

近年、電気鉄道用(以下、電鉄と略記)変電システムには、地球環境保全、高機能・高性能化、省スペース化、高信頼性、保守性の向上などが求められているが、最近のパワーエレクトロニクス技術、マイクロエレクトロニクス(ME)技術、IT(情報技術)などを駆使することにより、この要求にこたえた新しい機器やシステムが開発されてきている。

当社は、環境保全を考慮した純水を用いたヒートパイプ自冷シリコン整流器、高機能・高性能化を実現する自励式整流器及びアクティブフィルタ、省スペース化が進むキュービクル型ガス絶縁開閉装置、高機能・高性能・保守性の向上などを実現するME型配電盤、デジタル継電器などを開発した。

Railway power supply systems have recently been required to provide environmental preservation features as well as greater functionality, higher performance, space saving, higher reliability, and improved maintainability. New systems and equipment meeting these requirements have been developed using the latest technologies in fields such as power electronics, microelectronics, and information technology.

This paper introduces the following systems and equipment for railway substations: a heat-pipe-cooled rectifier using pure water, for environmental preservation; a self-commutated rectifier and active filter, which realize greater functionality and higher performance; a cubicle type gas-insulated switchgear (C-GIS), whose size is reduced for space saving; and a distribution panel applying microelectronics as well as a digital relay, which offer greater functionality, higher performance, and improved maintainability.

1 まえがき

パワーエレクトロニクスの進歩に伴い、電気鉄道における車両は、交直ともにPWM(Pulse Width Modulation)インバータによる交流(AC)電動機駆動が主流となっている。これに伴い、変電所も回生電力の処理、保護方式の見直しなど徐々に変わりつつある。また、直流(DC)電変電所のシリコン整流器も沸騰冷却方式から、脱温暖化ガスとメンテナンスフリーを目指して、純水を使用したヒートパイプ冷却が開発された。スイッチギアは、省スペース化を目指したC-GIS(Cubicle type Gas Insulated Switchgear)も、第3世代となり、より小型化が進んでいる。一方、変電所監視制御システムも情報技術の進展に伴い、より高機能化が進んでいる。

ここでは、当社が開発した電鉄用変電所の最新の技術について述べる。

2 縦型ヒートパイプ自冷式シリコン整流器

現在、DC変電所の主要機器であるシリコン整流器の冷却方式の主流は、沸騰冷却方式である。今後、冷却効率を向上しながら、更に環境に優しい方式が必要となってくる。

そこで、純水を使用した縦型ヒートパイプ自冷式シリコン整流器を開発した(図1)。この装置の特長は、地球温暖化

物質をまったく使用しないことから地球環境に優しく、また、完全自冷とすることにより、従来の沸騰冷却式の優位性を引き継いだうえでメンテナンスフリーを実現した。

従来の沸騰冷却自冷式シリコン整流器は、オゾン層破壊対策の冷媒としてパーフロロカーボン(PFC)を使用して、沸騰・凝縮の繰り返しにより冷却している。しかし、このPFCは、1997年に開催された京都会議において地球温暖化規制物質の対象となった。

そこで、これに代わる冷媒として環境への影響にまったく

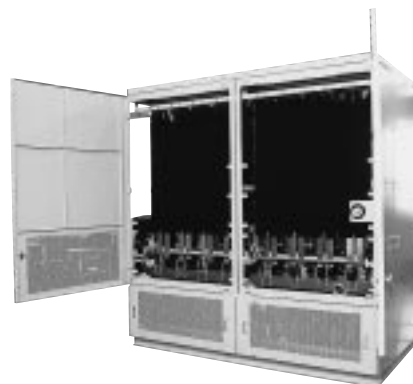


図1. 縦型ヒートパイプ自冷式シリコン整流器 純水使用のヒートパイプ式冷却器を、縦型に効率良く配置したシリコン整流器である。
Heat-pipe-cooled rectifier

問題のない、熱輸送量の大きい純水を使用した高性能ヒートパイプ冷却器を開発してシリコン整流器に適用した。これまで、ヒートパイプは水平配置が一般的であったが、奥行き寸法が大きくなるなどの欠点があった。

これを縦方向に効率良く配置することで、全体の寸法をコンパクトにすることができ、従来の沸騰冷却自冷式とほぼ同じ据付け面積(当社比)とすることができた。更に、溶接部や部品点数を可能な限り減らし、よりシンプルな構造で信頼性の高い装置を実現した。

ヒートパイプの原理を図2に示す。シリコン整流素子の損失熱によりヒートパイプ内部の加熱部から純水を加熱・気化させ、上部放熱フィンで冷却・液化する循環を繰り返すことにより冷却を行う。

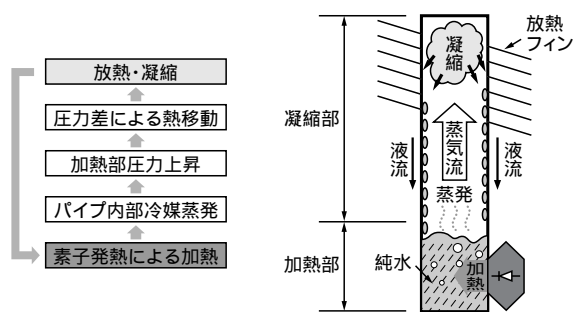


図2. ヒートパイプの動作原理 純水が加熱され気化し、上部放熱フィンで冷却され液化する循環を繰り返す。
Principle of heat pipe

縦型ヒートパイプ自冷式整流器の特長は次のとおりである。

- (1) 高性能純水縦型ヒートパイプの採用
 - (a) 直並列素子枚数は、従来型整流器と同一
 - (b) 据付け面積は、従来型整流器とほぼ同一
- (2) 保守が容易
 - (a) 完全自冷(冷却補機レス)
 - (b) 部品交換が容易な構造で、短時間作業が可能
- (3) 高信頼性

3 PWM整流器

DC電気鉄道の整流装置は、前述のとおりシリコン整流器が主流であるが、近年の回生車両の普及から回生率の向上などを目的に、変電所のDC電圧を一定に制御する方法もとられ、高電圧・大容量光トリガサイリスタ素子を適用した、他励式のサイリスタ整流器が実用化されている。

一方、サイリスタ整流器だけでは、車両からの回生電力を処理することはできないので、AC電源系統へ戻すための電力回生インバータを設置するとともに、受電系統に対する高調波や無効電力の対策をする設備が必要となる。

これに対し、近年大容量の自励式変換器(PWM整流器)が開発されており、優れた電圧制御特性があること、AC系統への高調波が少ないこと、力率1の運転ができること、整流器と電力回生インバータの機能を兼ね備えていることなど、多くの利点があり、次世代整流装置として実用化が期待されている。

PWM整流器の適用素子は、GTO(Gate Turn-Off thyristor)のサイリスタとしての長所とIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)のトランジスタの長所を生かした、新しい素子であるIEGT(Injection Enhanced Gate Transistor)(定格4.5kV・3kA)を適用することにより、GTO方式より低損失で小形化を実現できる見通しを得た。

4 アクティブフィルタ

回生車両の増加に伴い発生する回生電力を、駅設備負荷に供給することで余剰電力を有効活用しているが、この回生された電力には、高調波電流を含んでいる。一方、駅設備のエスカレーター、エレベーターの駆動電源に用いられているインバータなどには、高調波を発生する変換機器が多く採用されている。これらの高調波電流による電圧ひずみは、他の機器に様々な悪影響を及ぼすおそれがあり、この対策としてアクティブフィルタが用いられる。この装置は、出力電圧に比例してパルス幅を変化させるPWM制御を高周波で行う必要性から、高速スイッチング素子のIGBTを用いたインバータ装置で構成され、高調波発生機器と並列に接続される。負荷電流に含まれる高調波電流を検出し、この検出された高調波電流を打ち消すような電流を、この装置から注入することで、高調波電流成分を相殺し、受電点では、クリーンな正弦波電流とすることができる。従来の受動型フィルタでは難しかった2次～25次の任意次数の高調波抑制ができ、複数調波の同時抑制も可能である。また、電源力率を1に改善することもできる。

5 最新のC-GIS

スイッチギアの省スペース、省メンテナンスをコンセプトに、真空遮断器を収納し、低圧力六フッ化硫黄(SF₆)ガスを封入した66kVクラス1号機のC-GISを84年に製品化した。このコンセプトが市場に受け入れられ、現在では、66/77kVクラスを受変電設備の大半がC-GISで占められている。更に、22/33kVクラスも89年に1号機を製品化した。

どちらのクラスも第3世代まで進化しており、モデルチェンジごとに縮小化している。

この縮小化を実現しているのは、独自の真空技術や低圧SF₆複合絶縁技術による真空遮断器、断路器及び接地装置の小型化、外部固体絶縁母線などの各コンポ-ネントの縮小

化,そしてこれらの主コンポーネントを容器内へ合理的に配置させる技術によるものである。鉄道用としてよく使用される主回路構成の容積を,66 kV C-GIS 1号機を100とした場合の各電圧クラスの推移を図3に示す。特に66/77 kVクラスの縮小化率は大きく,第3世代では22/33 kVクラスの第1世代近くまで縮小化を実現している。

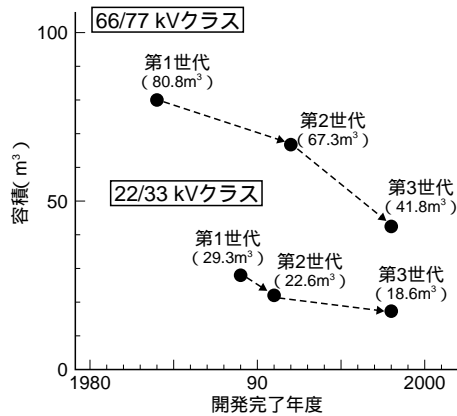


図3 . C-GIS縮小化の変遷 66/77 kVクラスの縮小化率が大きい。
Reduction in size of C-GIS

66/77 kV受電盤の外観を図4に示す。

縮小化により外形寸法だけでなく, SF₆ガスの使用量を削減してきたが,今後も地球温暖化防止の観点から地球環境に適した製品開発を進めていく。



図4 . 66/77 kV C-GIS受電盤 大幅に縮小化を実現した第3世代の77 kV C-GISである。
66/77 kV C-GIS

6 配電盤

6.1 ME型配電盤

最近のデジタル技術の進歩に伴い,これまでのリレーシー

ケンス型配電盤に代わり,ME型配電盤が多く用いられるようになってきた。ME型配電盤に期待するところは,省スペース化,点検の削減(自動化),配線の削減,連動変更の容易さ,保全データ自動収集などの機能の拡張性などが挙げられる。ME形配電盤の外観を図5に示す。一方,ブラックボックス化された配電盤に対して,人に優しく,扱いやすいヒューマンインタフェース(HI)が必要となってきた。



図5 . ME型配電盤 省スペース化,自動点検化,配線の削減,連動変更の容易さ,保全データの自動収集などを旨とした。
Microelectronic type distribution panel for feeding substation

ME型配電盤の構成は,デジタル継電器,HI部,PLC(Programmable Logic Controller)とこれらを相互に接続する伝送部から成り,主な機能を次に述べる。

6.1.1 操作性の向上 HI部には,産業用パソコン(PC)を採用することにより,取扱いに親和性を持たせている。

以下に,産業用PCを採用した監視制御装置(HI部)の主な機能を示す。

- (1) 監視制御機能 機器状態,故障,計測値,運用条件などをCRT(Cathode Ray Tube)画面に表示・警報を行い,制御は,同じくマウスで操作する。
- (2) 計測データ処理機能 デジタル継電器やPLCで収集された計測データの定期的な蓄積と日報,月報作成とフロッピーディスク(FD),光磁気ディスク(MO)などのメディアへデータを保存する。
- (3) 計測・積算データの管理 計測及び積算されたデータに対して上下限値の範囲チェックを常時実施し,範囲を超えた場合には,警報・表示をする。

6.1.2 省スペース化・配線の削減 ME型配電盤は,主要コンポーネントをLANで結合することにより省スペース化と配線の削減を図っているが,コンパクト型遠方監視制御ユニットの開発により,従来,独立盤であった遠方監視制御装置のME型配電盤への収納,及びPLC,デジタル継電器とのLAN結合が可能となり,よりいっそうの省スペース化と配

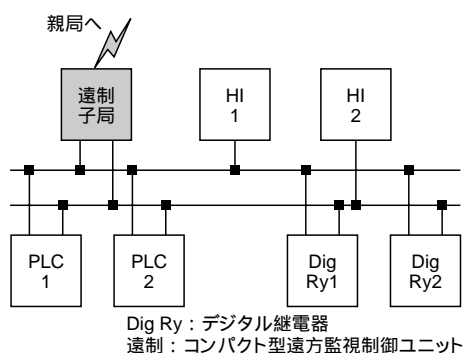


図6 . ME型配電盤コンポーネントのLAN 結合例 LANに直接接続できるコンパクト遠方監視制御ユニットの開発で ,より省スペース化と配線の削減を実現した。

Example of connection for supervisory control unit

線の削減を実現した。ME形配電盤コンポーネントのLAN 結合例を図6に示す。

6.1.3 保全機能の向上 変電所設備の保全機能を向上するため ,デジタル継電器・PLCに次の機能を設けている。

- (1) 事故・故障解析機能 事故や故障発生時に迅速な原因究明ができるよう ,集約型デジタル継電器に以下のデータ収集 ,分析機能を持たせている。
 - (a) 事故発生時の事故電流・電圧波形の記憶
 - (b) 高調波解析・抵抗・リアクタンス特性分析
 - (c) 電流 ,電圧など各回線のデータ計測
 - (d) 故障表示 ,故障履歴 ,システム状態監視
- (2) 保全監視機能 デジタル継電器に取り込んでいない保全データは配電盤PLCで蓄積され ,定期的にHI部へ送って管理される。また ,保守員が変電所へ移動する負担を軽減するため ,保守区PCから配電盤PLCへのモデム接続もできるようにしている。

代表的な監視項目を以下に挙げる。

- (a) C-GIS ,ガス絶縁変圧器のガス温度・圧力
- (b) C-GIS ,ガス絶縁変圧器のコロナ検出
- (c) シリコン整流器の温度
- (d) 遮断器・断路器の応動時間
- (e) 遮断器・断路器の動作回数
- (f) 遮断器の遮断回数

6.2 最近のデジタル継電器動向

6.2.1 大容量デジタル継電器 従来のME型配電盤は ,デジタル継電器・PLC・HI部などから構成されていたが ,最近では1台の大容量デジタル継電器を使用して ,すべての機能を処理できるようになっている。したがって ,1台の装置で保護継電器機能 ,連動機能 ,データ蓄積・解析 ,上位伝送機能など ,すべてを併せ持った装置も採用されてきている。

6.2.2 単機能デジタル継電器 MPU(Micro Processing Unit)技術を応用した単一要素で ,操作の簡単なデジ

タル継電器(Nシリーズ)も製作しており ,この継電器を採用したME型配電盤も納入している。この構成では ,従来の機械式継電器と同様に ,継電器異常時の波及範囲がその要素に限定されるため ,保護システムとしての冗長性が高い。したがって ,二重化の必要がなく ,ME型配電盤のコンパクト化も実現している。

6.2.3 ACき電用デジタル継電器 ACき電方式における保護は ,線路インピーダンスを監視する距離継電器(44F)と電流変化分を監視する選択継電器(50F)で構成し ,電気車負荷の低次調波を利用して感度を切り換えている。しかし ,PWM制御の車両導入に伴い電気車負荷の低次調波が減少し ,力率も良くなってきたため ,これまでの感度切換え方式の見直しが必要となってきた。そこで ,デジタル技術を駆使して ,これまでのスカラー量検出ではなく ,ベクトル計算により電流変化量(I)を検出する50Fとし ,またこの Iにより距離継電器の感度を切り換える ,新しい保護継電方式を開発した。この装置は ,新幹線・在来線を問わず ,すべてのACき電区間対応型装置として適用可能である。

7 あとがき

電鉄変電所は ,車両の発達に対応した電力供給システムを実現する必要があり ,また ,同時に地球環境保全 ,省スペース化 ,低損失化 ,高信頼性 ,高機能化なども要求されている。これを実現するには ,最新の技術を積極的に取り入れていく必要がある。

今後も ,鉄道ユーザーのニーズに対応したシステムを構築するため ,絶えざる開発に取り組んでいく所存である。

文 献

- (1) 佐藤 章 ,ほか .66/77kV超小型C-GISの開発 .電気学会 開閉保護研究会 .SP-98 ,1998-11 ,p.41 -54 .



国井 彦一 KUNII Hikoichi

情報・社会システム社 交通システム事業部 交通電力システム技術部主務。電鉄用受変電設備のシステムエンジニアリング業務に従事。

Transportation Systems Div.



大竹 史郎 OOTAKE Shirou

情報・社会システム社 交通システム事業部 交通電力システム技術部参事。電鉄用受変電設備のシステムエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。

Transportation Systems Div.



大辻 浩司 OOTSUJI Kouji

情報・社会システム社 交通システム事業部 交通電力システム技術部。電鉄用受変電設備のシステムエンジニアリング業務に従事。

Transportation Systems Div.