抗負荷)
歪み率	1.9%	2.5%
効率	96.9%	96.6%

波形内に高周波リップル成分もなく、デッドバンド^(注3)損失電圧による波形歪みもほとんど観測されず、従来装置の電圧波形と同等の正弦波を実現した。

力率0.85の定格負荷において、最低入力電圧900 V時の出力電圧は、定格出力電圧に対して約92%の電圧を確保している。また、歪み率3% (試験結果)を確保できることを確認した。

定格入力時の効率のグラフを図7に示す。定格(100%)負



(注3) 二つのスイッチング素子が同時にONしないようにどちらの素子もOFFしているタイミングで、電圧が静定しない(電圧指令がない)状態。

荷時に96%以上の効率(実測値96.9%)を実現していることに加え、実負荷領域となる負荷50~75%程度の場合の効率も向上しており、実際に使用するときには低損失の装置となる。

4.2 動特性

定格負荷の投入及び開放時の出力電圧波形を図8に示す。非常に短時間に安定状態に移行しており、高速に制御されている。

また、出力電圧の変動は1サイクル内に収まっており、蛍光灯フリッカを含め、負荷機器に影響を与えることはない。

5 MUE-Trainへの適用

開発した装置の定格出力容量を東日本旅客鉄道(株)の仕様に合わせて260 kVAに変更し、同社が様々な研究開発を行うために製作した209系試験電車MUE-Train(図9)に搭載した。現在、順調に稼働している。



図9. 209系試験電車 — 開発した装置の定格出力容量を260 kVA仕様に変更して搭載した。

MUE-Train of East Japan Railway Company

6 あとがき

近年、環境への配慮を重視し、地球温暖化防止のためのエネルギー抑制などが社会的に重要なキーワードになっている。

今回開発した装置は、高効率ということで従来装置に比較して、余分な熱の排出を大きく低減することができた。その他、この装置は、IGBT素子の2in1タイプの採用や、基板枚数の削減など、用品点数の削減を行い、信頼性の向上も図れた。次世代の補助電源装置として普及が期待される。

今後、今回得られた技術を基に、小容量タイプのシリーズ製品の開発、極低温環境対応などのオプションの開発、及びいっそうの低騒音化などの開発を行っていく。

文献

- (1) 尾谷浩昭 他, “大容量高効率電源装置の開発”. 第47回鉄道サイバネティクス・シンポジウム. 東京, 2010-11, 日本鉄道技術協会特定部会 日本鉄道サイバネティクス協議会. 2010, 論文番号532.



吉川 賢一 KIKKAWA Kenichi

社会インフラシステム社 鉄道システム統括部 車両システム技術部参事。鉄道車両システムのエンジニアリング業務に従事。
Railway Systems Div.



尾谷 浩昭 OTANI Hiroaki

社会インフラシステム社 府中事業所 交通ドライブシステム部。車両用電源装置のシステム・電気設計に従事。
Fuchu Complex