

ダブルコンバータ

原田貴弘 Takahiro Harada
楠本英伸 Hidenobu Kusumoto

キーワード 省エネルギー、定電圧制御、IGBT、PWM制御

概要

従来の直流き電設備は、ダイオード整流器と回生インバータを組み合わせ、もしくはダイオード整流器と回生電力を抵抗器で消費させるか、蓄電媒体に蓄えて有効利用する方式がとられてきた。ダブルコンバータは、サイリスタ整流器とIGBTインバータを一体化した設備で、交流遮断器・直流遮断器及び変圧器を共有することで省スペース化・設備の簡略化を図るものである。

加えてサイリスタ整流器の採用で、直流出力電圧一定制御ができ、またダイオードと同様な出力電圧変動率特性を持たせることもできる。またIGBTインバータの採用で、高調波を抑制することで外部フィルタが不要となり、一層の高速応答・高効率を実現し、従来形インバータの弱点を克服した。



ダブルコンバータ

1 まえがき

電気鉄道は、直流き電システムと交流き電システムに大別される。電気鉄道車両は架線、第三軌条もしくはパワーレールから取り込んだ電力で車両のモータを回して走行する。また車両が減速・停止するときに使われる回生ブレーキで発生した電力は、他の車両へ供給される。回生ブレーキを利用することで、車両は機械式ブレーキの使用を軽減できるため、ブレーキシューの摩耗を低減でき、メンテナンスコストを削減できる。また回生した電力を有効利用することで省エネに貢献できる。

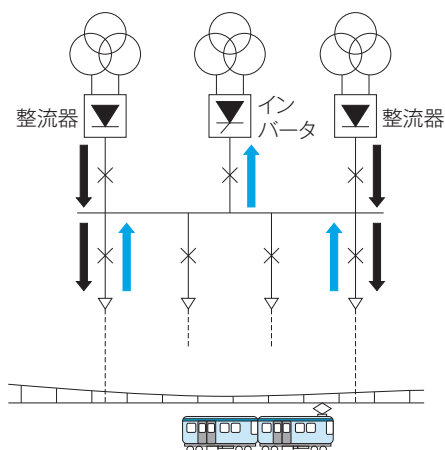
直流き電システムには、一般的に交流を直流に変換するダイオード整流器が広く導入されてきた。また車両の余剰電力を吸収する地上設備として、当社は交流電源へ逆送電する方式（回生インバータ）、抵抗器で消費する方式（KAISEI PLUS）、蓄

電素子充放電方式（CAPAPOST^{キャパポスト}）を提供し、国内外で多く採用されている。

本稿では、整流器と回生インバータの両機能を兼ね備えたダブルコンバータを開発したので紹介する。

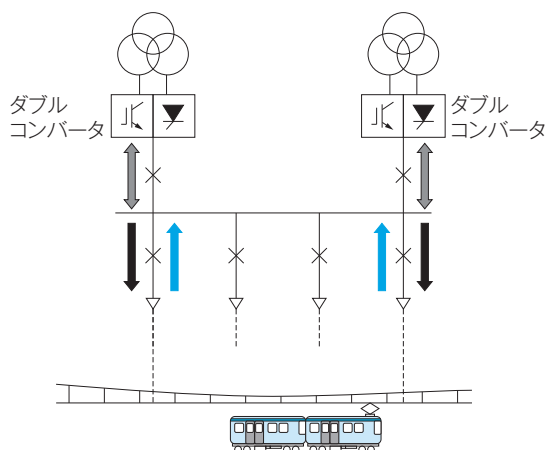
2 直流き電システム概要

第1図に回生インバータを配置した直流き電設備の構成を、第2図に蓄電装置・抵抗装置を配置した直流き電設備の構成を示す。これらの直流き電変電所は、車両へ電力を供給する整流器と余剰回生電力を吸収する設備が別々に配置されていた。そこで当社では、電力を供給する整流器と余剰電力を吸収する回生インバータを組み合わせることで、省スペース化・設備の簡素化及び初期投資の軽減を図った。



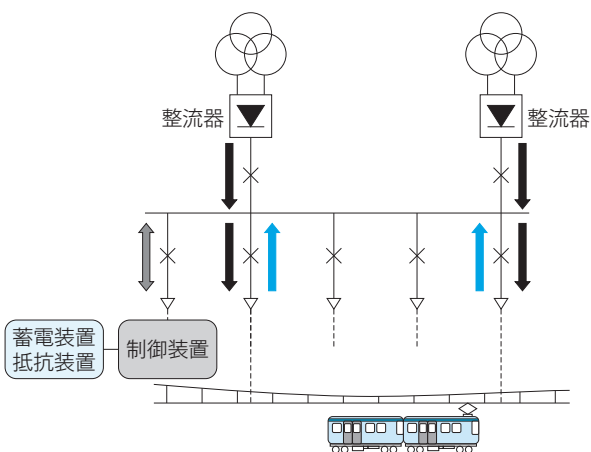
第1図 回生インバータを配置した直流き電設備構成

整流器とインバータが独立した配置となっている。



第3図 ダブルコンバータのシステム構成

ダブルコンバータ導入の直流き電設備構成を示す。ダブルコンバータは並列運転している。



第2図 蓄電装置・抵抗装置を配置した直流き電設備構成

余剰回生電力は地上設備の抵抗器で熱消費されるか、蓄電媒体に充電して必要に応じて放電する。

3 ダブルコンバータ

3.1 装置概要

従来のダイオード整流器の場合、車両の負荷率に応じてき電電圧が一定の割合で変動する。また車両の回生時には、き電線電圧は車両の回生に従って電圧が押し上げられる。また従来の回生インバータはサイリスタを使用していたため、高調波の発生や効率の低さが弱点となっていた。

本稿で紹介するダブルコンバータは、サイリスタ整流器とIGBTインバータを組み合わせ、き電電圧を負荷に応じて変動させたり、一定電圧に保持させたりすることで、既設路線や新規路線に導

第1表 ダブルコンバータの基本仕様

整流器とインバータの機能特性を示す。

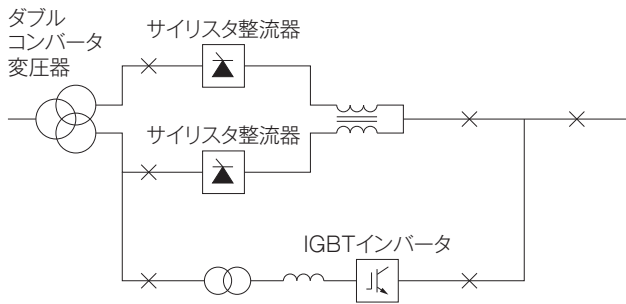
項目	整流器仕様	インバータ仕様
回路構成	サイリスタ位相制御整流器	PWM変換装置
容量 (kW)	2000	500
定格直流電圧 (V)	750	750
過負荷耐量	100%連続, 150% 2時間, 300% 1分	100%連続, 300% 1分
定格電圧設定範囲 (V)	600~775	620~850 (1V単位で設定可変)
最大直流電圧 (V)	900	900
交流定格電圧 (V)	640	460
周波数 (Hz)	50/60	50/60
冷却方式	自冷	風冷
周囲環境	温度 -5~40℃ 湿度 15~95% 標高 1000m以下	
適用規格	IEC, JEC	

入できる機器仕様とした。

第3図にダブルコンバータのシステム構成を、第1表にダブルコンバータの基本仕様を示す。

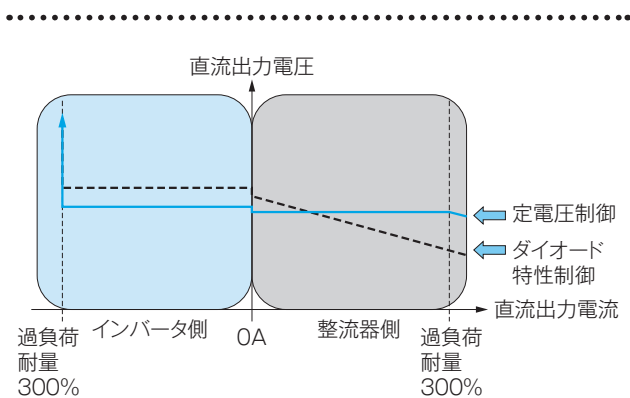
3.2 ダブルコンバータの機能及び特長

第4図にダブルコンバータの単線接続図を、第5図に電圧・電流特性を示す。ダブルコンバータは、サイリスタ整流器とIGBTインバータが交流遮断器・直流遮断機及び変圧器を共有しているため、据え付け面積の縮小化に貢献できる。



第4図 ダブルコンバータの単線接続図

ダブルコンバータの装置概略構成を示す。



第5図 ダブルコンバータの電圧・電流特性

整流器及びインバータの電圧と電流特性を示す。

またダブルコンバータは、車両が力行時にサイリスタ整流器で電力を供給する。出力電圧は設定範囲内で、ダイオードと同様に負荷に応じて一定の割合で電圧を変動させることができる。そのため、既にダイオード整流器が導入されている設備に対しては、ダイオードモードで運転することで隣接する変電所との間で負荷バランスを保つように運転することができる。また新規の路線では、電圧一定制御することで以下のメリットが期待できる。

- (1) き電時の電力損失を軽減
- (2) 変電所間の電位差を軽減することで漏れ電流を軽減
- (3) IECで要求されるタッチボルテージの軽減によって対地間電圧抑制装置を削除

従来使用されていたサイリスタ式インバータでは、応答速度の関係から整流器との間に循環電流を流し、車両からの急峻に立ち上がる回生電流に追従していた。加えて、循環電流と回生電流の見

極めのため、複雑な制御回路が必要であった。今回IGBTを採用したことで、整流器との間で循環電流が不要となり、また応答速度が1ms以内と格段に早くなった。さらに、IGBT方式によってPWM制御方式を採用したことで高調波の発生が減少し、外部フィルタが不要となった。

また当社ダブルコンバータの特長として、万が一サイリスタ整流器もしくはIGBTインバータに不具合が発生した場合、不具合の発生した機能のみを分離することができる。機能分離することで可用性を高め、電気鉄道き電システムの信頼性向上に寄与できる。

そのほかの付加機能として、以下の3つが挙げられる。

- (1) 変電所電圧補償機能 受電電圧の変動に合わせてインバータの動作設定値を調整する機能
- (2) 検出電圧補正機能 路線抵抗で電圧降下に対してインバータが確実に動作するよう補償する機能
- (3) 実負荷試験機能 車両運行スケジュール変更に伴う回生パターンでの試験を模擬する機能

3.3 HMI (Human Machine Interface)

ダブルコンバータはタッチパネルを搭載しており、カラーLCDの画面上から機器の運転・停止及び各種設定変更ができる。また機器の状態監視・運転履歴及び電圧・電流などを計測できる。万が一故障が発生した場合、オペレータが現場に駆け付けて機器の状態及び故障項目をいち早く認識できるように、LCDのほか集合形故障表示器を取り付けた。第2表に仕様を示す。

4 EMC (Electro-Magnetic Compatibility) 試験

鉄道用電気設備は、IEC62236によってEMC試験として、外部からの電波などに対する機器の耐性試験が義務付けられている。IEC62236は-1 (General), -2 (Emission of the whole railway system to the outside world), -3-1 (Rollingstock-Train

and complete vehicle), -3-2 (Rollingstock - Apparatus), -4 (Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus),

-5 (Emission and immunity of fixed power supply installations and apparatus) から構成されており、今回はIEC62236-1, -2及び-5に従って試験を実施した。また具体的な試験方法に関しては、IEC61000に従った。第3表にEMC試験項目を示す。試験の結果、対象となるすべての試験項目に合格した。

第2表 HMIの仕様

タッチパネルと集合形故障表示器の機能特性を示す。

表示媒体	項目	仕様
タッチパネル	操作ボタン	ダブルコンバータモードの運転・停止操作 整流器モードの運転・停止操作 インバータモードの運転・停止操作 故障復帰
	運転履歴	運転・停止・回生動作
	故障履歴	各種故障履歴
	計測	交流電圧・交流電流 直流電圧・直流電流・電力・電力量
	設定	回生開始電圧値 回生終了電圧値 検出電圧補正電圧降下値 制御角 直流出力電圧値
LED式集合形表示器	状態表示・故障	機器状態表示・重故障項目表示

5 むすび

ダブルコンバータは、サイリスタを両方向に組み合わせた方式、IGBTをPWM制御して両方向通電する方式、IGBTとダイオードを組み合わせた方式など様々な方式が提案されているが、き電設備単体とした場合、初期投資費用に課題が残る。

しかしながら直流電鉄システムとして総合的に考えれば、余剰回生電力の有効利用のみならず、乗り心地の向上、車両メンテナンス費用の削減が

第3表 EMC試験項目

IEC62236-5に基づいたEMC試験項目を示す。

No.	試験項目	試験仕様	適応試験規格
1	EMISSION Test		
1.1	Conducted emission (AC Mains ports)	0.5dB, AV (5.33340MHz, N)	IEC61000-6-4 Table clause2.1
1.2	Conducted emission (Telecommunication ports)	N/A	IEC61000-6-4 Table Clause3.1
1.3	Radiated emission (30-1000MHz)		IEC61000-6-4 Table 1.1
1.4	Radiated emission (1000-MHz)		IEC61000-6-4 Table Clause1.4
2	IMMUNITY TEST		
2.1	Electrostatic discharge	±6kV, ±8kV	IEC 61000-4-2
2.2	Radio-frequency electromagnetic field, amplitude modulated	80MHz-1000MHz 10V/m (r.m.s.) 80% AM, 1kHz	IEC 61000-4-3
2.3	Radio-frequency electromagnetic field, from digital mobile Telephones	800MHz-1000MHz 20V/m (r.m.s.) 1400MHz-2100MHz 10V/m (r.m.s.) 2100MHz-2500MHz 5V/m (r.m.s.) 80% AM, 1kHz	IEC 61000-4-3
2.4	Fast transients	±4kV 5/50ns 5kHz (AC, DC Power Port)	IEC 61000-4-4
2.5	Surges	1, 2/50µs AC Power Port ±4kV (Line to Line) ±2kV (Line to Earth) DC Power Port ±2kV (Line to Line) ±1kV (Line to Earth)	IEC 61000-4-5
2.6	Radio-frequency common mode	AC, DC Power Port 0, 15MHz-80MHz 10V (r.m.s.) 80% AM, 1kHz	IEC 61000-4-6
2.7	Power-frequency magnetic field	16, 7Hz ; 50/60Hz 100A/m (r.m.s.)	IEC 61000-4-8

実現できる。加えて、今回紹介したダブルコンバータを全線に導入することで、タッチボルテージの軽減によって対地間電圧抑制装置を削除することに加え、ブレーキ力を地上設備に任せることで車両の軽量化や車両単価の軽減が期待できる。

最後に、当社製品の製作にあたり、ご指導とご協力をいただいた関係各位に紙面をお借りして厚くお礼を申し上げます次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



原田 貴弘
Takahiro Harada

電鉄システム事業部技術部
海外鉄道用変電設備のエンジニアリングに従事



楠本 英伸
Hidenobu Kusumoto

製品開発部
電力変換装置の開発に従事
