

# 交直両用電管用シリコン整流器

## Silicon Rectifiers for A. C. and D. C. Coach Use

毛利 銓 一\* 曾 根 田 瑞 夫\*

Sen'ichi Mōri Mitsuo Soneda

### 内 容 梗 概

電管用シリコン整流器としては昨年試作器により仙山線で試験が行われたが、引続き今回日立製作所製シリコン整流素子を使用した交直両用電管用シリコン整流器が完成した。本器は車両用としての各種きびしい使用条件に耐えるよう、慎重な考慮のもとに製作された。工場試験の結果ではきわめて満足すべき性能と信頼度を有することが実証され、今後の車両用シリコン整流器の実用に一層拍車をかけるものと思われる。

### 1. 緒 言

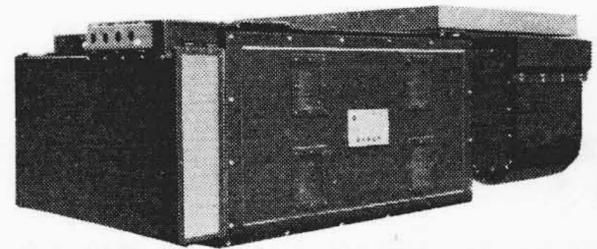
主要幹線の交流電化が進むにつれて交直両用電車の必要性が高まってきたが、従来交流電気車両搭載の整流器として用いられてきた水銀整流器に代ってシリコン整流器がクローズアップされてきた。

シリコン整流器の最近の進歩は実に著しく、わが国においても化学用をはじめとして各方面に応用され、すでに日立製作所においては製作中を含めて製作延容量が数万キロワットに達している。このシリコン整流器を車両搭載用として考えるとき、構造はきわめて簡単で保守が容易であり、まさに理想的整流器ということができよう。

電気車両用として最初に半導体整流器を使用したのはイギリス国鉄で、BTH社が製作した750 kW, 1,500 V ゲルマニウム整流器を搭載した交流電気機関車が、1955年12月より Lancaster-Morecambe-Heysham 線で運転を開始した。その後これはシリコン整流器におきかえられ、1958年7月よりふたたび運転にはいっている<sup>(1)</sup>。またドイツにおいてはシーメンス社が1957年5月以来800 kW, 670 V シリコン整流器を入替用電気機関車に用いており、同年はじめには長距離電気機関車用900 V, 1,600 A シリコン整流器を数週間試験した<sup>(2)</sup>。

日立製作所においては昨年国鉄の指導に基づいて電管用シリコン整流器を試作し、仙山線において交直両用電車に搭載して走行試験、短絡試験、異常電圧試験などを実施し、好結果をえた<sup>(3)</sup>。これは整流素子として輸入品を使用しており、また試験期間も短かったが、電管用シリコン整流器の実用化へ一歩前進したもので、まさに画期的なものであった。その後シリコン整流素子の研究は急速に進められ、ついに輸入品に劣らぬ高性能素子を完成するに至り、今回この日立製作所製シリコン整流素子を使用した交直両用電管用シリコン整流器を完成した。

第1図はその外観を示す。



第1図 575 kW 交直両用電管用シリコン整流器

### 2. 車両用シリコン整流器の特長と問題点

シリコン整流器の車両用としての特長を、水銀整流器と比較してあげると次のようになる。

- (1) 構造がコンパクトで小形軽量である。
- (2) 付属品は送風機のみで制御、保護回路が簡単である。
- (3) 寸法の自由度が大きく、車両床下に容易に取り付けられる。
- (4) 温度の許容範囲が広く、特に低温の制限がない。
- (5) 起動前の予備加熱が不要であり、何時でもただちに運転できる。
- (6) 保守、点検が容易である。
- (7) 能率が高い。

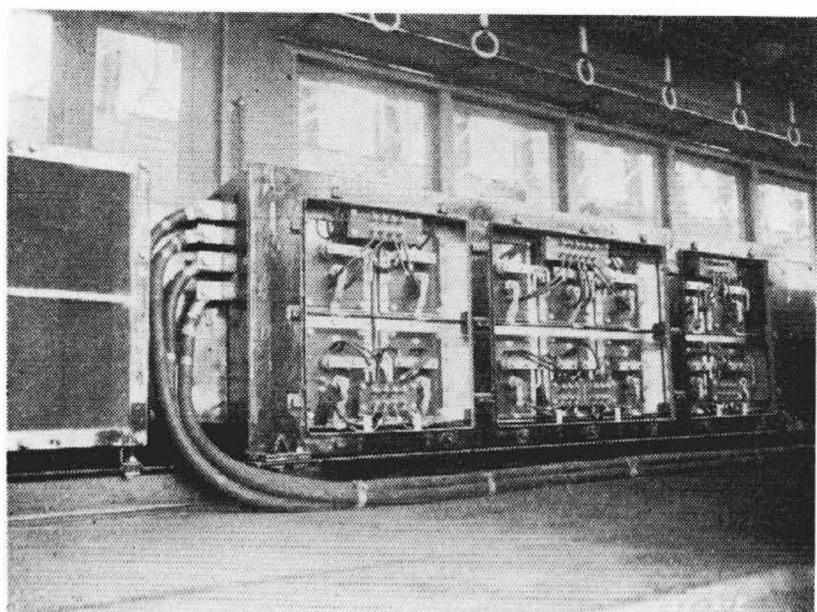
上記特長のうち(1)(7)は将来さらに改善される予想で、今後シリコン整流素子の発展に伴いシリコン整流器の利点はさらに著しいものとなろう。一方欠点としては次の点があげられるが、これらに対しては後記のような対策がとられ、実用上の信頼性は十分となっている。

- (1) 過負荷耐量が小さい。
- (2) 過電圧に弱い。

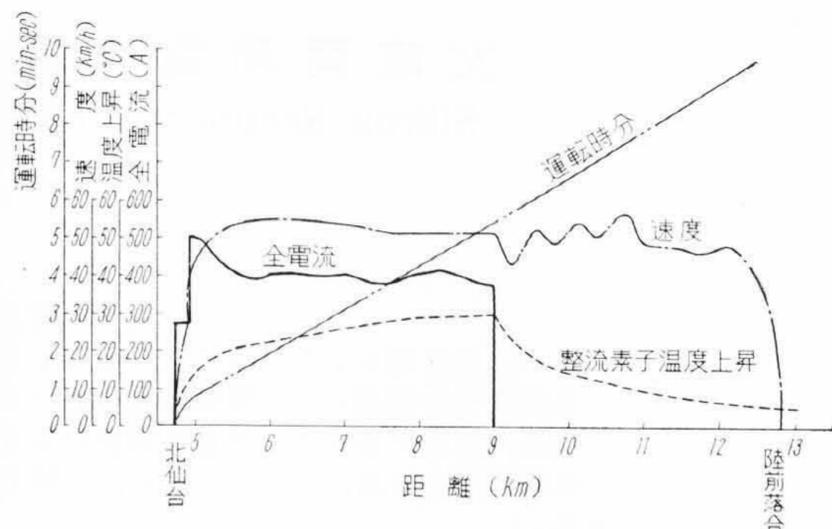
次にシリコン整流器を車両用として応用するに当り、特に問題となる点は次のとおりである。

- (1) 重量および寸法はできるだけ切りつめることが必要で、余裕は許されない。
- (2) 起動時のせん頭負荷に十分耐えなければならない。
- (3) 交流側遮断器および直流側開閉器の開閉サージに十分耐えなければならない。また交流き電線より侵

\* 日立製作所日立工場



第2図 試作シリコン整流器



重量 117.3t 風取入口半開  
第3図 試作シリコン整流器走行試験曲線

入する雷サージに対して十分な保護がなされなければならない。

(4) 振動あるいは衝撃などに対する機械的強度が十分でなければならない。

(5) 冷却空気には鉄粉、塵埃が多量に混入するが、これに対する防護が重要である。また雨雪に対しても十分な対策が必要である。

(6) 整流素子に事故が発生しても運転を停止することはできるだけさげなければならない。

(7) 保守点検が容易な構造でなければならない。

以上のうち電車用は機関車と異なり床下に吊下げられるゆえ、特に容積、重量が少なく、鉄粉、雨雪に対して十分な防護対策が講ぜられねばならない。また走行中点検などはできないゆえ装置はできるだけ簡単で故障が少なく、高い信頼度を有するものでなければならない。

### 3. シリコン整流器の概要

昨年試作した電車搭載用シリコン整流器についてはすでに発表<sup>(3)</sup>したのでその内容については省略するが、昨年末第2図に示すように交直両用電車に取り付けられ、仙山線において国鉄により試験が行われた。試験は比電力消費量測定、温度上昇試験、人工短絡試験、異常電圧試験などであるが、詳細な結果はほかに譲って省略し、一例として北仙台—落合間における電流、温度の記録を第3図に引用するにとどめる<sup>(4)</sup>。この試験は短期間ではあったが今後のシリコン整流器の設計上多くの貴重な資料をうるとともに、シリコン整流器の電車への応用が、すでに現実の問題として有望であることを立証した点においてきわめて有意義であった。

今回製作した交直両用電車用シリコン整流器は、試作器の試験によりえられた資料を生かして、必要最小限のきりつめた設計を行い、また構造上および回路上多くの改良を加えて製作された。

### 3.1 仕様

形式..... F-4B  
 定格出力..... 575 kW  
 定格電圧..... 1,350V  
 定格電流..... 426A 連続  
 整流方式..... 単相ブリッジ結線  
 冷却..... 強制通風方式

### 3.2 シリコン整流素子

本整流器に使用されたシリコン整流素子の仕様は下記のとおりである。

形式..... SNS 13 D  
 最大許容せん頭逆電圧..... 300V  
 最大許容瞬時逆電圧..... 400V  
 定格電流..... 50A  
 最高動作温度..... 150°C

おもな特長は次のとおりである。

(1) 電気的性能は外国一流メーカーの製品に比べてなんら見劣りのない優秀なものである。これは各種の厳重な試験と長期間にわたる寿命試験により実証されている。

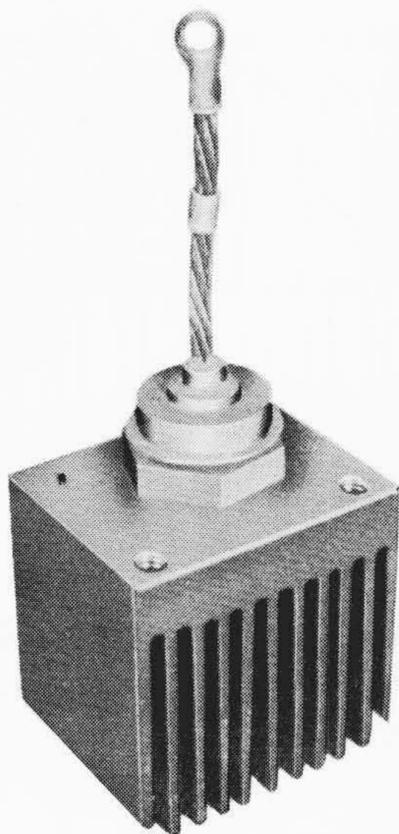
(2) ハーメチックシールはがん丈でしかも気密度のすぐれた特殊構造を採用しており、整流素子の保存中あるいは運転中における特性の変化がない。

(3) 特殊構造の採用により、外部から加えられる機械的衝撃に対しきわめて堅牢な構造となっているので、電鉄用そのほかか酷な使用条件に十分耐える。

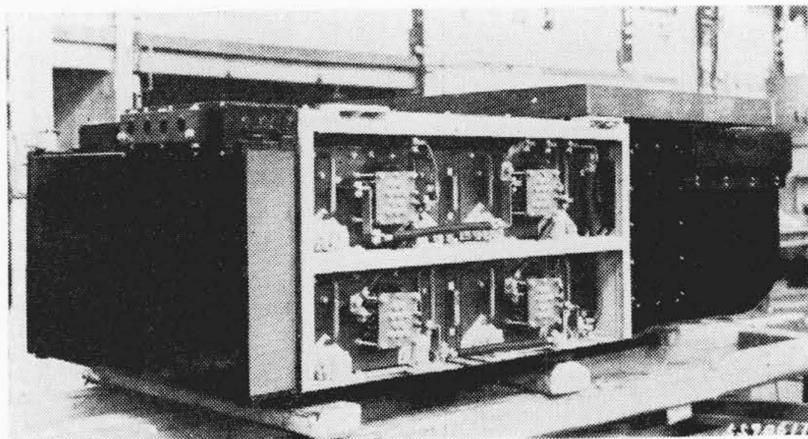
(4) シリコン整流素子の冷却体は第4図に示すような構造の軽合金を使用しており、軽量でかつ冷却効果がきわめてすぐれている。

### 3.3 構造と冷却

第5図はシリコン整流器の外観を示すが、これは昨年国鉄に納入され好成績をえた交直両用電車<sup>(5)</sup>の水銀整流器に代って床下に搭載運転されるものである。製作に当



第4図 シリコン整流素子と冷却体

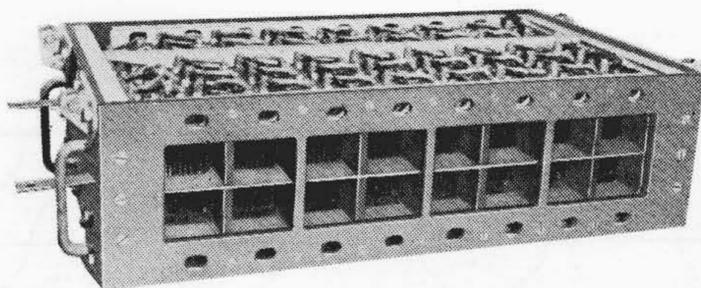


第5図 575 kW シリコン整流器

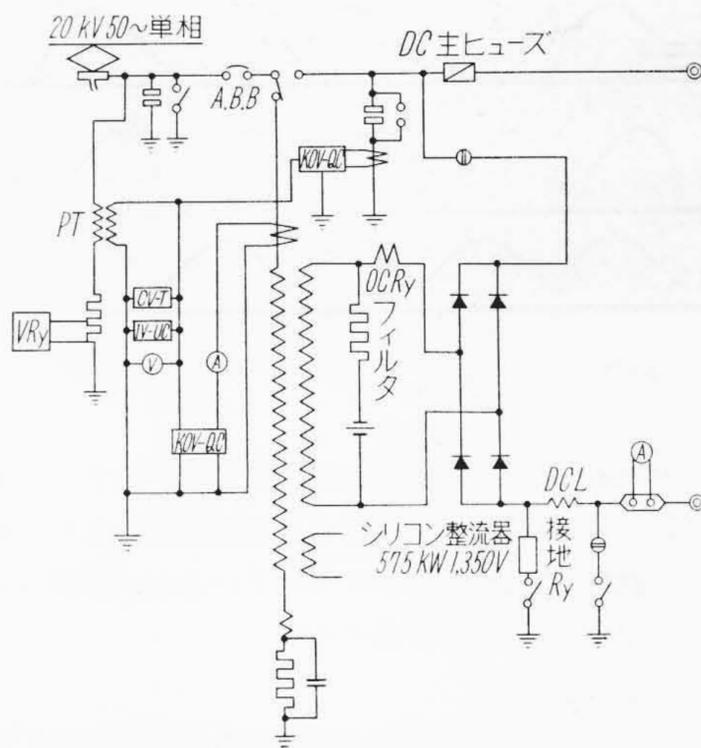
ってはさきに述べた電車用としての問題点に対し多くの苦心が払われており、堅牢であるとともにきわめて小形軽量で、その占有面積は水銀整流器およびその付属装置に比し相当に縮減されている。

シリコン整流素子は4個のトレイに冷却体および分圧抵抗器とともに収納されているが、第6図のように各トレイには16個直列、5並列の整流素子80個が一相を構成して接続されている。トレイは整流器キュービクルを車台に取り付けたまま容易に取り出し可能であり、内部点検、掃除などに便ならしめてある。整流素子と冷却体はトレイ内で隔板により空間的に分離され、冷却空気は両者別々に通ずる構造である。またトレイの前面には整流素子の故障表示としてネオンランプが取り付けられており、これは外部からキュービクルのガラス窓を通して容易に監視することができる。

冷却装置としては多翼送風機が用いられ、吸い込まれた冷却空気はフィルタを通してトレイに送り込まれるが、そのさい整流素子部と冷却体部に分離される。冷却



第6図 トレイ



第7図 交直両用電車用シリコン整流器結線図

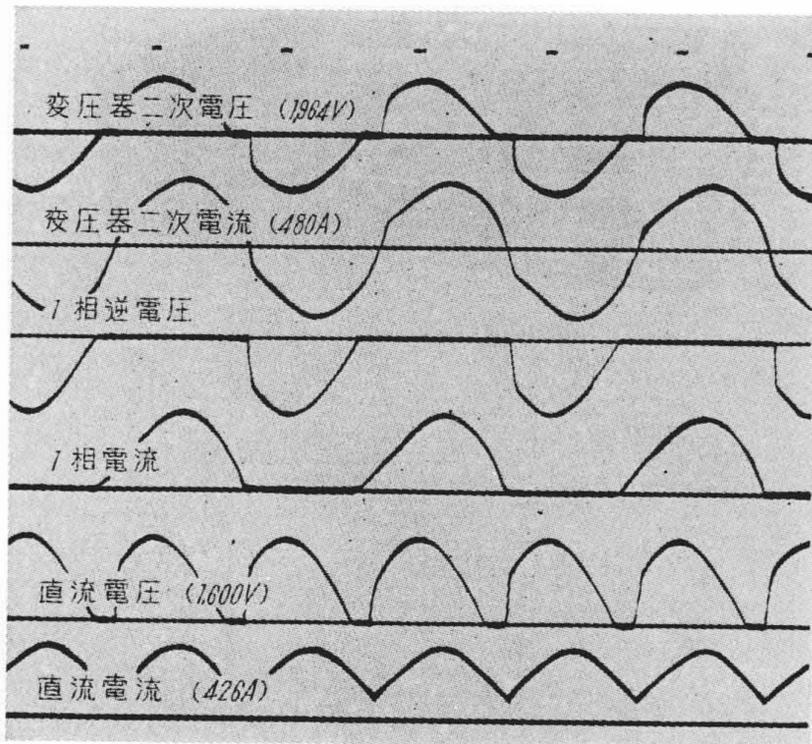
空気に含まれる鉄粉、ちりなどは、シリコン整流素子の絶縁部に付着してその絶縁耐力を低下させるが、これに対しては特に考慮し、整流素子部には強力なフィルタにより特に清浄化された冷却空気を通り、一方冷却体部には強力な通風冷却を行うようくふうしてある。フィルタは容易に取り出して掃除を行うことができ、またトレイ間およびトレイと風洞間は特殊な構造を採用して空気もれを完全に防いでいる。冷却空気とともに雨雪が内部に侵入することも考えられるが、これに対しても十分な手段を講じて万全を期している。

### 3.4 保護方式

第7図はシリコン整流器を含む電源車の結線図であるが、シリコン整流器による保護方式の特異な点について説明する。

#### (1) 整流素子の事故

シリコン整流素子はセレン整流器のような経年変化がなく、適当な使用条件のもとでは寿命は著しく長いことが予想されるが、外部の条件により万一整流素子が破壊した場合にもそれと直列の整流素子が約7%過電圧になるのみでそのまま運転を続行することが可能である。しかしながらこのような状態で長期間運転を続けることは好ましいことではなく、できるだけ早い適当な機会に不良整流素子を交換する必要がある。そ



第8図 負荷試験オシログラム

のために整流素子故障表示装置としてネオンランプを設けてあり、整流素子が1個でも破壊乃至劣化した場合には適確に点灯するようになっているが、詳細は別に報告されているので省略する<sup>(6)</sup>。

#### (2) 過負荷

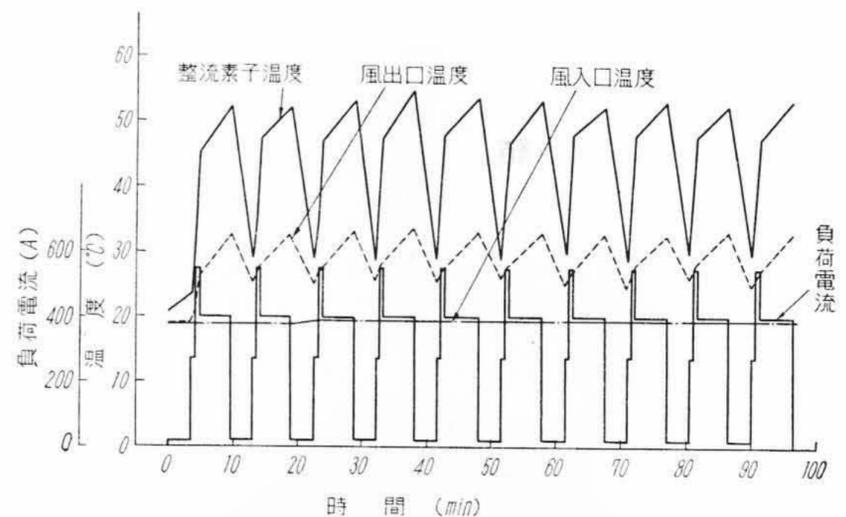
事故による過負荷としては電動機のせん絡が考えられるが、直列の電動機が2台同時にせん絡し、直流側完全短絡となることは非常にまれであり、ほとんどは地絡事故である。このさいはシリコン整流器にとって完全な短絡事故とはならず、接地継電器あるいは高速度過電流継電器の動作で空気遮断器を開放することにより十分な保護がなされる。完全な直流側短絡を予想してそれに完全に耐えるよう整流器の容量を選定することは著しく不経済であり、過負荷に対する保護方式は上記のとおりで十分であると考えられる。

#### (3) 異常電圧

電車用シリコン整流器は直流側より侵入するほか雷サージがなく、この点保護の上から電鉄変電所に比し非常に有利である。交流側よりの雷サージおよび開閉サージに対しては、各相の整流素子に並列にそう入したサージアブソーバによりその吸収をはかり、整流素子に印加される電圧がその許容耐圧以下になるよう協調がとられている。

#### (4) 冷却

冷却空気に混入せる鉄粉、ちりなどによる汚損を防ぐために、フィルタおよびトレイに特殊な構造を採用したことはすでに述べたとおりであるが、フィルタがつまることにより生ずる冷却風量の減少は、シリコン整流素子の温度過大をもたらすことになる。これに対してはその風量減少に対しても温度上昇の点で十分考慮してあり、ある一定値以上風量が減少した場合には



第9図 実負荷想定試験曲線

フィルタの掃除を行うことが必要で、その判断は送風機用電動機の入力電流を監視するようにしてある。また送風機自体の事故に対しては遠心力スイッチおよび過電流継電器が保護している。

#### 3.5 工場試験結果

シリコン整流器は工場において各種の厳密な試験が行われ好成績を納めたが、以下にその主要な結果を報告する。

##### (1) 風量分布

冷却空気の通風断面について風量分布が詳細に測定されたが、その平衡はきわめて良好であり、不平衡は3.5%以下である。

##### (2) 電流平衡

各並列整流素子群の分担電流はきわめて良く平衡しており、不平衡は±2.5%以内である。これはシリコン整流素子の直列数が多くて、正方向特性が均一化されていることおよび導体の配列が適正であることによるものである。

##### (3) 負荷試験

定格負荷試験としては定格電圧の110%電圧で定格電流を連続通電した。そのさいの各部波形オシログラムを第8図に示す。実負荷想定試験としては20A 3.5分間、275A 40秒間、550A 40秒間、400A 5分間の負荷を繰り返し10回通電したが、そのさいの結果を第9図に示す。シリコン整流素子の温度はベースにある測定用孔にサーモカップルをそう入して測定したもので、これよりジャンクションの温度を推定するとほぼ許容温度上昇に近い値となっており、整流器の容量が適当であることが明らかになっている。

##### (4) その他

以上のほかにインパルス試験、整流素子故障検出装置動作試験などいずれも満足すべき結果がえられた。これらのあらゆる試験を通じてシリコン整流素子の特性にはなんら異常がなく、十分実用に耐えうることが示された。また振動試験が3gの加速度で電圧を印加

しながら3箇月以上実施されたがなんら異常なく、非常に堅牢で信頼度の高いことが実証された。

4. 結 言

今回製作したシリコン整流器は、水銀整流器に代って交直両用電車に正式に装備され、近く仙山線において長期運転試験が開始される予定である。これは国産シリコン整流素子を使用した最初の車両用シリコン整流器であり、今後の運転の成果が期待される。

シリコン整流器がわが国において実用化されて以来一年余りであるが、この間の進歩は実に著しく、国産整流素子の完成とともにその応用の発展は、海外諸国に比してほとんど見劣りのない段階に達している。しかもなお超高純度シリコンの精製技術の進展とともに、シリコン整流素子の性能も逐次向上しており、さらに大容量の整流素子が製作されている。これはさらに整流器の素子数を減じて小形化するとともに、価格を低減させてその応用をいっそう発展させるであろう。

現在わが国においては主要幹線の交流電化が進ちよく

中であり、シリコン整流器の出現はまさに時機をえたものというべく、その利用により交流電化の特長は一層発揮されることになろう。今後電車のみならず電気機関車用として応用されるのも時間の問題というべく、シリコン整流器の前途は洋々たるものがある。

本試作器は国鉄臨時車両設計事務所より設計上の細部に至るまで御検討をいただき、有益な御注意をいただいた。また製作に当っては、最初の国産シリコン整流器の点より絶大な激励をいただいた。併記して感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) J. A. Broughall & J. C. Read: The BEAMA Journal, 151, (1958)
- (2) H. Zenneck: Siemens Zeitschrift 32, 172 (1958)
- (3) 曾根田, 金原, 森田: 日立評論 41, 353 (昭 34-3)
- (4) 鉄道技術研究所速報 No. 59-61 (昭 34)
- (5) 日立評論 41, 158 (昭 34)
- (6) 曾根田, 森田: 日立評論 別冊 32号 31



特 許 の 紹 介



特許第235156号

森山一夫・伊沢省二  
桑島千秋

水 銀 周 波 数 変 換 装 置

この発明は他励式水銀周波数変換装置あるいは直流送電における逆変換装置に関するものである。そしてその要点は上記の装置に励磁用電源として接続される同期発電機9に直列に補償用静電蓄電器10を挿入することによって、整流器3の受電側母線1の電圧の上昇あるいはインバータ4の出力側母線2の電圧の降下のために発電機9の端子電圧が下り、その結果インバータが転流失敗を起すという現象を防止している。それは発電機9に直列に蓄電器10を挿入すると上記の電圧の上昇あるいは電圧の降下の場合にインバータの出力電流が増加して発電機9の力率が低下するが、発電機リアクタンスの一部乃至全部がコンデンサ10によって補償されるので発電機端子電圧の変化は極少におさえられるからである。(矢崎)

