

札幌市交通局 5000 形 2 次車用電気品

Electrical Equipment for 2nd-Batch Series 5000 EMUs for Sapporo Subway

逸見 琢磨
T. Henmi

河野 昭彦
A. Kohno

波多野 通広
M. Hatano

札幌市では、1971年に地下鉄南北線開業に合わせて投入された2000形車両の後継・代替新造車両として、95年度から5000形車両が投入されているが、96年度に当社は2次車用電気品として主制御装置・主電動機・補助電源装置・車上検査装置を受注し、このたび納入した。

この車両は、最新技術の採用により、輸送力の向上、乗客サービスの向上、乗務員室の改善および保守性の向上を図るという基本方針のもとに設計されている。当社電気品に関しては、主制御装置および補助電源装置の主回路素子に、近年GTO (Gate Turn-Off thyristor) に代わる高周波スイッチング素子として車両用パワーエレクトロニクス製品に広く適用されるようになったIGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ) を採用した。また、車上検査装置については、32ビットCPUと伝送速度100kbpsのFSK (Frequency Shift Keying) 電気伝送方式を用い、月検査・年検査レベルの自動試験に対応している。

Series 5000 electric multiple units (EMUs) have been built since 1995 as an alternative to the series 2000, which has been in service since 1971 when the Nanboku Line opened in Sapporo City, Hokkaido. Toshiba concluded a new contract in 1996 to supply electrical equipment for the cars of the Sapporo City Transportation Bureau, and has delivered propulsion controllers, traction motors, auxiliary power supplies, and onboard inspection equipment.

This car design is based on the concept that transportation capacity, passenger services, cabin improvements and low maintenance will be promoted through the adoption of the latest technology. For the electrical equipment we adopted the insulated-gate bipolar transistor (IGBT), which has been applied to power electronics products in recent years, instead of the gate turn-off thyristor (GTO) as a high-frequency switching device.

We also adopted the frequency shift keying (FSK) electrical transmission system with a transmission speed of 100 kbps, which makes possible automatic tests at the monthly or yearly level.

1 まえがき

札幌市の地下鉄は、札幌オリンピック開催前年の1971年に南北線が開業したのに始まり、昨年25周年を迎えた。この間、南北線では開業当初に投入され現在も活躍中の2000形カム軸制御車、78年から投入された3000形電機子チョップ制御車の2形式が運用されてきた。そして、95年度に2000形の後継車両として新しく製作された5000形VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) インバータ制御車1編成(1次車)が運用に入っている。

当社は、96年度に製作された5000形2次車で、VVVFインバータ制御装置(2編成分)、主電動機(2編成分)、補助電源装置(4編成分)、車上検査装置(3編成分)を納入した。基本性能および艤(ぎ)装条件は1次車をベースとしたが、システム構成を含めた詳細部については独自の設計を行った。

設計に際しては、札幌市交通局の基本方針に従い、かつ当社独自の新技术を適用することで、第三世代にふさわしいシステムの構築を図った。



図1. 札幌市営地下鉄5000形電車 ゴムタイヤ式の6両固定編成である。

Cars for Sapporo subway

2 車両概要

図1に示すとおり、車両の外観は21世紀の地下鉄にふさわしい洗練された明るい印象を与えている。車両諸元は次のとおりである。

- (1) 電気方式 直流750V第3軌条方式
- (2) 車両編成 3M3T 6両編成

- (3) 車両長 18.4 m
- (4) 軌間 2,230 mm (走行輪中心間)
- (5) 最高速度 70 km/h
- (6) 起動加速度 4.0 km/h/s
- (7) 最大減速度 4.0 km/h/s (回生ブレーキ)
5.0 km/h/s (非常ブレーキ)
- (8) 駆動装置 はすば歯車 2 段減速 (歯車比 11.18)



図3. VVVF インバータ装置 中央に制御部、両側にパワーユニットを配置している。
VVVF inverter for propulsion

3 主回路システム

主回路システムは、1次車と同様の台車制御(2個モータ制御)を基本としており、次のような特長をもっている。

3.1 システム構成

図2に主回路構成を示す。VVVF インバータは2群構成とし、1群当たりモータ2個を制御する。また、万一の故障時には群ごとに開放可能であり、健全ユニットが自動的に限流値増を行うことで冗長性を確保している。

表1に VVVF インバータ装置の諸元を示す。

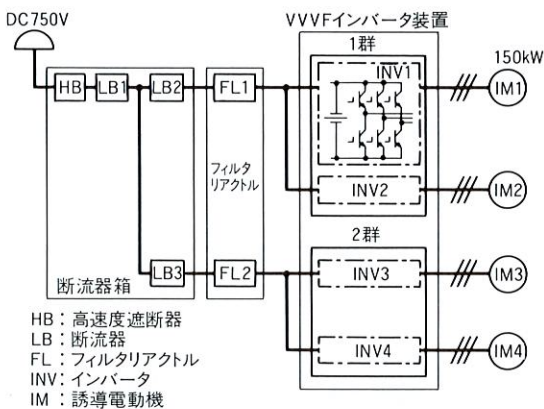


図2. 主回路構成 主電動機2台を1群のパワーユニットで制御している。

Configuration of main circuit of VVVF inverter system

表1. VVVF インバータ諸元
Ratings of VVVF inverter system

制御方式	電圧形 PWM 方式 VVVF インバータ
定格出力	三相 AC 550 V, -7~+192 Hz
制御容量	150 kW 誘導電動機×4 台
制御単位	台車 (2個モータ) 単位
使用素子	圧接形 IGBT 2,500 V-1,000 A
冷却方式	自然冷却 (個別フィン方式)

3.2 ハードウェアの特長

3.2.1 VVVF インバータ装置 図3にインバータ装置の外観を示す。装置中央に制御部を配置し、装置の左右にそれぞれ1群および2群のパワーユニットを配置する構成

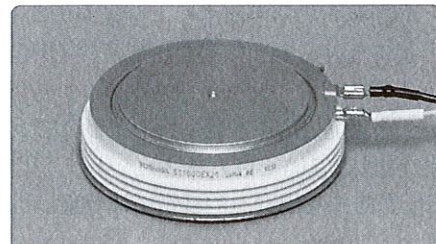


図4. 圧接形 IGBT
同定格のモジュール形に比べ、パッケージ面積比で約1/3と小型である。
Press pack IGBT

としている。

主回路素子には、定格 2,500 V-1,000 A の圧接形 IGBT 素子を適用した。図4に圧接形 IGBT の外観を示す。電極面径は 75 mm で、同等定格のモジュール形に比べ、パッケージの面積比で約 1/3 と小型化できた。高圧大電流の素子の適用により、インバータユニットの素子接続は 1S1P の 2 レベルで構成可能となり、ユニット当たりの使用素子数は最少の 6 個とすることができた。圧接形素子を適用した VVVF インバータの特長は次の 5 点である。

- (1) 長寿命化 GTO と同じ完全圧接構造、ワイヤボンディングレスで、またはんだ処理がまったくないため、それらの熱疲労に対する信頼性を確保できる。
- (2) 高信頼性 インバータ装置出力が 1 MVA 以上の大容量に適用した場合、部品点数を 50 % 削減でき、回路構成をシンプルにできる。
- (3) 小型・軽量化 部品点数の削減および両面冷却による冷却効率の向上により、パワーユニットとして小型・軽量化が図れる。
- (4) 低騒音化 GTO に比べスイッチング周波数を約 3 倍以上高く設定できるため、起動時の磁歪(わい)音を約 5 dB 低減できる。
- (5) 低損失化 GTO の場合と比較して、ゲート損失 1/10、スナバ損失 1/4 を実現した。

また、高速度遮断器および電磁接触器は電磁投入式を採用し、空気配管を不要とした。また、高速度遮断器は VVVF インバータの電源を立ち上げた後投入状態を保持し、電磁接触器はレバーサの位置が前進または後進であれば投入状態を持続することで、有接点部動作回数を減らし、保

守低減を図っている。さらに、1インバータ6個の圧接形IGBTと個別冷却フィンとを交互に積層圧接し、1個のスタックを構成して部品点数を削減している。

4 主電動機

主電動機は、小型・軽量化を図るとともに、特に低騒音化を考慮して設計・製作を行った。主電動機の定格出力は150kW-550V-210Aであり、構造上の特長は次のとおりである。

- (1) 低騒音化 通風ファンの羽根形状の最適化を図り、高圧力特性をもった通風ファン(高ヘッドファン)を採用したことにより、同一風量に対してファン径を従来形ファンよりも小さくできるため、従来構造に比べて5~10%の騒音低減が可能となった。
- (2) メンテナンスの軽減 反駆動側のハウジング部に、フレームを貫通するパイプを1か所設ける。主電動機内部側のパイプの先端は回転子鉄心風穴部に対向し、主電動機外部側の先端はフレームおよびセンサフレームを貫通して、センサ側フレームの端面に構成される。パイプの主電動機外部側の先端を工場エアホースに接続して気吹きを行うことで、分解することなく主電動機内部に滞積した塵埃(じんあい)を除去できる構造となっている。運転中は接続用の口金部に防塵キャップを取り付け、塵埃の侵入を防止する。

5 補助電源システム

補助電源システムは、当社で実績のある2段分圧IGBTインバータを応用し、素子接続を1段(モジュール形IGBTを1セット当たり12個使用)とすることで主回路構成を簡素化し、小型・軽量化、信頼性の向上を図った。

表2にIGBTインバータ装置の諸元を示し、図5にIGBTインバータ装置の外観を示す。

IGBTインバータの特長は次のとおりである。

- (1) 小型・軽量化 従来の起動装置、インバータ装置、リアクトル・トランス箱を一体化することにより、小型・軽量化、艤装線の削減、およびシールドダクトレス化を実現できた。また、装置箱枠材にアルミニウムを使用することで、軽量化を図った。
- (2) 高性能化 制御部に高性能マイクロプロセッサを、制御演算中心部にはDSP(Digital Signal Processor)を採用し、出力の安定化、蛍光灯のちらつき防止制御などの過渡応答の高速化を実現している。
- (3) メンテナンスの軽減 インバータユニットの冷却は自然冷却方式(サーモサイフォン式)を採用、またシーケンス制御部をすべて半導体化したこと、およびGTO

表2. IGBTインバータ定格

Ratings of IGBT inverter

回路方式	直接変換1段インバータ
定格	連続
入力定格電圧	DC 750 V
出力定格容量	70 kVA
出力の種類	三相交流4線式
出力電圧定格	AC 200 V
出力定格周波数	60 Hz
出力周波数変動範囲	±1 Hz
定格負荷力率	85% (遅れ)
効率	92%
冷却方式	自然冷却(サーモサイフォン式)



図5. IGBTインバータ装置 中央部がインバータユニット、その右側が制御部、CHSユニット、左側がトランス部で構成している。

IGBT inverter

遮断器(CHS(CHarging Switch)ユニット)の採用によりメンテナンスの軽減を図った。

6 車上検査システム

車上検査システムは、各機器モニタからのデータをサイクリックに取り込み、通常の車両走行、異常発生時のガイダンス、点検・検査および調査を行うための情報処理と表示する機能をもつ。

6.1 システム構成

図6にシステム構成を示す。ハードウェアの構成は、両先頭車運転室に車上検査中央装置(ICカードR/W内蔵)と乗務員用表示器、各中間車床下に車上検査端末装置、および各装置・機器間の伝送ラインからなる。

- (1) 幹線伝送 中央装置と端末装置間のシリアル伝送インタフェース仕様を表3に示す。
- (2) 機器間伝送 車上検査装置と各機器(VVVF、

表3. 幹線シリアル伝送インタフェース

Vehicle bus of serial transmission interface between cars

方式	FSK モデムインタフェース
伝送路	ツイストペアシールド4線式
通信方式	半二重
伝送速度	100 kbps
同期方式	フラグ同期
制御手順	HDLC 準拠
接続方式	ポーリング セレクティング

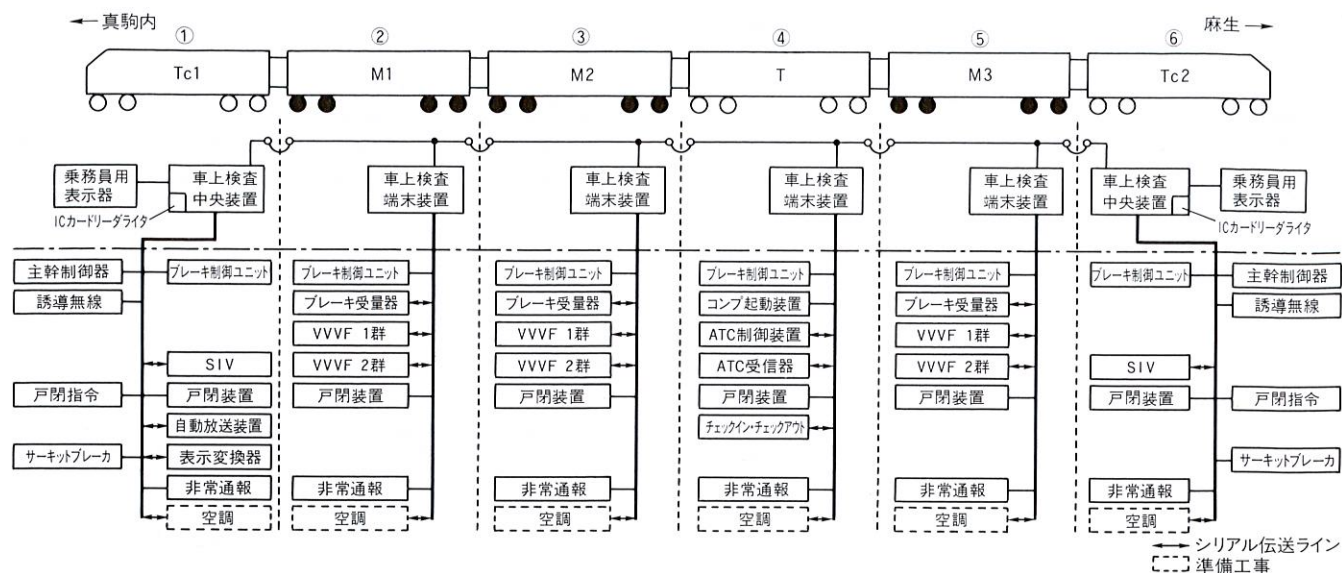


図6. 車上検査システムの構成 幹線は、100 kbps の電気伝送路で構成している。

Configuration of onboard inspection system

SIV (Static InVerter), ブレーキ, ATC (Automatic Train Control) など間の伝送は、伝送速度 9.6 kbps の 20 mA カレントループインタフェースとしている。

(3) ハードウェア構成 中央装置には 32 ビット CPU を用いており、各車端末装置からの情報、自車の機器情報などが入力される。一方、端末装置には 16 ビット CPU を使用しており、自車内の各機器の状態情報・検査結果データなどが取り込まれる。

また、IC カードリーダーを中央装置に内蔵し、データ伝送を ISA (Industry Standard Architecture) バス直結方式で行うことにより、IC カードデータの高速転送 (10 数分→10 数秒に短縮) が可能となり、ストレスを感じさせないデータの取扱いができる。

6.2 車上検査装置の機能

主要な機能の概要は次のとおりである。

- (1) 運転支援機能 車両運用に必要な情報、すなわち距離程などの運転情報や列車・機器の状態情報をリアルタイムに表示する。また、異常発生時の情報が表示できる。
- (2) 検修支援機能 故障記録、異常現象記録を行い、データを IC カードに記録した後、地上側の読出し器で帳票出力ができる。
- (3) 乗客サービス支援機能 車内案内表示器の表示制御、自動放送装置の制御を行うことができる。
- (4) 車上試験機能 各機器に対して月・年検査レベル

の自動総合試験を指令し、各種測定と判定を実施し、結果を表示する。

7 あとがき

札幌市交通局 5000 形 2 次車は、96 年度に計 6 編成製作され、順次営業運転に入っており、97 年度以降もさらに増備されていく予定になっている。

今後も引き続きブラシアップの努力を続け、真に顧客に満足いただける製品開発にまい進していく所存である。



逸見 琢磨 Takuma Henmi

府中工場ドライブシステム部主務。
車両用 VVVF インバータの開発設計に従事。
Fuchu Works



河野 昭彦 Akihiko Kohno

府中工場交通システム部主務。
交通車両情報システムの開発設計に従事。
Fuchu Works



波多野 通広 Michihiro Hatano

府中工場交通システム部主務。
交通車両システムの技術業務に従事。
Fuchu Works