

# サイリスタ整流器の製品化

高橋 慎 Shin Takahashi  
材津 寛 Hiroshi Zaitu

キーワード 省エネルギー、直流電鉄、電圧一定制御、省エネルギー

## 概要



サイリスタ整流器

直流電気鉄道用変電所の主要機器である整流器には、整流素子にダイオードを用いたシリコン整流器が採用されることが多い。シリコン整流器は、交流側の電圧変動や列車の本数・ダイヤによる負荷変動によって直流電圧が変動してしまう特徴がある。直流電圧変動は、車両の回生効果を低下させるため、直流電圧は、常に一定になっていることが望ましい。

そこで、当社は電圧変動を防止するため、整流素子にサイリスタ素子を用いた整流器を開発し、札幌市交通局に納入した。

## 1 まえがき

札幌市交通局には、東西線・南北線・東豊線の三つの路線があり、現在、東西線の東側の変電所の更新工事が実施されている。東西線は、車両の回生効果を上げるため、変電所の直流き電の送り出し電圧を一定に制御している。直流き電電圧を一定にするためには、南北線や他の鉄道事業者で用いられているシリコン整流器を適用できない。シリコン整流器に使用されているダイオードは、素子のON/OFF制御ができないため、交流側電圧や負荷電流の変動によって直流電圧が変動する特徴があるからである。直流き電電圧を一定に制御するためには、整流素子にスイッチング制御ができる素子を用いる必要がある。

そこで、当社は整流素子にサイリスタを適用した整流器を開発し、1982年に新さっぽろ変電所・南郷変電所に納入した整流器を更新した。本稿では、今

回新たに開発したサイリスタ整流器を紹介する。

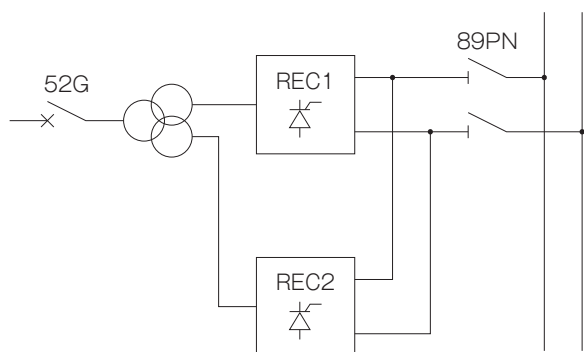
## 2 サイリスタ整流器の仕様及び構成

第1表にサイリスタ整流器の基本仕様を、第1図に単線図例を示す。定格直流電圧は1500V、定格容量は4000kW以下に適用できる。

第1表 サイリスタ整流器基本仕様

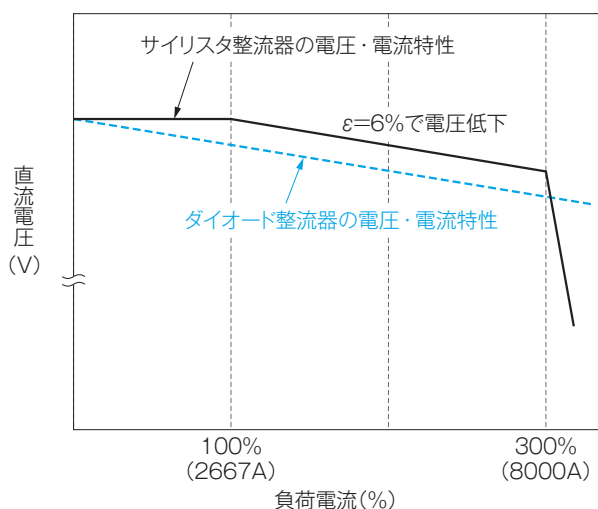
サイリスタ整流器の基本仕様を示す。

項目	仕様
結線方式	二重三相ブリッジ
容量	4000kW
定格直流電圧	1500V
過負荷耐量	クラスD 100%連続、150%2時間、300%1分
交流周波数	50/60Hz
冷却方式	蒸発冷却自冷式（ヒートパイプ式）
適用規格	JEC-2410-2010



第1図 サイリスタ整流器単線図例

サイリスタ整流器の主要部品と構成を示す。遮断器・変圧器・サイリスタユニットで構成される。交流入力で、直流に電力を供給する。



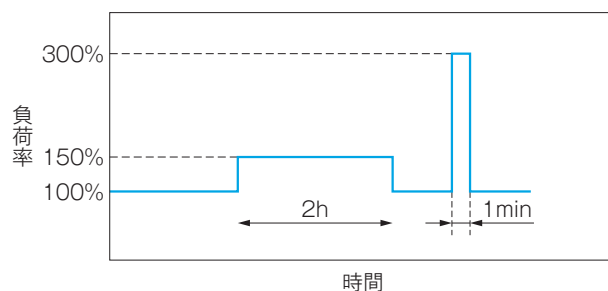
第2図 負荷電流と直流電圧の関係

サイリスタ整流器の負荷電流と直流電圧の関係を示す。100%までは直流電圧一定だが、100%を超過すると6%の傾きで電圧が低下する。対比としてダイオード整流器の特性も示す。

### 3 サイリスタ整流器の機能及び特長

#### 3.1 力行電力供給

ダイオード整流器の場合、車両の負荷や交流側電圧に応じ、電圧が変動する。本サイリスタ整流器では、負荷が100%以内であれば直流電圧を一定に制御できる。直流電圧を一定に制御することで、安定した電力供給と回生電力の有効利用を実現している。なお、負荷が100%を超過すると6%の変動率で直流電圧を低下させる。第2図に負荷電流と直流電圧の関係を示す。



第3図 過負荷耐量

過負荷耐量の仕様を示す。100%の負荷が継続した後、150%負荷は2時間、300%は1分もつことを示す。

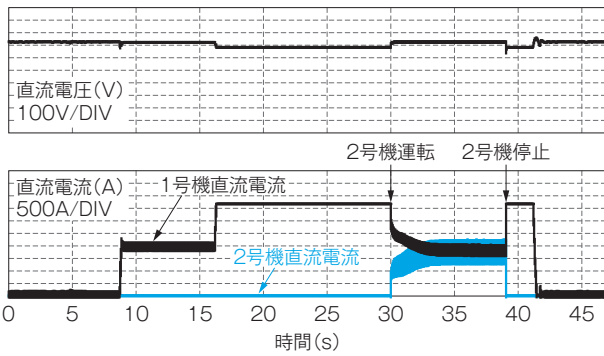
#### 3.2 過負荷抑制機能

第3図に過負荷耐量を示す。サイリスタ整流器の過負荷耐量は、100%連続、150%2時間、300%1分である。サイリスタ整流器は過負荷を抑制するように動作する。例えば、150%以上の負荷が2時間以上継続した場合、出力電流が100%以下になるように直流電圧を低下させる。また、出力電流が300%を超過しないように直流電圧を低下させる。直流電圧を低下させても、サイリスタ整流器が出力できない分を隣接する変電所から融通することで、力行電力供給を継続させることができる。

ダイオード整流器の場合、直流電圧を制御できないため、過負荷が継続すると素子温度上昇などの重故障が発生し、装置が停止して力行電力供給が停止してしまう。本サイリスタ整流器では、直流電圧を制御できることを利用して過負荷を抑制する機能を設け、力行電力供給を停止させるリスクを低減している。

#### 3.3 ダイオードモード機能

直流電圧一定制御機能のほかに、ダイオードモード機能を有する。サイリスタ整流器は、サイリスタをONする位相角を制御することで、直流電圧を一定に保つ動作をするが、ダイオードモードでは、サイリスタをONする位相角を一定にすることで、ダイオードと同じ動作ができる。既にダイオード整流器を導入している設備に対しても、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できる。



第4図 並列運転試験波形

並列運転の試験波形を示す。1号機のみ運転している状態で2号機を運転して並列運転させた時、安定して負荷がバランスしていく動作を示す。

### 3.4 並列運転機能

直流電圧を制御するサイリスタ整流器を並列接続させると、サイリスタ整流器が出力する直流電圧の差によって電流がアンバランスになり、並列台数分の力行電力を供給できない。

本サイリスタ整流器では、並列運転時に直流電流のバランスを制御する機能を搭載した。第4図に社内試験時の並列運転試験波形を示す。1台で3600Aの負荷を背負った状態から30秒の時点で2台目を運転し、数秒後には1800Aでバランスしていることが分かる。この波形からバランス制御が安定して動作していることを確認した。また、38秒付近で2台目を停止し1台運転とした際には、瞬時に全負荷が1台の整流器に切り替わり、急峻な負荷変動にも対応できることを確認した。

力行電力の増強やラッシュ時のみ並列運転する運用など、お客様の用途に合わせた提案ができる。

### 3.5 HMI (Human Machine Interface)

本サイリスタ整流器は、タッチパネルを搭載し、カラー液晶ディスプレイ (LCD) の画面上から機器の運転・停止及び各種設定の変更ができる。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、機器の状態及び故障項目を確認できる。第2表にHMIの仕様を示す。

第2表 HMI仕様

HMIの主な仕様を示す。

項目	仕様
操作ボタン	サイリスタ整流器の運転・停止操作 故障復帰操作
運転履歴	運転・停止
故障履歴	各種故障履歴
計測	交流電圧 直流電圧・直流電流 直流電力
設定	直流電圧指令値 位相角

## 4 むすび

新さっぽろ変電所・南郷変電所の更新は、既設を生かしながら工事を進め、設置スペースが限られている状況の中、無事更新工事を完了し、現在も東西線への安定した電源を供給している。当社の技術力を表す製品として、今後も札幌市交通局に貢献していく所存である。

最後に、本製品の開発・製作にあたり、ご指導・ご協力いただいた多くの関係者の皆様に深く感謝の意を表する次第である。

・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》



高橋 慎  
Shin Takahashi

電鉄システム事業部技術部  
電鉄用変電設備システムのエンジニアリング業務に従事



材津 寛  
Hiroshi Zaitso

電力変換装置ユニット設計部  
電力変換装置の開発に従事