

# 交通変電システムへの自励式インバータの適用

Application of Self-Commutated Inverters to Railway Substation Systems

加賀 重夫  
S. Kaga

伊藤 健治  
K. Itou

伊藤 秀夫  
H. Itou

堀江 正則  
M. Horie

渡辺 幸夫  
Y. Watanabe

増山 隆雄  
T. Masuyama

新幹線を代表とする電気鉄道は、社会ニーズや発展にこたえるためさまざまな技術革新が行われてきた。近年の高速・大量輸送機関としての発展は、一つに電力需給の増大により支えられているが、一方で電力効率利用や電力負荷としての質向上などの努力によることも重要なポイントである。そのような技術革新に対してパワーエレクトロニクスの大きな貢献があることは言うまでもないが、近年さらにGTO(Gate Turn Off thyristor)インバータをはじめとする大容量自励式変換器の本格的実用化時代を迎えている。ここでは、現在および将来の交通変電システムへの自励式インバータの適用事例として、21世紀を支える超電導磁気浮上式鉄道の山梨リニア実験線向け大容量電力変換設備および東海道新幹線で本格稼働している電圧変動抑制装置用の大容量自励式インバータについて紹介する。

Various technical innovations have been made to electric railway systems in response to social demand. The recent development of high-speed mass transportation systems has been largely supported by efficient power utilization and improved load quality, these being two areas in which considerable efforts have been made. Power electronics has contributed greatly to these innovations, and we are now looking at practical applications such as large-capacity self-commutated inverters.

This paper introduces two applications of gate turn-off thyristor (GTO) inverters to present and future railway substation systems. These are the large-capacity power conversion equipment for the Yamanashi experimental line of the superconducting magnetic levitation (maglev) system, and the voltage fluctuation suppression system in actual service in the Tokaido Shinkansen.

## 山梨リニア実験線向け電力変換装置

Power Converter of Yamanashi Maglev System

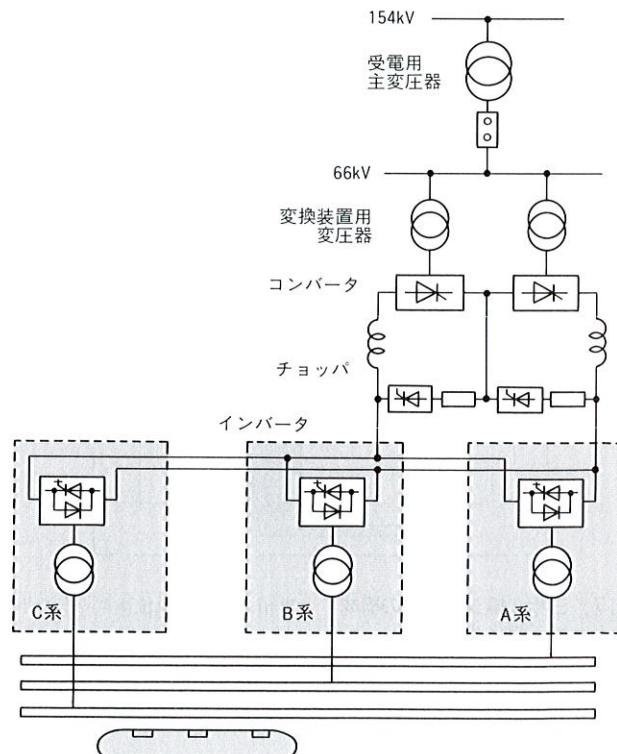


図1. システム構成 電力変換器の主回路構成を示す。  
System configuration

ータ装置に供給されている。山梨リニア実験線では、通電コイルを3系(A系、B系、C系)に区分し、車両の走行に併せて、3系のインバータ装置から順次電力を供給することで、車両を連続的に走行させている。

### 3 変換装置の概要

電力変換装置の主回路諸元について各装置の概要を以下に示す。

#### 3.1 コンバータ

コンバータは、大容量装置として実績が多い他励式を採用している。したがって、交流電源系にフィルタ、調相装置を設け無効電力の調整を行っている。コンバータの構成は、電源系への高調波の影響をより抑えるため、24相サイリスタ整流器として運転する。主要諸元を表1に示す。

表1. コンバータの主要諸元

Specifications of thyristor converter

主回路定格	容量 : 69 MW 直流電圧 : 6,900 V 直流電流 : 10,000 A
主回路構成	三相ブリッジ×8
光サイリスタ	6,000 V-2,500 A
素子構成	2S-1P-6A
冷却方式	純水循環水冷方式

#### 3.2 チョッパ

チョッパは、車両側からの回生電力を抵抗器で消費させ、回生ブレーキ力を確保するために設置されている。回生ブレーキは常用ブレーキであり信頼性が要求される。したがって、チョッパの構成を5並列とし、1並列故障の場合でも、その回路を切り離し運転継続が可能な冗長化システムになっている。主要諸元を表2に示す。

表2. チョッパの主要諸元

Specifications of GTO chopper

主回路定格	容量 : 19 MW 直流電圧 : 7,110 V 直流電流 : 2,672 A
主回路構成	2段×5並列
制御方式	PWM制御 (キャリア周波数: 300 Hz)
GTO	4,500 V-3,000 A
素子構成	2S-1P
冷却方式	純水循環水冷方式

#### 3.3 インバータ

インバータは、単相ブリッジ4段で一相を構成している。

インバータでは、出力の大容量化を図るために出力変圧器を使用して、電圧形単相インバータ出力を4段に多重化している。主要諸元を表3に示す。

表3. インバータの主要諸元

Specifications of inverter

主回路定格	容量 : 38 MVA/1系 出力電圧 : 3,530 V×4段 出力電流 : 960 A
主回路構成	単相ブリッジ×4段×三相
制御方式	PWM制御 (キャリア周波数: 500 Hz)
損失低減対策	アノードリアクトル回生
GTO	4,500 V-3,000 A
素子構成	4S-1P-4A
冷却方式	純水循環水冷方式

#### 3.4 各主回路装置の配置

各主回路装置の配置を図2に示す。機器の配置はシステム構成と同一順で、コンバータ、チョッパ、インバータとなっている。

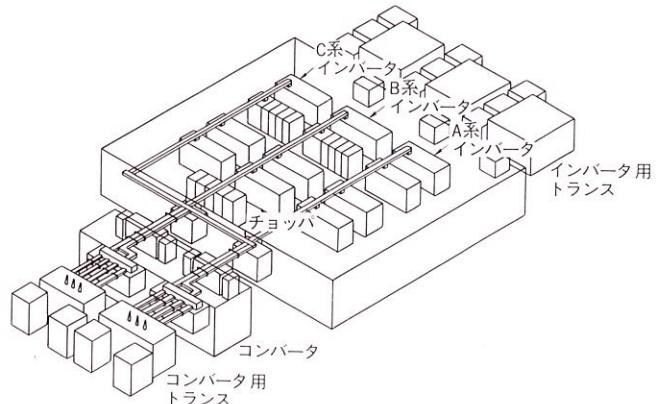


図2. 主回路システムのレイアウト

主回路装置のレイアウト概要を示す。

System layout

### 4 制御方式の特長

山梨リニア実験線向け電力変換装置の制御装置について各装置の特長を以下に示す。

#### 4.1 コンバータ

コンバータは、力行中の直流電圧を一定に制御するための直流電圧制御とブリッジ間の直流電流をバランスさせるための電流バランス制御を行っている。電流バランス制御ではコンバータの運転群が変化した場合でも、つねにバラ

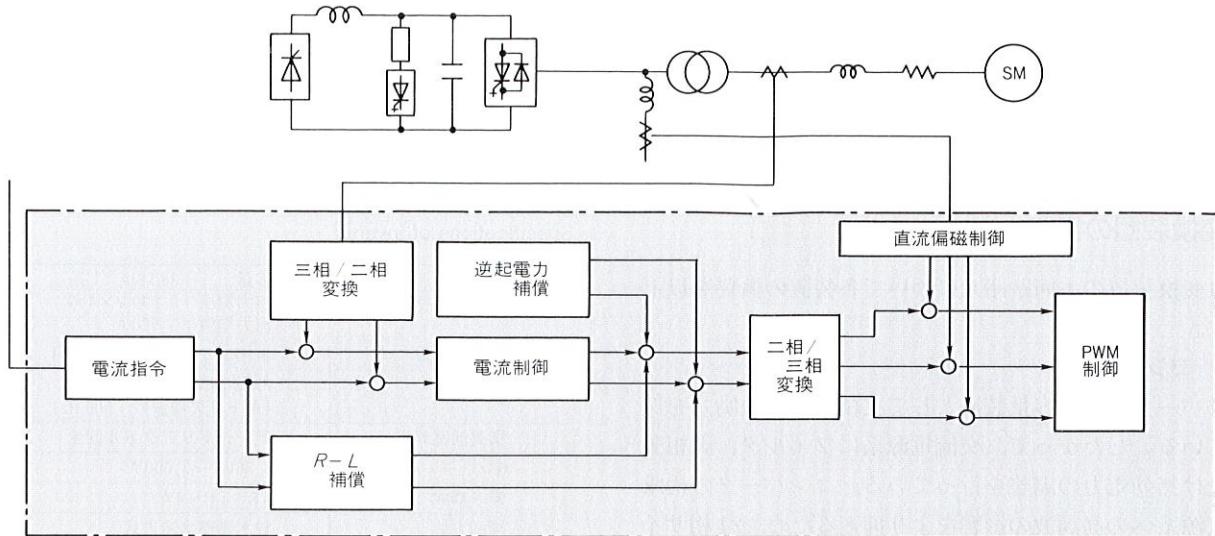


図3. インバータ制御構成 インバータの出力電流を検出し、つねに電流指令値に一致するように制御する。

Inverter control block diagram

ンス制御が行えるようにゲイン補正を変更することで制御している。

#### 4.2 チョッパ

チョッパは、コンバータの最低直流電流をつねに流すようになる直流電流制御および回生時に直流電圧を一定に制御する直流電圧制御である。

#### 4.3 インバータ

インバータの制御構成を図3に示す。この装置は、与えられた電流指令値に追従して出力電流を制御する。制御方式の主な特長について以下に示す。

- (1) インバータの出力高調波を抑制するため、PWM(パルス幅変調)周波数を500Hzにし、単相の各アームおよび4段の回路でスイッチング位相をずらして等価的なPWM周波数は4kHzとしている。
- (2) 電流制御回路では、出力電流の検出帰還信号に加え、線路やLSM電機子コイル抵抗、インダクタンスの値、逆起電力情報をあらかじめデータとして入力し、電流制御回路に対して補償することで、インバータの出力電圧を決定している。
- (3) インバータ出力変圧器の直流偏磁抑制制御として、変圧器の巻線にバイロットリアクトルを採用し、リアクトルに流れる電流から直流分が発生しないように制御する偏磁抑制制御を行っている。

## 5 あとがき

この装置は、山梨リニア実験線都留変電所に設置され、現在調整中である。今後最高速度550km/h走行を目指して各種試験を実施する予定である。

なお、この装置の開発は、財團法人鉄道総合技術研究所が国庫補助を受けて実施したものである。

(加賀／伊藤健／伊藤秀)

## ■ 電圧変動抑制装置への応用

Application to Voltage Fluctuation Suppression System

### 1 まえがき

電力需要の増加に伴い、電力の質に対する要求は近年高まりをみせている。新幹線をはじめとする交流電気鉄道では、き電電圧を高くして変電所数を少なくできるなどの特長がある一方、単相給電や間欠的な電力使用、低力率などの特異性をもっている。これらは三相電力系統から見ると電圧不balanceや電圧変動などの影響を受けることになる。

ここでは、東海道新幹線の新高塚変電所に設置した大容量自励式変換器による電圧変動抑制装置(SVG)について、その概要と技術内容について紹介する。

### 2 システム概要

図4は新高塚変電所SVGのシステム構成を示している。新幹線のき電電圧は154kVの系統電源1、2をき電変圧器Tr-fで降圧して供給されている。SVGは同じく154kV系

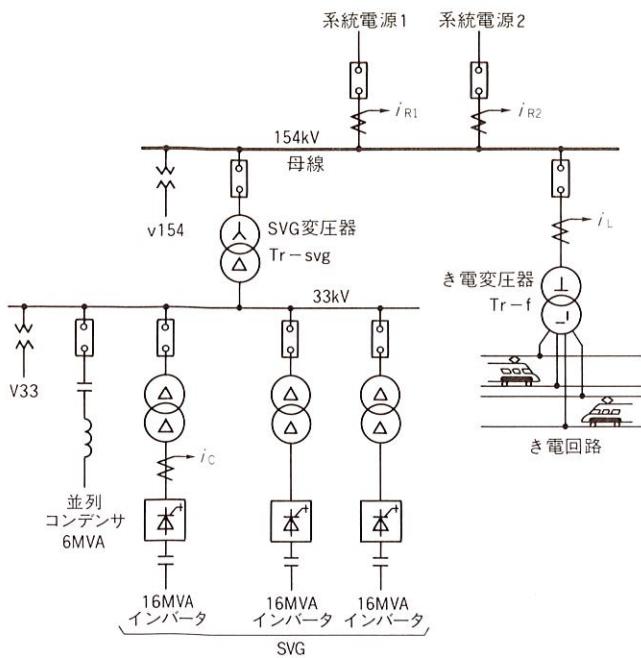


図4. SVGシステム構成 き電変圧器の1次側電流 $i_L$ を検出し、無効電力などを補償して154 kV系統の電圧変動を抑制する。

System configuration of SVG

系統をSVG変圧器Tr-svgで降圧された33kV系統に接続されている。SVGは16MVAのGTOインバータ3台により構成され、き電変圧器Tr-fの一次側電流を検出して154kV系統の電圧不balanceや電圧変動を抑えるように動作している。各GTOインバータはそれぞれ独立に制御を行うことで、1台または2台のインバータ故障にたいして残りのインバータによる運転継続が可能なシステムになっている。

### 3 GTOインバータの概要

表4にGTOインバータの主要諸元を、図5に主回路構成を示す。インバータ変圧器Tr-INVの内部漏れインピーダンスが33kV系統との連系インピーダンスを兼ねるものとし、

表4. GTOインバータの主要諸元

Specifications of GTO inverter

出力容量	16 MVA
インバータ構成	単相×6段多重接続×三相
方式	電圧形PWM キャリア周波数：500 Hz
単相出力電圧	950 V
単相出力電流	936 A
直流電圧	2,250 V
使用 GTO	4,500 V-3,000 A
素子構成	I S-I P-4 A
冷却	純水循環水冷方式

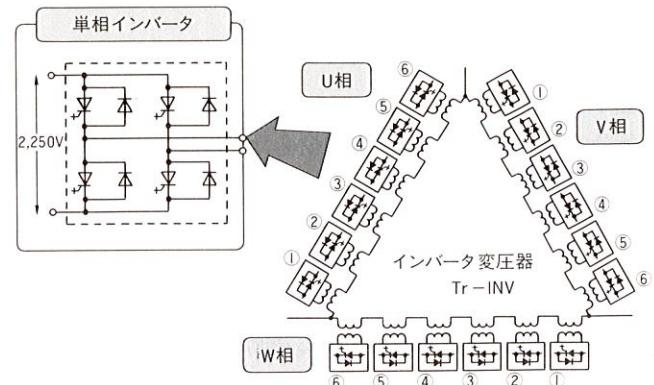


図5. GTOインバータ主回路構成 単相GTOインバータを変圧器により多重接続している。

Configuration of GTO inverter

1次巻線は△結線、2次巻線はオープン△結線を採用している。各2次巻線には単相GTOインバータを接続し、6段多重化することで大容量化している。また、各単相インバータはキャリア周波数500HzのPWM方式を採用している。すなわち、単相ブリッジ出力電圧のリップル周波数を1kHzに、6段多重した出力電圧の等価リップル周波数を6kHzとして、リップル電流を少なくするとともに高速な制御性能を実現している。GTOのスイッチング周波数が高い場合には、GTOのスナバ回路による損失が大きくなるが、このGTOインバータではスナバエネルギー回生回路を用いることで、97%以上の変換器効率を得ている。半導体デバイス(GTO、ダイオード)、アノードリニアクトルなどの主要用品は水冷方式を採用し、コンパクト化を図っている。図6に16MVA GTOインバータの外観を示す。

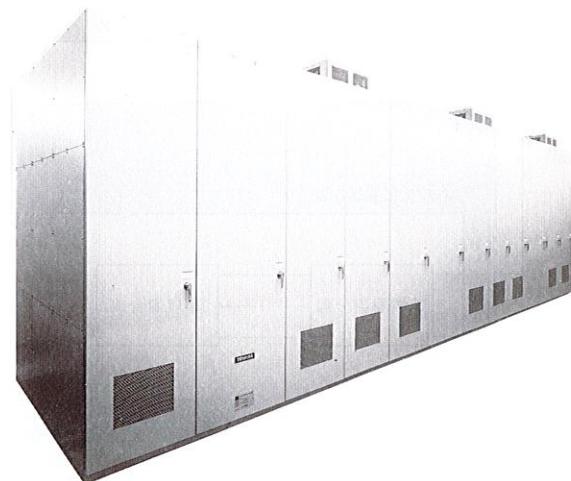


図6. 16 MVAインバータ 4.5 kV-3 kAのGTOを使用した変換器本体。

External view of 16 MVA GTO inverter

## 4 制御方式の特長

図7は制御構成を示すもので、この電圧変動抑制装置では無効電力および逆相電流の補償を行うことで、電圧変動、電圧不平衡を抑制している。

制御方式の主な特長について以下に示す。

- (1) SVG変圧器の受電時に発生する励磁突入電流による電圧変動防止のため、あらかじめGTOインバータを起動し、遮断器を同期投入する逆励磁方式を採用している。
- (2) 电流制限回路としてAPC(アドバンストパワーコントロール)制御(図8)を採用し、定格を超える列車のセクション突入などの急激な負荷変動がある場合でも、つねに無効電力や逆相電流の変化分を検出できるよう補償ゲインを可変することで、電圧変動などを最適に抑制できる。
- (3) 負荷電流変化量に応じて自動的に内部補償ゲインを調整することにより、SVGシステムの損失をつねに最少にしている。

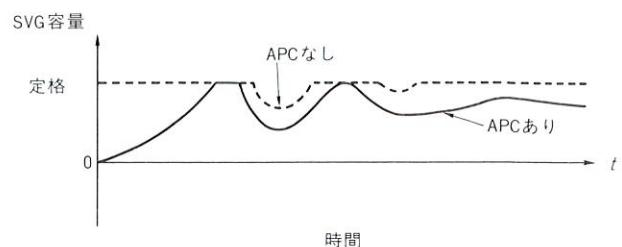


図8. APC方式 定格を超える指令に対して自動的に内部ゲインを調整し、つねに信号の変化分を補償するように制御する。

Advanced power control

## 5 電圧変動抑制評価結果

図9は新高塚変電所において測定した車両運行時の電圧変動と各部電流の動作波形を示す。期間(A)に着目した場合、SVGの出力電流と系統インピーダンスの積で求めた補償前の電圧変動 $\Delta V_L$ が3%あるのに対して、実測値の補償後電圧変動 $\Delta V_R$ は0.6%以下に抑制されていることが確認

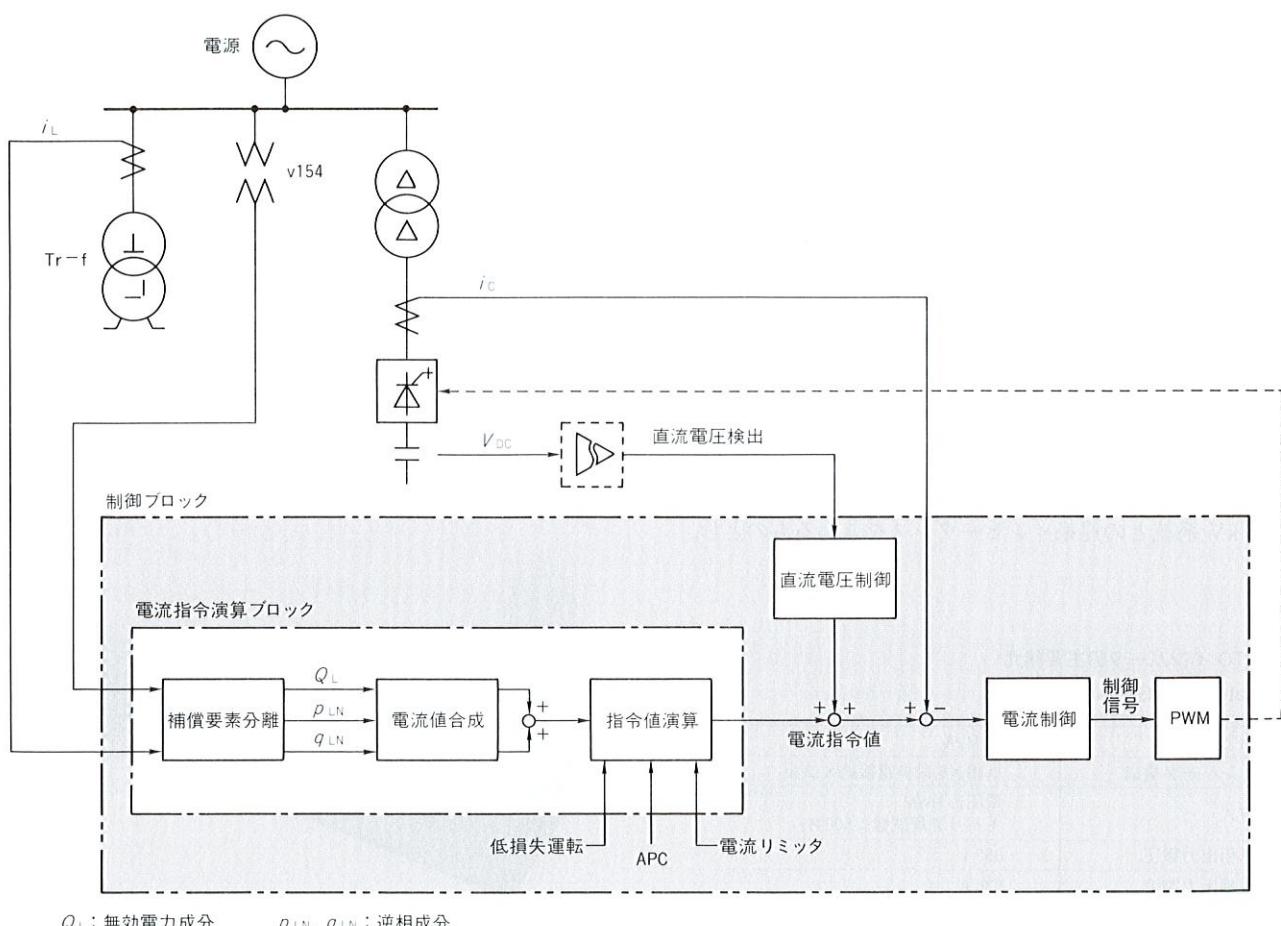


図7. 制御構成 負荷電流  $i_L$ から電流指令値として無効電力、逆相電流成分を検出し、インバータ出力電流を制御している。

Control block diagram

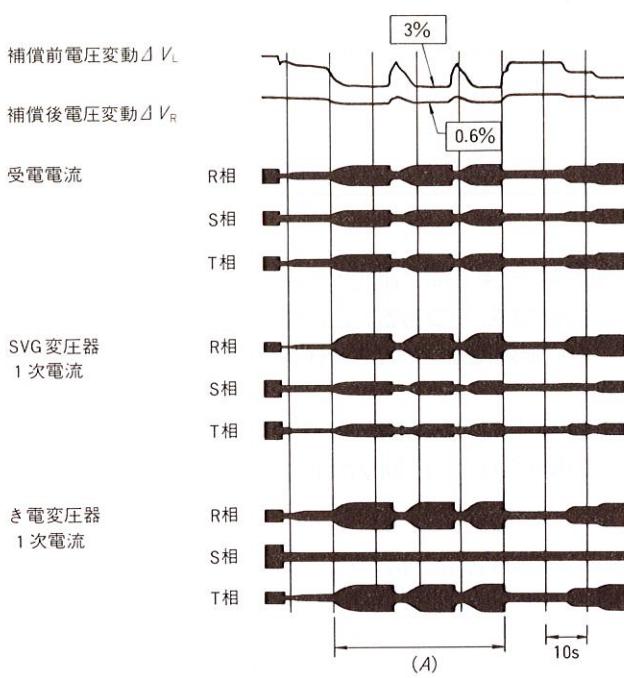


図9. 電圧変動抑制動作波形 負荷電流の不平衡や急激な変化に対して、受電電流の平衡化、電圧変動の抑制が図られている。

Test data for voltage and current imbalance compensation

できる。また、負荷のき電変圧器の三相電流で不平衡が発生しているが、受電電流ではほぼ平衡した三相電流が流れていることから不平衡補償の効果が確認できる。

## 6 あとがき

東海道新幹線の新高塚変電所で稼働中の48MVA SVGシステムについて概要を紹介し、新幹線車両のセクション出入時の急激な電力変動に対して、当初の電圧変動抑制要求を十分満たすことが確認された。

今後、ますます高速、大量輸送が進展すると思われるが、交通変電システムにおけるパワーエレクトロニクス応用の

領域はさらにひろがることが予想される。特に高速制御性をもつ自励式変換器技術の本格的実用化により、多様なニーズに十分こたえられる地盤が固まったといえる。

(堀江／渡辺／増山)

## 文 献

- (1) 田上芳郎, 他 : 5 MVA GTO フリッカ抑制装置, 東芝レビュー, 43, 4, pp.339-342 (1988)
- (2) A. Iizuka, et al : Self-Commutated Static Var Generator at Shintakatuka Substation, Proceedings of IPEC-YOKOHAMA 1, pp.609-614 (1995)

### 加賀 重夫 Sigeo Kaga

JR総合技術研究所浮上式鉄道開発本部主任技師。  
浮上式鉄道用電力変換システムの開発に従事。  
Railway Technical Research Institute

### 伊藤 健治 Kenji Itou

交通事業部浮上式鉄道システム技術部主幹。  
浮上式鉄道電力変換システムの開発に従事。  
Transportation Equipment Div.

### 伊藤 秀夫 Hideo Itou

府中工場パワーエレクトロニクス部主務。  
電力変換装置の開発設計に従事。  
Fuchu Works

### 堀江 正則 Masanori Horie

東海旅客鉄道建設工事部新幹線電源増強課課長代理。  
変電設備の保全・設計業務に従事。  
Central Japan Railway Company

### 渡辺 幸夫 Yukio Watanabe

府中工場パワーエレクトロニクス部主査。  
自励式インバータの開発設計に従事。  
Fuchu Works

### 増山 隆雄 Takao Masuyama

交通事業部交通電力制御システム技術部。  
新幹線用受変電システムの設計に従事。  
Transportation Equipment Div.