

阪急電鉄（株）9300系電車用電気品

Electric Equipment of Series 9300 Train

For Hankyu Corporation

This paper introduces outline of Series 9300 train, propulsion system, and auxiliary power supply system (APS).

Hankyu Corporation has newly introduced an 8-car train of Series 9300 in Kyoto line since autumn in 2003 as a next train to Series 6300. Fixed train unit of 3M5T (3 motorcars and 5 trailers) was realized in this Series 9300 by improved adhesion characteristics and increased traction motor power, instead of existing 8-car train consisting of 2 fixed 4M4T trains for 6300 series.

A VVVF inverter drives 2 traction motors on the same bogie and each motorcar has 2 inverter groups (totally 3 groups in a train).

4 sets of APS are equipped in a train and they consist of 2 groups and are operated in parallel. We place importance on redundancy for these systems. We delivered mainly VVVF inverters, filter reactors, master controllers, traction motors, driving gear units, train monitoring devices and pantographs, etc.

星 吉輝

Yoshiteru Hoshi

山口 邦晴

Kuniharu Yamaguchi

久保 徹之

Yoshiyuki Kubo

野村 英児

Eiji Nomura

1. まえがき

平成15年秋より京都線新形式車両9300系1編成8両が営業に導入された。

この車両は京都線6300系の後継車両として新造製作され、従来6300系の編成は4M4Tの8両固定車両を基本としていたのに対し、粘着性能の向上および主電動機の出力増大により、9300系は3M5Tの8両固定編成を実現した。

VVVFインバータ装置は1台のインバータにて2台の主電動機を制御する2M1C（台車制御）の2群構成で、編成内に3セット搭載している。

補助電源装置は2群構成のインバータにて編成内に2セット搭載し、編成内4台のインバータが並列運転する方式を採用している。

この9300系車両は走行システムおよび補助電源システムを編成全体としてとらえ、冗長系を重視したシステム構成としている。

当社では、この9300系電車用電気品として VVVF インバータ装置、フィルタリアクトル、主電動機、駆動装置、力行指令器、補助電源装置、列車モニタ装置、パンタグラフなどの主要電機品を納入した。

以下、9300系電車の概要と走行および補助電源システムについて紹介する。

2. 車両諸元

図1に9300系電車の外観を示す。



図1 9300系電車

Fig.1 Series 9300

京都線特急車両の大きな特徴である『2扉クロスシート』仕様から、車両運用や乗降の自由度が高い『3扉セミクロスシート』仕様としている。

編成は大阪方より、Mc1-T1-T2-T2-T1-M1-Mc2の8両編成を基本とし、M車系に走行システム関連装置を、T1車に補助電源システム関連装置を搭載している。

編成を3M5Tとしながらも、設計最高速度は130km/h（最高営業運転速度は110km/h）に向上している。

加速度は地上 $0.72\text{m}/\text{sec}^2$ (2.6km/h/s)・地下 $0.78\text{m}/\text{sec}^2$ (2.8km/h/s), 減速度は常用ブレーキ $1.03\text{m}/\text{sec}^2$ (3.7km/h/s)・非常ブレーキ $1.17\text{m}/\text{sec}^2$ (4.2km/h/s)で, 既存車と同一としている。

編成の大阪方に, 必要に応じて既存の7300系や8300系と併結し, 10両編成の運用が可能な設計としている。

9300系電車の車両諸元を表1に示す。

表1 車両諸元

Table 1 Main features of the car

項目	Mc1 (制御電動車)	T1 (付随車)	T2 (付随車)	T2 (付随車)	T2 (付随車)	T1 (付随車)	M1 (電動車)	Mc2 (制御電動車)
形式	9300	9850	9870	9870	9870	9850	9800	9400
車両質量	35.7t	28.4t	24.5t	24.5t	24.5t	28.4t	33.7t	34.1t
定員 【着席定員】	120人 【43人】	130人 【47人】	130人 【47人】	130人 【47人】	130人 【47人】	130人 【47人】	130人 【47人】	120人 【43人】
最高運転速度	110 km/h							
直線加速度	地上 $0.72\text{m}/\text{sec}^2$ (2.6km/h/s) 地下 $0.78\text{m}/\text{sec}^2$ (2.8km/h/s)							
最大減速度	常用ブレーキ $1.03\text{m}/\text{sec}^2$ (3.7km/h/s) 非常ブレーキ $1.17\text{m}/\text{sec}^2$ (4.2km/h/s)							
電気方式	DC1500V 架空電車線方式							
主制御装置 2M1C×2 【台車制御】	RG684-A-M IGBT-VVVF 1セット	—	—	—	—	—	RG684-A-M形 IGBT-VVVF 1セット	RG684-A-M形 IGBT-VVVF 1セット
フィルタリアクトル 【8mH×2】	L3028-A FL 1セット	—	—	—	—	—	L3028-A FL 1セット	L3028-A FL 1セット
主電動機 200kW 【誘導電動機】	TDK6126-A IM 4セット	—	—	—	—	—	TDK6126-A IM 4セット	TDK6126-A IM 4セット
補助電源装置 75kVA×2 【並列運転】	—	RG4036-A-M IGBT-SIV 1セット	—	—	—	RG4036-A-M IGBT-SIV 1セット	—	—
駆動装置 【平行加力軸 駆動方式】	KD435-C-M TD継手式 4セット	—	—	—	—	—	KD435-C-M TD継手式 4セット	KD435-C-M TD継手式 4セット
集電装置 【シングルアーム式】	PS7105-B Pan 2セット	—	—	—	—	—	PS7105-B Pan 2セット	—
列車モニタ装置 【運転士用 表示器含む】	RG5000-A-M モニタ中央 1セット	RG5000-B-M モニタ端末 1セット	RG5000-B-M モニタ端末 1セット	RG5000-B-M モニタ端末 1セット	RG5000-B-M モニタ端末 1セット	RG5000-B-M モニタ端末 1セット	RG5000-C-M モニタ端末 1セット	RG5000-A-M モニタ中央 1セット
力行指令器	ES922-B-M マスコン 1セット	—	—	—	—	—	—	ES922-B-M マスコン 1セット

3. VVVVFインバータ装置

主回路接続を図2に、主回路システム主要諸元を表2に示す。

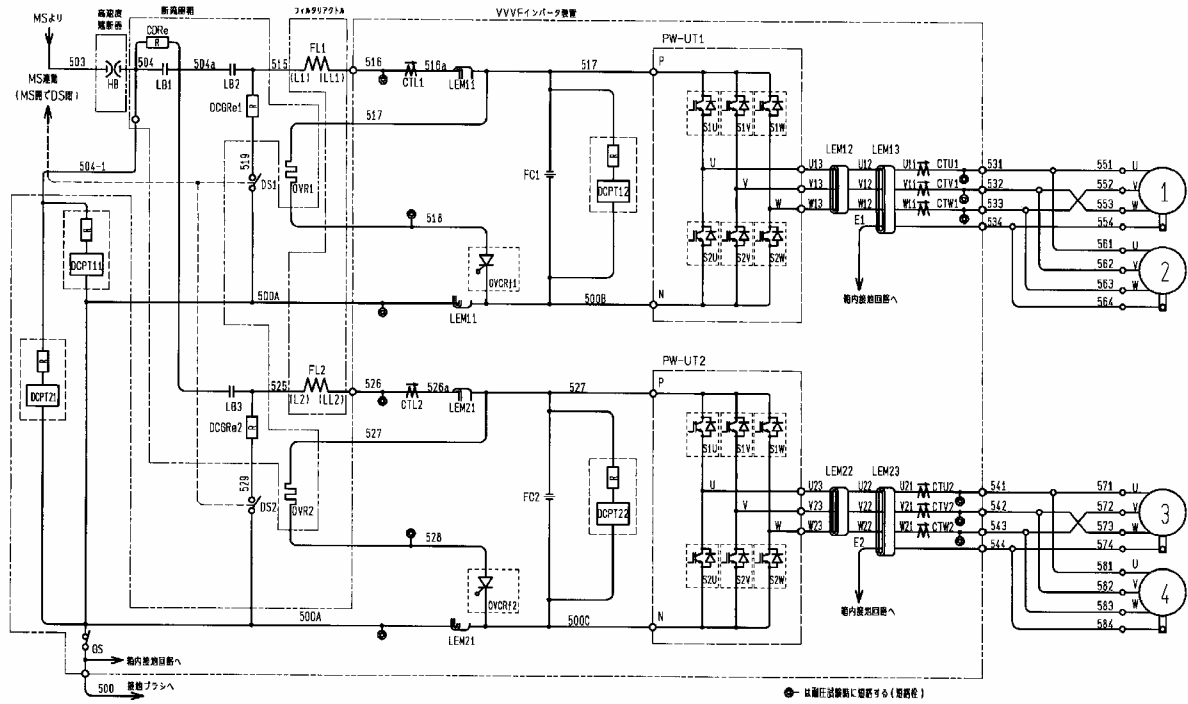


図2 主回路接続

Fig.2 Traction power circuit schematics

表2 主回路システム主要諸元

Table 2 Main features of traction power system

項目	仕様
電気方式	主回路 : DC1500V (定格) 制御回路 : DC100V (定格)
制御容量	200kW 誘導電動機 × 4 (主電動機2個制御 × 2群)
主回路素子	IGBT-3300V/800A (2レベルインバータ)
冷却方式	ヒートパイプ冷却方式 (冷媒: 純水)

3.1 VVVFインバータ装置の概要

本装置は、阪急電鉄では初の高耐圧 IGBT 素子を使用した車両用2レベルインバータである。主電動機2台を制御するVVVF インバータ2組が1台の箱に構成されている。

また、インバータ箱とは別に高速度遮断器箱、インバータ2組分に対応した単位スイッチを構成する断流器箱がある。

本装置の性能は運転台上に設置された線区切替スイッチによる車両性能切替に対応している。

VVVF インバータ外観（正面）を**図3**に、VVVF インバータ外観（裏面）を**図4**に示す。

また、高速度遮断器・断流器箱の外観を**図5**に示す。

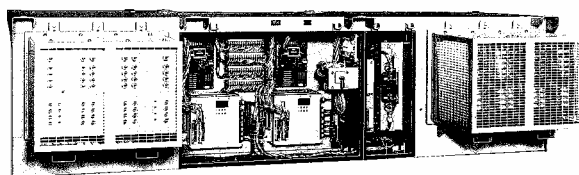


図3 VVVFインバータ外観（正面）
Fig.3 VVVF Inverter (front view)

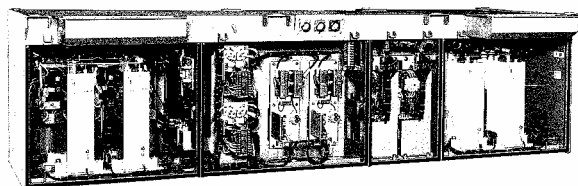


図4 VVVFインバータ外観（裏面）
Fig.4 VVVF Inverter (rear view)



図5 高速度遮断器・断流器箱外観
Fig.5 HB・LB (view)

3.2 VVVFインバータ装置の特徴

(1) VVVF 装置構成について

前述のように、VVVF インバータ本体・高速度遮断器・断流器の3箱構成である。

(2) 遮断器類の選定について

高速度遮断器及び単位スイッチは電流遮断時に遮断器の外側にアークが飛散しないアークレス遮断器（デアイオングリッド式）としている。そのため、箱は碍子を使用せずに直接車体ぎ装としている。

(3) パワーユニット

- ① 3.3kV-800A の大電力 IGBT 素子を使用した2レベルインバータ方式である。
- ② 個別スナバレスのインバータ回路である。
- ③ ゲート信号のフィードバックを絶えず監視し指令と異なった動きの時にはゲートを停止させている。
- ④ 冷却方式はヒートパイプ自冷方式で冷媒には純水を使用。

(4) 制御ユニット

マイクロプロセッサ（MPU）を採用した制御ユニットで、ソフトウェアを変えることで補助電源装置にも使用できる。

(5) インバータ制御について

インバータ制御はハイブリッドベクトル制御とし、速度検出において、PG 回路を必要としない PG センサレス制御を行っており、空転・滑走制御に対しても検知遅れが少なく空転差速度が小さい状態で再粘着制御を開始する方式により高速に制御をしている。

現車試験による力行試験運転時オシロを**図6-1**に、回生試験運転時オシロを**図6-2**に示す。

3.3 VVVFインバータ装置の冗長性について

主電動機2台単位で開放可能とし、最大4台開放時でも35%こう配において、起動可能としている。また、カット操作を実施した場合は健全な装置の限流値を上げることにより、運転に支障のないようにしている。

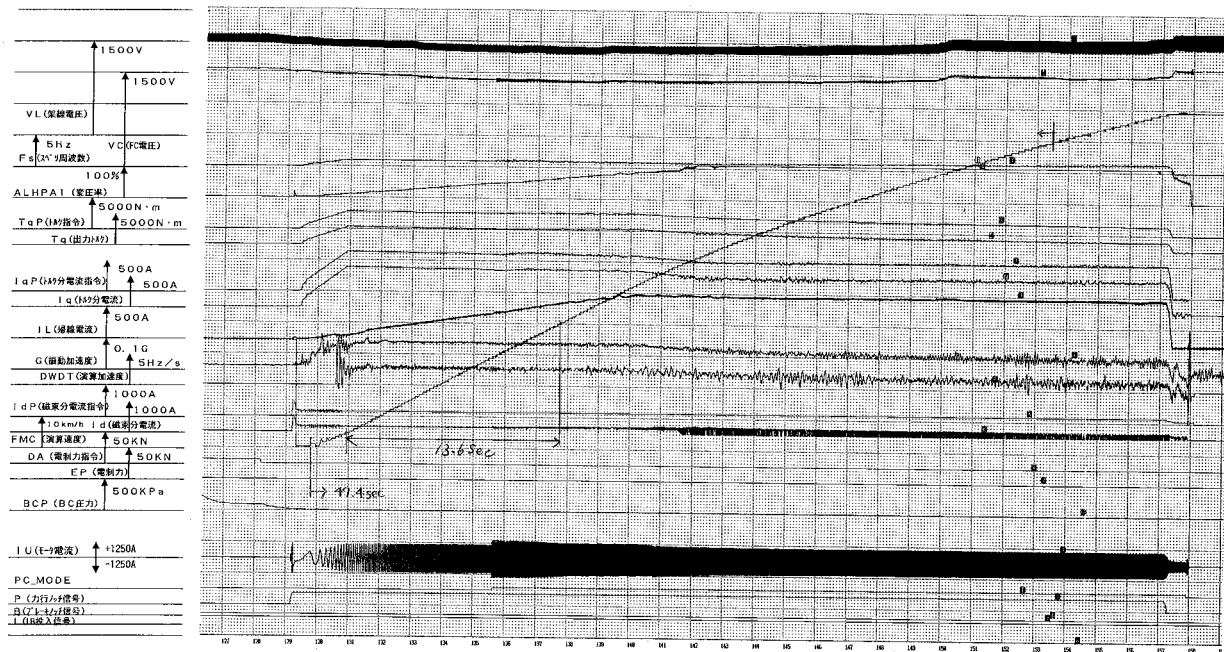


図 6-1 停止から100km/hまでの力行試験オシロ

Fig.6-1 Results of powering test

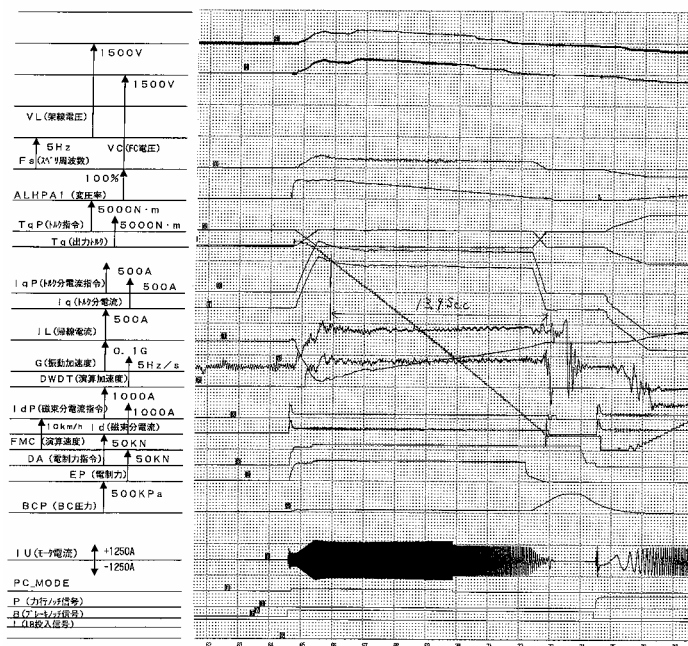


図 6-2 65km/hから停止までの回生試験オシロ

Fig.6-2 Results of powering test

4. 主電動機

4.1 主電動機の概要

主電動機は小形・軽量・高出力・高効率の三相かご形誘導電動機で出力は200kWである。

固定子巻線の絶縁にはH種絶縁を採用し、熱伝導と信頼性の向上を図るため固定子・回転子ともに無溶剤樹脂による含浸を実施している。

また、速度センサ（PGセンサ）は制御に完全PGレス制御を採用したため取り付けしていない。

主電動機の定格を表3に、外観写真を図7、8に示す。

表3 主電動機要目
Table3 Traction motor ratings

定格の種類	1時間
出力 (kW)	200
電圧 (V)	1100
電流 (A)	132
周波数 (Hz)	66
回転速度 (min ⁻¹)	1960
すべり (%)	1.0
極数	4
効率 (%)	93.5
力率 (%)	85.5



図7 主電動機外観

Fig.7 Traction motor (front view)



図8 主電動機外観

Fig.8 Traction motor (rear view)

4.2 主電動機の特徴

(1) ストレーナ

ストレーナは通気抵抗が少なく塵埃の分離効率が高い遠心分離方式のクリーンストレーナを採用している。

分離された水や塵埃は主電動機の冷却ファンの吸引力を利用し、機外に強制的に排出し、塵埃を堆積させずメンテナンスの向上を図っている。クリーンストレーナの構造を図9に示す。

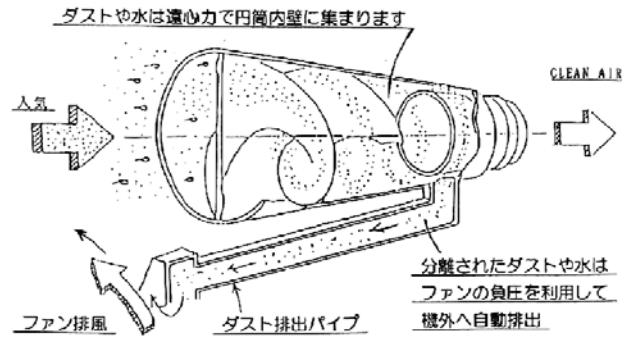


図9 クリーンストレーナの構造

Fig.9 Structure of a strainer

(2) 水抜き装置

万一浸入した水や塵埃も反駆動側フレーム下部から駆動側まで設けたダクトを通して冷却ファンの吸引力により機外に排出し、機内に溜まるのを防止している。

(3) 軸受構造

軸受は電食予防のため絶縁軸受を採用している。また軸受構造は密封方式を採用し、グリースの中間給油も4回まで可能とし、長期間非分解を可能としている。

(4) 口出線接続

口出線の熱劣化を防止するため主電動機内から銅バーを引き出し、主電動機外で口出線に接続した口出しバー方式としている。

5. 補助電源装置 (SIV)

SIV接続を図10に、SIV主要諸元を表4に示す。

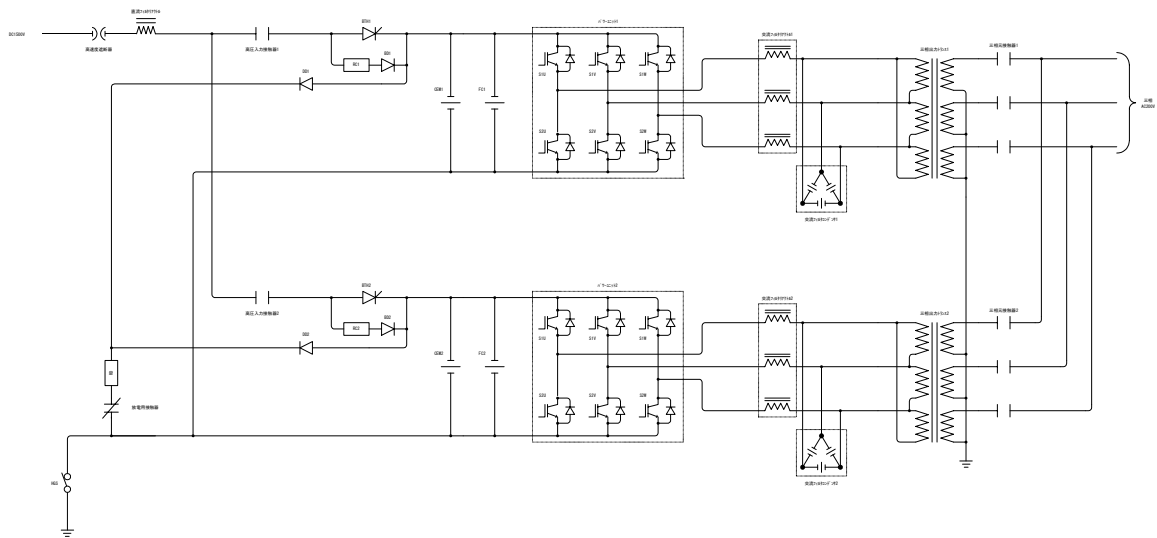


図10 SIV接続

Fig.10 SIV power circuit schematics

表4 SIVシステム主要諸元

Table4 Main features of SIV system

項目	仕様	
方式	主回路方式	ダイレクト変換2レベルインバータ (2バンク形、並列運転方式)
	制御方式	PWM 制御による出力電圧制御
	冷却方式	自然冷却方式 (ヒートパイプ冷却)
入力	定格電圧	DC1500V
	電圧変動範囲	DC900~1800V DC1000V~1800V
	定格入力電流	DC94A
	定格容量	150kVA (75kVA×2出力)
出力	定格電流	433A (216.5A×2出力)
	負荷責務	75kVA×2出力連続
	過負荷責務	300%超過瞬時、サーマル特性
	出力種別	三相交流4線式
	定格電圧	AC200V
	負荷力率	85% (遅れ)
	電圧精度	±5% (入力電圧 DC1000V~1800V) -10~+5% (入力電圧 DC900V~1000V)
	周波数	60Hz±1Hz
	歪率	5%以下 (定格点における)
その他	周囲温度	-10°C ~ +40°C
	制御電源	0.4kW (起動時2kW、100ms)
	効率	90%以上 (定格時)
	騒音	65dB (A レンジで1m 離れた地点) 以下
	非停電離線時間	30msec 以下 (DC1500V 100%負荷時)

4.1 補助電源装置 (SIV) の概要

インバータ装置外観 (正面) を図11に示す。

また、インバータ装置外観 (裏面) を図12に示す。

装置正面より見て左端より高圧入力接触器、制御ユニット及び継電器盤、2台のパワーユニットとその間に交流フィルタリアクトルが配置されている。

装置裏面には、直流フィルタコンデンサ・交流フィルタコンデンサ・充放電抵抗器と放電用接触器・初充電用サイリスタ

ユニット等が収納されている。

制御ユニット収納スペースには、メンテナンス時に取り扱う「耐圧試験コネクタ」・「試験スイッチ」を集中配置し、メンテナンス性に配慮している。

制御ユニットは、SIVを制御する機能の他に機器モニタ機能及び列車情報制御システムとの伝送機能が内蔵されている。機器モニタ機能はSIV運転状態の表示や記録、及びその表示を行う。また、伝送機能は機器モニタで収録したデータを列車情報制御システムへデータ伝送を行う。

パワーユニットは冷却器・IGBT・ゲート回路により構成され、また低インダクタンス構造とすることにより、スナバ回路を不要とした。

素子の冷却にはヒートパイプを使用し、冷媒には純水を使用することで環境性を考慮した装置としている。直流フィルタコンデンサには長寿命化を図るために、高耐圧フィルムコンデンサを使用している。

また、別箱のトランス・フィルタ装置には電車線に有害な高調波電流を流出させないための直流フィルタリアクトル・離線保証時間確保用直流フィルタコンデンサ・絶縁降圧用の三相出力トランス・三相元接触器により構成されている。

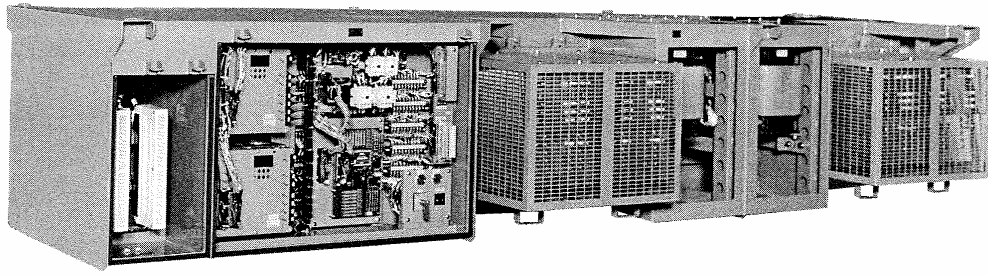


図 1 1 補助電源装置外観（正面）

Fig.11 SIV Inverter (front view)

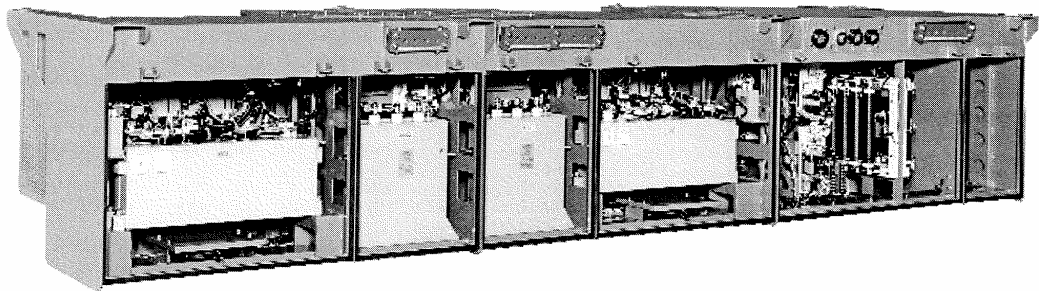


図 1 2 補助電源装置外観（裏面）

Fig.12 SIV Inverter (rear view)

4.2 補助電源装置（SIV）の特徴

主回路方式は、2in1型IGBTを使用した2レベルPWMインバータ回路により構成されている。

インバータ部は、デバイスとしてIGBTを使用することにより高周波動作を行い、低騒音化・出力波形の歪率の低減、及び三相交流フィルタ回路部品の小型軽量化を実現した。

1台のSIVには2台のインバータが搭載されており、三相出力変圧器の二次側で各々のインバータ出力が並列接続されている。なお、高速度遮断器・直流フィルタリアクトル等の入力部は共通とし一系とすることで、システムの小型化を実施している。

本SIVは、車両間を渡る三相交流出力の並列運転を採用し、合計4台のインバータ出力が並列運転を行っている。

SIVの制御にはマイクロプロセッサ（MPU）を採用し、瞬時値制御を行うことで、入力電圧変動及び三相同期運転（並列運転）時においても、常に安定した三相出力電圧を出力する。

4.3 並列方式補助電源装置の特徴について

本SIVの特徴を下記に示す。

1) 冗長性

本並列運転方式では三相幹線が編成間で引き通しになっているため、インバータが最大3台停止しても三相幹線は停電せず、重要負荷機器の電源が継続して確保できる利点がある。

2) 一斉起動

起動順序に親機・子機の区別がなく、全インバータで一斉起動を行うことにより、従来単機型のSIVとほぼ同等の時間で起動可能としている。

3) 速やかな並列再投入

片群が停止状態から再起動する場合、出力電圧確立後、速やかに幹線電圧と同期し、並列再投入することを可能としている。

4) 均一な負荷分担

出力電圧制御に親機・子機の区別がなく、互いのインバータの出力電流が均一となるように制御するため、装置の稼働率が均一であり、寿命的にも有利である。

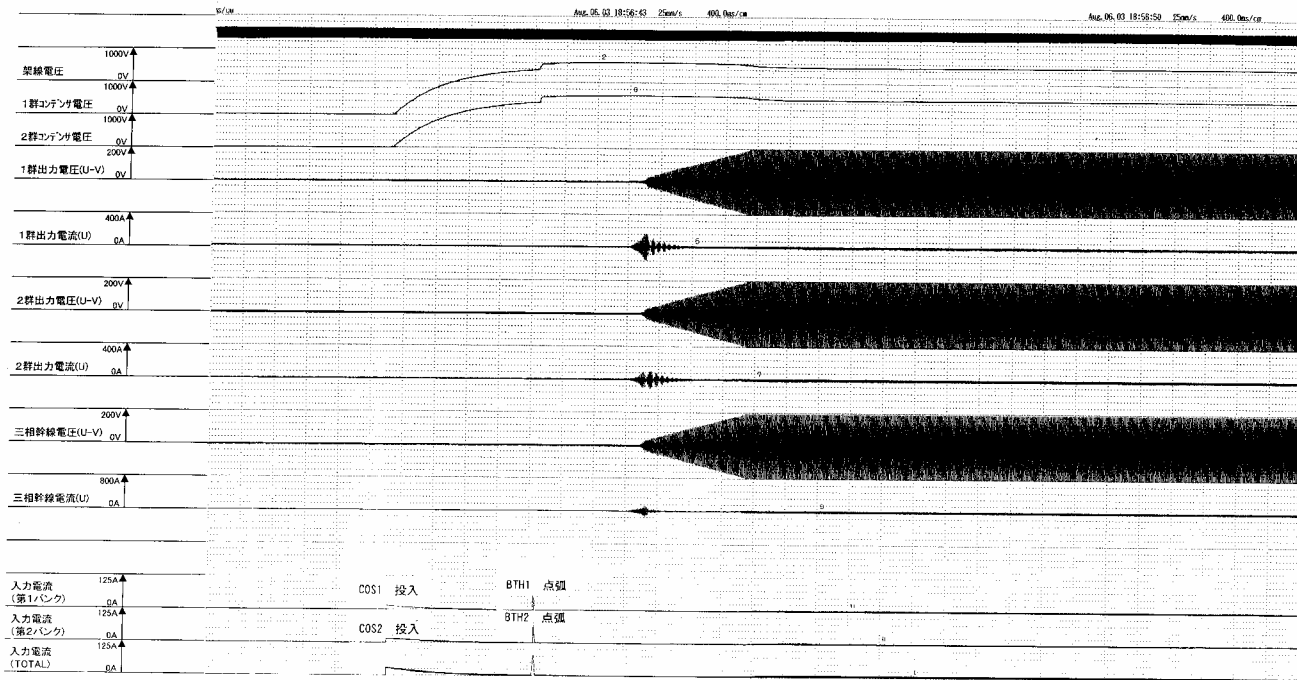


図 13 一斉起動オシログラム
Fig.13 Oscillogram of System Operation

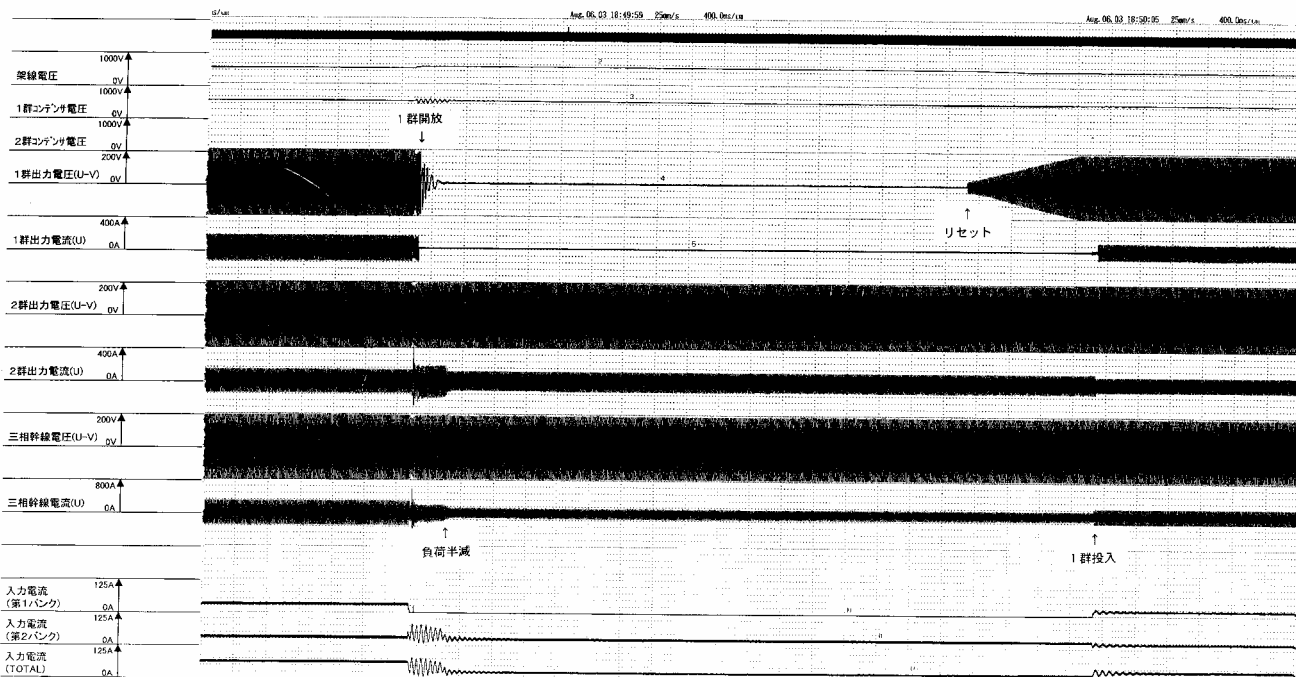


図 14 並列解体・再投入試験 オシログラム
Fig.14 Oscillogram of parallel Re-injection

6. むすび

京都線の新特急列車として9300系車両は、平成15年10月14日から営業運転を開始し順調に稼動している。

この車両は、京都線で活躍している6300系の後継車両として新造された。

最後に、この9300系の車両制御システム（走行および補助電源システム）の完成に多大なご指導を賜った阪急電鉄株式会社、ご協力頂いた関係メーカ各位に厚く御礼申し上げます。

執筆者略歴



星 吉輝

1986年入社。相模工場鉄道設計部にて車両用VVVFインバータ装置の開発設計に従事。本社鉄道本部技術部を経て、現在営業本部交通システム技術グループ大阪駐在に所属、車両システムエンジニアリングに従事。



山口 邦晴

1992年入社。横浜工場品質保証部、設計部にて車両用回転機の開発設計に従事。現在、生産本部横浜製作所交通設計グループに所属、電機設計チームにて電動機設計に従事。



久保 厳之

1992年入社。技術研究所、鉄道設計部、鉄道品証部を経て、現在、生産本部横浜製作所交通設計グループに所属、制御器設計チームにて電源システム設計に従事。



野村 英児

1994年入社。相模工場鉄道設計部にて車両用制御装置の開発設計に従事。現在、生産本部横浜製作所交通設計グループに所属、制御器設計チームにて走行システム設計に従事。