

整流器の動向

The Latest Tendencies of Rectifier

高木 正* 井上 清二**
 Tadashi Takagi Seiji Inoue

内容梗概

本文においては、電力用直流電源としての水銀整流器と半導体整流器の現状および将来について、それぞれの動向および技術的進歩の方向について述べた。水銀整流器は逆弧の問題が解明されいまや完成せる製品となった。今後の進歩の方向は、ガス入り整流器の完成である。半導体整流器はゲルマニウム整流器より始まったがシリコン整流器のほうが幾多の利点を有するのでシリコンに移りかわりつつある。高純度シリコンが漸次安価にえられるようになったことがシリコン整流器の完成を促進した。シリコン、ゲルマニウムいずれも今後の進歩の方向は耐電圧向上にある。

1. 緒言

従来から電力用直流電源として使用されてきた整流器としては電動直流発電機、回転変流機、水銀整流器、接触変流機、セレン整流器、半導体整流器などがありおのおの利害得失があるが、将来とも存続しうるものは電動直流発電機、水銀整流器、半導体整流器の三者であると考えられる。本文においては、この中の水銀整流器および半導体整流器について最近の動向の概略について述べる。

2. 各種整流器の比較

各種整流器を種々の面からながめて、その一般的性質を比較すると第1表のようになる。また各整流器の総合効率を比較すると第1図のようになる。これらの特性から、その用途に応じて選択すべき整流器の種類はおのずから決定される。

2.1 変電所用整流器

電鉄用直流電源としては水銀整流器が最適のものであり広く使用されているが、近時シリコン整流器の発達に伴い、国鉄はじめ二、三の私鉄にシリコン整流器が設置され、良好な結果をえている。しかしながら、シリコン整流器は過電圧耐量、過負荷耐量などの点で水銀整流器に劣り、したがってこれを補うために整流素子の数を、その機器に要求されるピーク電流、ピーク電圧から決定せねばならぬこととなり、さらに種々の保護装置を必要とすることから、現状では経済的に水銀整流器のほうが有利となるので、なおしばらくは水銀整流器の時代が続くと考えられる。

2.2 車両用整流器

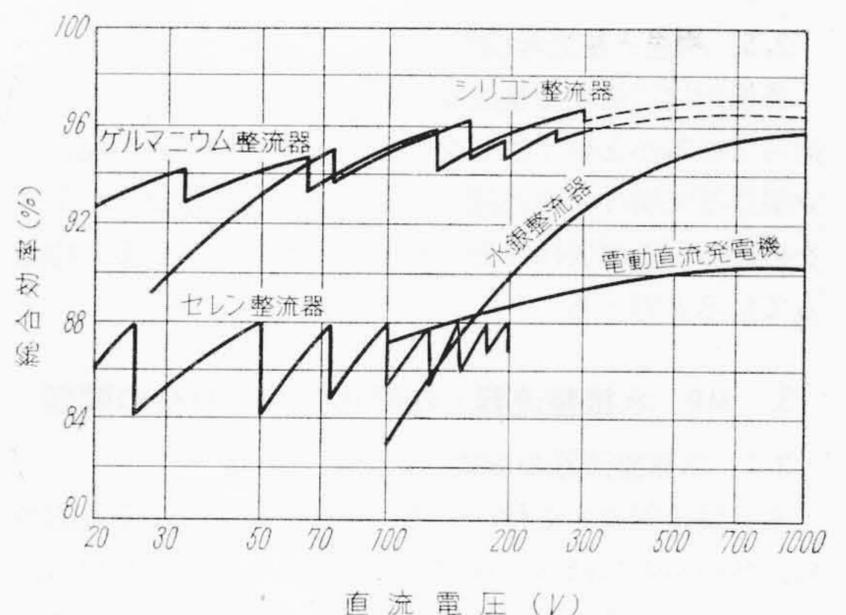
交流電気機関車、交流電車用として直接車両に搭載する整流器に関しても、従来は主として水銀整流器が採用

* 日立製作所日立工場

** 日立製作所本社

第1表 各種変流器比較表

項目	電動直流発電機	水銀整流器	接触変流機	半導体器
構造	回転機複雑	静止器単純	半静止器やや複雑	静止器きわめて単純
付属機器	なし	変圧器	変圧器電圧調整器	変圧器電圧調整器
すえ付	めんどう	容易	容易	容易
電圧調整	広範囲に可能速応性ややおとる	相当広範囲に可能速応性すぐれる	小範囲に可能速応性おとる	自体は不能速応性おとる
過負荷耐量 過電圧耐量 騒音, 振動 保守	大大めんどう	大大小容易	小小中めんどう	小小小容易
適する用途	可逆直流電動機電源	比較的電圧の高い電源 高度の速応制御を要求する電源		比較的電圧の低い電源 速応制御を必要としない電源



第1図 整流機器総合効率

された。シリコン整流器との比較は地上変電所におけると同様であるが、車両用においては重量、形状、保守、信頼度などのファクターがより重要となる。したがって構造が簡単でありかつ個々の整流素子を簡単に取り替えるシリコン整流器の魅力は地上におけるよりも大き

第2表 製作中の整流器延容量 (10/15 現在)

用途	水銀整流器	シリコン整流器	ゲルマニウム整流器
電鉄変電所	35,000 kW	750 kW	
交流車両	59,334 kW	2,450 kW	
電動力応用	21,030 kW	450 kW	
電解	716 kW	54,596 kW	2,420 kW

(納入済のものを除く)

く、比較的近い将来にシリコン整流器に移行する可能性が大きいと想像される。特に交流電車においては早期移行が予想される。

2.3 圧延設備用整流器

圧延機そのほかの電動力応用部門に対する水銀整流器の進出は目ざましいものがある。ことに熱間タンDEM圧延機、線材圧延機のように、厳密な速度制御と速応性の高い制御を必要とする連続圧延設備主電動機用電源としては最適であり広く採用されている。半導体整流器も将来制御極付の大容量のものが安価に製作されるようになれば、この種のものには使用できるが、現在のダイオードでは不適當であり、当分水銀整流器の時代が続くであろう。

2.4 化学工業用電源

従来は主として回転変流機または水銀整流器が採用されたが、化学用としては各種の電解用電源が主であるので低圧大電流のものが多く、また電圧調整を速応的に行う必要なく電流変化少なく、連続運転される関係上、電源の総合効率が最も重要な条件となり、これこそ半導体整流器に最も適した用途といえることができる。今後のこの種の用途には全面的に半導体整流器が採用されるものと考えられる。

2.5 用途と整流器種類

各種用途に対する整流器選択の傾向がいかなる方向に向っているかということを示すために、第2表に現在日立製作所で製作中の各種整流器を用途別に分類したものを掲げる。この表は今後の整流器界の動向を如実に物語っていると考える。

3. MR (水銀整流器) の現状および今後の問題

3.1 水銀整流器の形式

水銀整流器はすえ付けおよび保守を簡便にする目的から、多極から単極へ、真空ポンプ付から封じ切り形へ、水冷式から風冷式へと発達した。日立製作所のエクサイトロン形、封じ切りMRは製作が開始されてからすでに数年を経過し十分長期の寿命を有することが実証された。またこの間技術的諸問題も解決されいまや信頼度の高い、安定した機種として完成の域に達した。

多極形か、単極形かはしばしば論議される問題であり、多極は凝縮筒を有するので過剰蒸気流と電子流との分離

が可能であり、このために転流時残存イオンが少ないので耐逆弧特性がよいとの論もあったが、実績上は単極がまさった。また単極形の欠点と考えられた励弧電流消滅の問題も解決されたので単極の不利な点はなくなり、同一寸法の陽極においては単極のほうが電流に対する有効面積が大となるのでその過負荷耐量大きい点で有効である。いずれにしても多極か単極かは各製作者が自己の実績からそれぞれその欠点を改善しているので特性上は大差ないと考えるのが至当であるが、単極のほうが重量、運搬、すえ付け、予備などの点ではるかに有利であるので大容量のものは単極に進むべきものと考えられる。ただ小容量(直流出力連続500A以下)のものでは、経済的の見地から多極が有利であろうと考えられる。

3.2 技術の進歩

3.2.1 逆弧の問題

水銀整流器にとって最も大きな課題は逆弧の問題である。従来逆弧の現象は偶発的でありその説明は明確でなかったが、近時測定技術の向上によりその発生する位相、メカニズムが明らかになるとともに、その対策が定量的になされるようになった。逆弧の解決に最も大きく貢献したのは振動防止回路の開発であった。すなわち運転中の整流器は転流時に変圧器などの漏洩リアクタンスと浮遊容量のため振動電圧を発生し、これが逆弧発生の最も大きな誘因となる。この振動電圧吸収のため振動防止回路が採用されるようになった。特に格子制御を行う場合には全面的に採用され、この結果大幅な格子制御を行う場合にもほとんど電流容量を減少させなくともよくなった。また逆弧発生と、整流器温度との関係も解明され、適切なる温度制御を行うことにより、著しく運転の安全を増大することができた。

3.2.2 封じ切り水銀整流器の寿命

電流化成をはじめとする一連のガス抜き作業の進歩、大形の陰極封緘をはじめとするがんじょうなビトリアス・エナメル封緘の完成、ヘリウム漏洩検出そのほかの精密な検査方法の確立などの結果、日立製作所においてはエクサイトロン形封じ切り水銀整流器は現在までに出荷タンク数約500に達し、連続運転時間は最長約5年に及ぶが、その間不良発生タンクはわずかに約1%に過ぎず、封じ切り整流器の製作開始当時推定した寿命10年を大幅に上回る実績を示すであろうことが確認できた。しかしイグナイトロン形では諸外国の実績によっても、整流器の寿命はイグナイタの寿命に制約されエクサイトロン形のような長期寿命を期待することはきわめて困難なようである。

3.2.3 水銀整流器の軽量化

前述の逆弧特性の究明、消弧問題の解決、二重かご

形格子構造の採用による尖頭負荷特性の改善など、一連の急速な技術的進歩の結果、最近の整流器は著しく軽量化されてきた。特に交流電気機関車に整流器式が採用されるにおよび、車両特有の要求から軽量化が一段と促進された。第3表に比較の一例を示す。

3.3 今後開発すべき問題

3.3.1 ガス入り水銀整流器

一般的にMRは低温時、水銀蒸気圧が低いために、陽イオンが不足状態となり、尖頭負荷をかけると電弧が維持されず異常電圧が発生する。ゆえに低温度での運転をさけるため、予熱装置を設け温度制御が必要であった。これが現在のMRの唯一の弱点である。この問題を根本的に解決するのが“ガス入りMR”である。すなわちあらかじめクセノンガスのような不活性ガスを封入し、低温時に水銀イオンの代用をなさしめる。ガス入りMRの完成がMRの最終的な姿と考えられる。日立製作所ではいかなる負荷印加方法でもクリーンアップ効果を生じないガス入りMRの研究を進め1,000kW 600V級(6タンク)には完全に成功し、さらに使用電圧を1,500~2,000Vに向上させるため鋭意研究を進めている。

3.3.2 単器容量の拡大

前に述べたように大容量器には単極形が最も適している形式であり現在われわれの完成した最大容量のものは第4表のとおりである。さらにこの単器容量を上げるためには、種々の困難な技術的問題があるが、この方面にも鋭意研究をつづけている。

3.3.3 応用方面の拡大

急速な進歩を示してきた半導体整流器に比し、MRの最も大きな長所は

- (1) 速応性にとんだ制御が可能である
- (2) 過負荷容量が大きい

という点である。したがってこの点を必要とする用途

- (1) 高級なる制御性能が要求される圧延機設備
- (2) 電鉄用電源
- (3) 車両用整流器
- (4) 高圧MR

などにおいて、その特長を発揮すべきものと考えられる。

4. 半導体整流器の現状および今後の問題

4.1 GR(ゲルマニウム整流器)とSR(シリコン整流器)

第5表にGRとSRおよびセレンの一般的特性の比較を示す。SRはGRに比し逆耐電圧、耐熱性の点ですぐれているが、原料の高純度シリコンの精製技術に難点があったので、その実用化はGRに先をゆずった。しかし

第3表 水銀整流器寸法比較

	変電所用	車両用
容量	1,500V 2,000kW	1,500V 2,000kW
幅 mm	1,450	1,250
奥行 mm	2,450	1,300
高さ mm	2,300	1,900

第4表 日立封じ切りエキサイترون最大容量器定格

E種定格		D種定格		連続定格	
1,500V	750V	1,500V	750V	1,500V	750V
3,000kW	2,000kW	3,000kW	2,000kW	4,500kW	2,800kW

注： 1. 上表は6タンク容量を示す
 2. E種定格： 定格出力連続、定格出力電流の120% 2時間
 定格出力9分間、定格出力電流の300% 1分間を繰返し10回
 D種定格： 定格出力連続、定格出力電流の150% 2時間、
 300% 1分間
 連続定格： 定格出力連続

第5表 各種整流素子の特性比較

	シリコン	ゲルマニウム	セレン
順方向電圧降下 (V)	1.2	0.6	1.2
電流密度 (A/cm ²)	150	50	0.1
最大許容逆耐電圧(V)	600	150	35
整流素子の効率 (%)	99	98.5	90
許容温度 (°C)	150	65	80

これらの点も最近急速に解決され、GRについて各種用途に進出してきた。SRはGRに比し、単位面積当りの電流を大きくとることができ、また電圧は数倍に耐えるので、単位素子当りの出力は大きく小形で効率が良い。しかしながら出力電圧が低く、(DC65V以下)GR,SRともに直列数が1の場合にはGRのほうが正方向電圧降下が約半分であり、効率の点よりまさっている。

温度の点からいえばGRは許容温度が低く冷却がきわめて重要な問題であり、周囲温度により容量に大きな影響を受けるが、SRにおいては、許容温度が高いため、気温による制約はほとんど問題にならない。過負荷に対しては一般にGRのほうがSRに比し強い。すなわち1サイクル許容サージ電流と連続電流の比は一般にSRでは数倍であるが、GRでは十数倍である。これはSRのほうが、ジャンクション部分が同一電流容量に対しては小さく、したがって熱容量が小さいためである。

4.2 GRの現状

1952年アメリカGEおよびイギリスBTHにおいてGRが実用化して以来その後の発展はめざましく、化学工業用をはじめとして各種用途に利用されている。日立製作所においては昭和32年140kWGRを製作して以来現在までに製作した台数は数十台、その延容量は33,000kWに達しており全国生産高の約60%になるが、この中には昨年昭和電工に納入した140V 100kA GRがある。

第6表 シリコン整流素子代表例

	形 式	最大許容尖頭 逆電圧(PIV) (V)	最大許容瞬時 逆電 圧 (V)	定格電流 (A)
GE	4J A62D	400	500	50
WH	339-K	500	500	225
IRC	200C60	200	600	200
SSW	Si 150	600		200
日立	SNS14F	500	600	50
日立	SMS12E	400	500	150

第7表 シリコン整流器製作例

	容 量 (kW)	電 圧 (V)	電 流 (A)	用 途
日立	1,000	1,500	667	電 鉄 変 電 所
日立	750	600	1,250	電 鉄 変 電 所
日立	575	1,350	426	交 流 電 車
日立	875	140	6,250	アルミニウム製錬
日立	36,000	320	112,500	アルミニウム製錬(製作中)
日立	1,071	153	7,000	銅 電 解 (製作中)
日立	1,600	650	2,460	交流電気機関車 (製作中)
日立	3,500	50	70,000	(製作中)
GE	17,280	360	48,000	食 塩 電 解
ITE	3,000	300	10,000	食 塩 電 解
SSW	2,700	450	6,000	アルミニウム製錬
SSW	1,440	900	1,600	交流電気機関車
WH	2,675	535	5,000	アルミニウム製錬

第8表 半導体整流器の主要用途

	用 途	仕 様
電気分解	水,食塩,アルミ,銅,亜鉛,鉛,マグネシウム,コバルト,電解清浄,電解研磨,アルマイト,メッキ	10~600V 1,000~100,000A
アーク電源	真空熔解炉, 熔接機, 放電加工	50~80V 300~5,000A
蓄電池充電	発電所操作電源, 一般充電	160V 10~100A
励磁電源	自励交流発電機, 同期電動機, 水銀整流器, 電磁石	110~220V 100~300A
動力電源	工作機械, IBM, ミル補機, 一般直流電源	110~250V 100~2,000A
電気鉄道	直流変電所, 交流電車, 交流電気機関車, 補機電源	600~1,500V
高圧電源	コックレル, コッククロフト, 試験用	10kV~100kV 300mA~1A

4.3 SRの現状

SRがわが国において実用化されたのは昨年来のことであるが、この1年余における進歩は実にめざましく、いまやGRと肩をならべて各種分野に応用されている。日立製作所は製作中を含め現在までのSR延容量48,000kWに達している。これまでのSRは大部分整流素子を輸入に仰いだが、これも最近に至って国産化され、今後はすべて自家製整流素子をもってまかなうことができる態勢にある。第6表に各社のシリコン整流素子の例を、また第7表に代表的製品例を示す。シリコンの原料は無尽蔵にあるが、その精製技術が著しくむずかしく現在まで輸入にたよっている状況にある。しかしながらこれも最近各社で高純度シリコンの試作が進められており、そ

の性能、製作量も逐次増大しつつあるゆえ、原料が全部国産になる時期も、そう遠くはないと思われる。

4.4 半導体整流器の応用分野

半導体整流器がいかなる応用分野に適するかということは、その経済的価格(維持費も含めて)と信頼性にある。したがってこれは恒久的なものでなく、常に変化しつつあるが、現在の半導体整流器の状況より考えて現在および近い将来におけるその応用分野は第8表に示すように考えられる。応用分野において特に注目すべきことは、電解工業用においては現在GRおよびSRがKU(接触変流機)をはじめほかのすべての機器にとってかわりつつあることで、これは効率が高いことおよび保守の容易なことに起因している。また電鉄用においては現在すでに車両搭載用としてMRにとってかわろうとしており、今後のこの方面への一大躍進が期待されている。GRとSRの適用分野に関しては、さきにも述べたとおり将来においても低電圧におけるGRの優位性は失われまいであろう。現在DC65Vないし250VにおいてはGRとSRの両者が利用されているが、SRの範囲は漸次電圧の低いほうへ伸展しつつあり、将来はDC65Vないし100Vが両者の境界となると思われる。またSRの発展は漸次電圧の高い分野に進出しつつある。

4.5 GRの将来

GR整流素子はすでに性能的に完成の域に達している。これは真性ゲルマニウムの比抵抗50Ωcmに近いゲルマニウム単結晶が得られていることによるが、今後の問題としては歩留りの向上、作業の能率化により価格をできるだけ切下げねばならない。またある製作者においては耐電圧の向上に力を注ぎ、逆に現在のSRとの境界線65Vを拡大する方向の研究もなされている。半導体整流器は大勢としてはSRに向うであろうが、本質的には、同様の性質、寿命をもつと考えられるので、将来とも設備の計画に際しては、両者のすえ付面積、効率および経済性などの比較から決定されるべきものであろう。

4.6 SRの将来

SR整流素子もすでに国産品が完成したが、今後に残された問題もまた多い。その主要な点をあげれば下記のとおりである。

- (1) 逆耐電圧の向上
- (2) 整流素子の電流容量増加
- (3) ジャンクション製作技術の改良、従来主として合金法、拡散法が用いられているが、これの改善ないしは新方法の開発が必要である
- (4) 歩留り向上
- (5) シリコン制御整流器の国産化とその大容量化
- (6) 原料シリコン精製技術の国産化と改善
- (7) 新しい応用分野の開発

一方SRの応用技術としてはわが国は外国に比しむしろ進んでいるが、今後とも新分野の開拓は積極的に進められるであろう。

GRが比較的短時日で、その優位をSRにゆずった事実から、SRも近い将来ほかの半導体整流器にその地位をゆずるのではないかとの説もあるが、特殊用途のものを除き一般用直流電源としてはSRは当分その優位を維持するであろうと考える。

マニウム整流器とは、それぞれ長所短所があるので、その適用分野が入りみだれており漸次シリコン整流器が水銀整流器の分野を侵食しつつある。これは水銀整流器がほぼ完成品であるに比し半導体整流器が発展途上にあるためであり、兩三年後にはその分野が明確になるであろう。今後の進歩の方向は水銀整流器においては“ガス入り”の完成であり、半導体整流器においては耐電圧の向上および制御極付整流器の完成であろう。

5. 結 言

以上述べたように水銀整流器とシリコン整流器とゲル



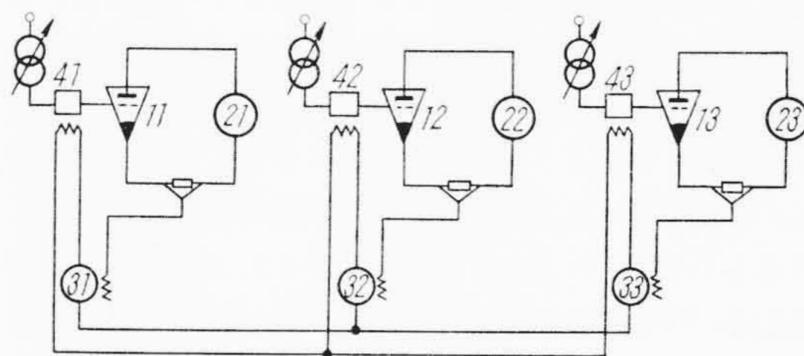
新 案 の 紹 介

実用新案 第 485776 号

泉 千 吉 郎 ・ 岩 城 秀 夫

電 動 機 の 定 ト ル ク 制 御 装 置

この考案は静止レオナード装置において複数の電動機を機械的に連結する時に各電動機のトルク比を一定に制御するものである。図で各電動機 21, 22, 23 のトルクを一定にするにはその電機子電流を一定にすれば良いので、各電動機の電機子電流に比例した電流で増幅器 31, 32, 33 の出力を制御しその出力で自動移相器 41, 42, 43 を作動して整流器 11, 12, 13 の出力電圧を変化させている。特にこの考案は増幅器 31, 32, 33 の出力回路を並列接続してその目的を達した点に特長を有する。(矢崎)



日 立 評 論

Vol.41

No. 11

揚水発電所小特集

- ◎大森川発電所の建設工事について
 - ◎大森川発電所納 12,100kW ポンプ水車
 - ◎大森川発電所納 14,000kVA/15,000kW 発電電動機
 - ◎大森川発電所納ポンプ水車制御装置
- 論 文
- ◎うず巻ポンプのキャビテーションに及ぼす羽根車羽根入口先端の形状の影響
 - ◎ショベルの運営・管理について

- ◎二硫化モリブデン潤滑による4号電話機ダイヤルの摩擦トルクの軽減
- ◎テレビジョン中継装置
- ◎最近の観測用ブラウン管
- ◎CT-140C形狭帯域方式カラーテレビ受信機
- ◎固体内ボイド放電と絶縁破壊について
- ◎遅延ケーブルの諸特性
- ◎時効硬化性 Cu-Be 合金ならびに Cu-Cr-Be 合金について

技術者ノート

- ◎制御器具の保守

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地 振替口座東京 71824 番
 取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座東京 20018 番