

# 電 鉄 用 シ リ コ ン 整 流 器

## Cilicon Rectifiers for Electric Railway Service

曾 根 田 瑞 夫\*    金 原 和 夫\*    森 田 和 夫\*  
 Mitsuo Soneda    Kazuo Kinbara    Kazuo Morita

### 内 容 梗 概

シリコン整流器の著しい発展に伴い、電鉄用としてシリコン整流器を応用することが期待されていた。今回地上変電所および交流電車用シリコン整流器を完成し、試験を行った。製作にあたっては多くの研究実験と、詳細な調査を行い、電鉄用としての応用上の技術的問題点を克服して行ったが、試験の結果良好な成績を得、今後のこの方面への進出に明るい見とおしをうるに至った。

ここではこれらの重要な技術的問題点特に過負荷、異常電圧に対する整流器のエレメント構成および保護方式の考え方と試験の結果について説明する。

### 1. 緒 言

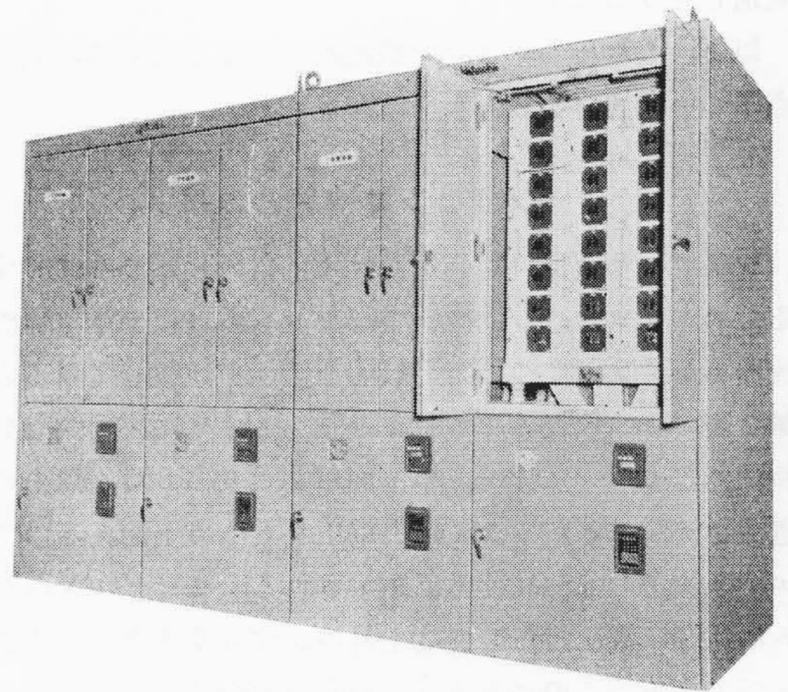
最近における半導体研究の目ざましい発展に伴い、ゲルマニウム整流器に続いてシリコン整流器が電力用として登場してきた。シリコン整流器はゲルマニウム整流器に比し、逆耐電圧が高く、耐熱性も強いなどすぐれた特性を有しており、ゲルマニウムとともに研究がなされていたが、高純度のシリコン単結晶をうることに難点があったため、その出現はゲルマニウム整流器に先を譲った形になった。しかしながら今日ではその製造の難点も一応解決され、電力用整流器として各種産業の分野に進出している。

ゲルマニウム整流器は特性上低電圧大電流の直流電源としてその特長を発揮するが、シリコン整流器はより高電圧の分野に適し、化学工業用のみならず各種動力電源にも利用しうる。特に電鉄用としては、シリコン整流器の出現により半導体整流器が従来の各種整流機器にとって代る可能性が開けてきた。シリコン整流器の主な用途を示すと第1表のごとくなる。

ゲルマニウム整流器は1952年以来各国で広く使用され、わが国でも一昨年以來実用化されている。その運転実績は豊富であり、容量としては10,000 kW以上のものも製作されている<sup>(1)</sup>。一方シリコン整流器が実用化されたのは1956年以後であるが、その発展はきわめて著しく、GE社では昨春秋 360 V, 48 kA 電解用シリコン整流器が製作され、またシーメンス社では 650 V, 8.1 kA シリコン整流器を製作した。

電気鉄道用としては英国 BTH社が 750 kW, 750 V ゲルマニウム整流器を交流電気機関車に搭載し<sup>(2)</sup>、1956年初めから運転しており好調である。またシーメンス社は1957年に 800 kW, 670 V シリコン整流器を入替用機関車に搭載して運転を始めている<sup>(3)</sup>。一方電鉄地上変電所用としては同じくシーメンス社が 750 kW, 750 V シリコ

\* 日立製作所日立工場



第1図 1,000kW 1,500V シリコン整流器

ン整流器を1957年以來使用し、トロリーバス線に給電している。

以上のようにシリコン整流器は今後電鉄用として活躍することが期待されるが、わが国ではこれまでシリコン整流器の実績がほとんどなく、また電鉄用のごとき高電圧の半導体整流器を製作した例もない。したがってその実用化には多くの困難な技術的問題点が介在し、また経済的にも種々検討すべき点がある。

日立製作所は昨年来電鉄地上変電所用として第1図の

第1表 シリコン整流器の主要用途

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 100~600V 1,000~100,000A
アーク電源	真空溶解炉, 溶接機 50~80V 300~5,000A
蓄電池充電	160V 10~100A
励磁電源	同期機, マグネット 110~220V 100~300A
動力電源	工作機械, ミル補機, IBM 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
一般直流電源	110~220V 100~500A

第2表 半導体整流器エレメントの性能比較

	シリコン	ゲルマニウム	セレン
正方向電圧降下	1.2V	0.6V	1.2V
電流密度	200A/cm <sup>2</sup>	100A/cm <sup>2</sup>	0.1A/cm <sup>2</sup>
逆耐電圧最大値	400V	100V	35V
エレメントの能率	99%	98.5%	90%
許容温度	150°C	65°C	80°C

ごとき 1,000 kW, 1,500 V および 750 kW, 600 V シリコン整流器を、また交流電車用として 575 kW, 1,350 V シリコン整流器を製作し、各種詳細な試験を行った。その結果はきわめて満足すべきものであり、技術的難点も克服されて今後の電鉄用シリコン整流器の発展に明るい見通しをうるに至った。

以下、これらのシリコン整流器の概要とともに、問題点について述べる。

## 2. シリコン整流器の特長

シリコン整流器の特長をあげる前に、わかりやすくするためシリコン、ゲルマニウム、セレンの3種の半導体整流器エレメントについて一般的な性能を比較してみると第2表のようになる。これよりわかるように、シリコン整流器はセレンに比べて単位面積あたり 1,000 倍以上の電流を流すことができ、出力電圧も5倍以上耐えるのでエレメントの寸法は非常に縮小される。またゲルマニウムに比し、電圧、電流、温度上昇のいずれも大きくとることができる。このエレメントを直流変換装置としてシリコン整流器にした場合、従来の各種整流機器（電動直流発電機、回転変流機、水銀整流器、接触変流機など）に比べて多くの特長を有しているが、特に下記の点をあげることができる。

### (1) 小形軽量

上述のようにシリコン整流器は出力の割にエレメントの寸法が小さいため、整流器全体がきわめて小形軽量化される。

### (2) 効率がきわめて高い

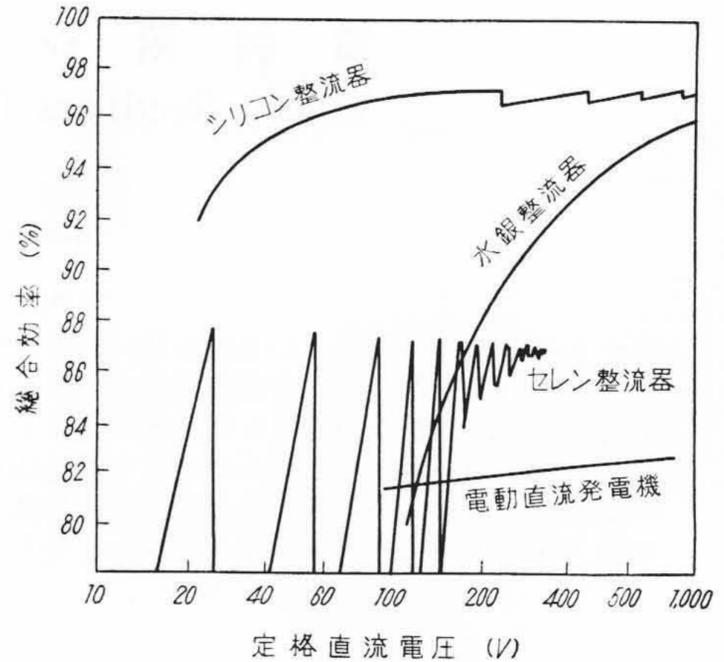
シリコン整流器エレメントの正方向電圧降下は定格電流において約 1.2 V 程度であり、逆方向損失は無視できるほど小さいのでエレメント自体の効率は最大出力で99%以上に達する。したがって整流装置全体の効率も第2図のように、きわめてすぐれている。

### (3) 高温に耐える

整流作用をつかさどる P-N ジャンクションは、最高温度150°Cで連続使用可能である。

### (4) 保守取扱いが簡便

静止器で構造が単純であり、また付属装置が少なく消耗部分がないため操作、保守点検がきわめて簡便で



第2図 各種整流機器の総合効率

ある。

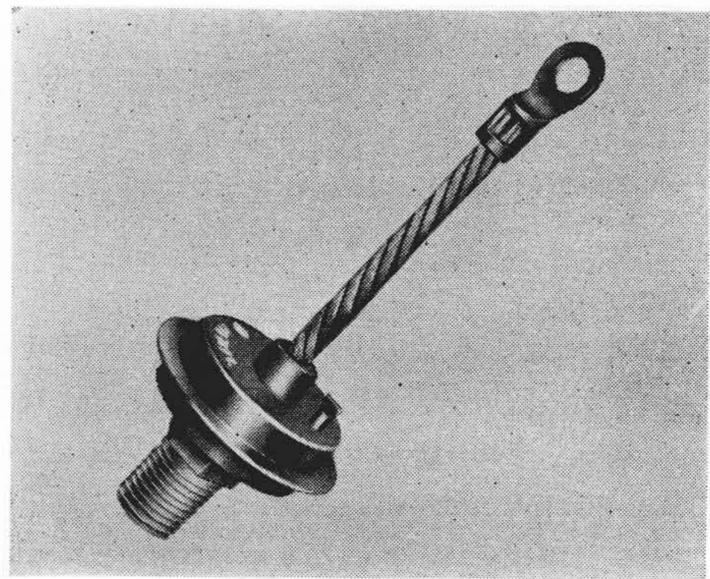
一方シリコン整流器の欠点としては次のことがあげられる。

- (1) 電流密度が高くとれるため、熱容量が小さく、したがって過負荷耐量が比較的低い。
- (2) 定格電圧に対するインパルス耐圧の比率が小さい。

上記欠点はシリコン整流器を電鉄用に使用する場合は特に重要な問題となるが、これについては後述する。

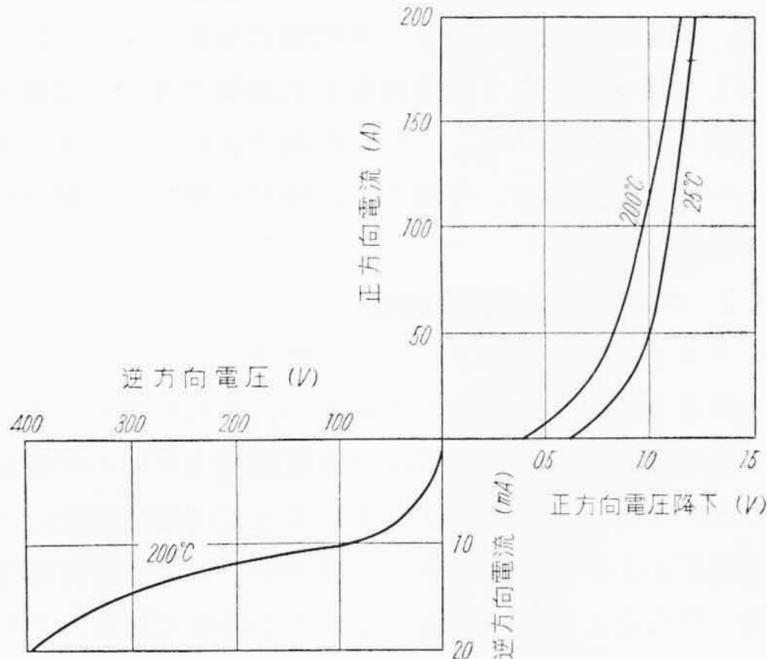
## 3. シリコン整流器エレメントの特性

シリコン整流器エレメントの動作原理についてはほかに譲り<sup>(4)</sup>、ここには一例として、第3図に示したGE社の4JA60C形エレメントの特性について述べると、その標準仕様は下記のとおりである。また第4図はこのエレメントの静特性である。



第3図 4JA60C形シリコン整流器エレメント

最大逆耐電圧 (PIV) .....	300V
最大実効電圧 .....	210V
最大サージ逆耐電圧 .....	400V
出力電流 (平均値) .....	50A
許容過負荷電流波高値(1サイクル) ...	900A
最高許容温度 .....	200°C
許容振動 .....	100サイクルで10 g



第4図 シリコン整流器エレメントの静特性

3.1 正方向特性

エレメントの正方向特性は、エレメントの電流を決定する最大の要素であり、また効率に直接関係する。したがって正方向電圧降下は低いほどすぐれていることになるが、電流が 0.1 乃至 1,000 A の範囲内でほぼ次のごとく表わされる<sup>(5)</sup>。

$$e = 1.18 - \frac{T}{5,800} \log \frac{K}{i} + iR \dots \dots \dots (1)$$

- ここに T: ジャンクションの絶対温度
- K: 常数でエレメントによる
- i: 正方向電流瞬時値
- e: 正方向電圧降下瞬時値
- R: 常数でエレメントによる

(1) 式において第3項の抵抗Rは実際には一定でなく電流とともに減ずるが、

$$K = 7,500A$$

$$R = 0.00145\Omega$$

とおくと、第4図の正方向特性とほぼ一致する。実際に多数のエレメントについて正方向電圧降下を測定した結果では、エレメントによるばらつきは比較的小さく、特性はほぼ揃っていた。

3.2 逆方向特性

エレメントの逆方向特性は、エレメントの逆耐電圧を決定するとともに、エレメントの信頼度を判定する重要な因子である。一般に逆方向特性はエレメントによるば

らつきが比較的大きく、同種類のエレメントにおいては逆流値と逆耐電圧の間にある程度関係がある。またジャンクションの逆流値は温度による変化が比較的大きく、200°Cにおける逆流値は常温に比してほぼ数倍であるが、中にはほとんど変化のないものもある。しかしながら逆耐電圧は温度によりあまり変化せず、むしろ温度の増加とともに増加する傾向のものも認められる。

シリコン整流器においてはインパルス耐圧が比較的小さいことはさきに述べたとおりであるが、インパルス耐圧と商用周波破壊電圧の比、すなわちインパルス比は1に近い。したがって実際にエレメントを使用する場合にはインパルス耐圧がきわめて重要な問題になるが、この点に関しては相当多くのエレメントにインパルスを印加し、その破壊電圧を調べた。その試験結果によると、これらのエレメントはいずれも 400V 以上の耐圧を有し、中には 1,000V 以上の耐圧を有することが明らかになった。

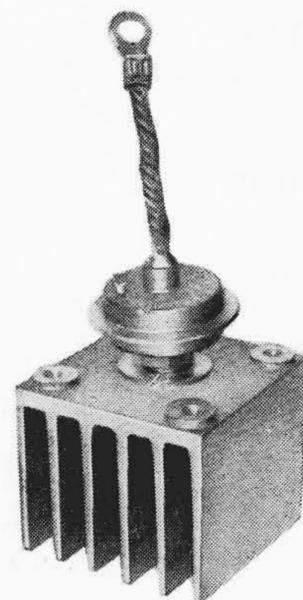
3.3 許容温度

シリコン P-N ジャンクションの温度を正確かつ簡単に実測することはきわめて重要であるにもかかわらず困難である。ジャンクションの許容温度としては会社により 140°C乃至 200°Cという値が発表されており、まだ定説がない。これは製作技術に差があることとともに過負荷に対する余裕などの考え方が異なることにもよると思われる。したがって各種の使用条件に対して長期間連続使用することを考慮するとき、現状では大体 150°C 以下で使用するのが妥当と思われる。

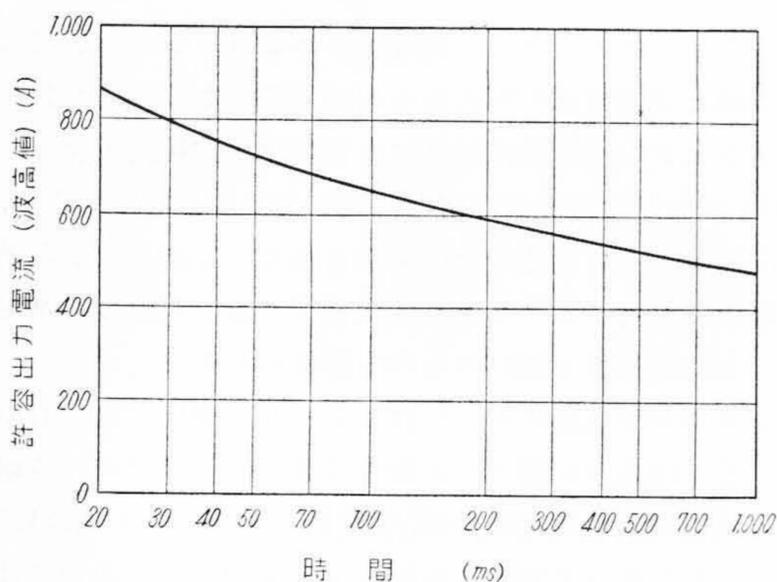
シリコン整流器は電流密度がきわめて高いため、単位面積あたりに発生する熱損失は大きく、したがって有効な冷却が必要であるが、今回製作したシリコン整流器の冷却体を第5図に示す。これは強制風冷方式を採用しており、冷却体はアルミニウム製である。

3.4 過負荷耐量

シリコン整流器の過負荷耐量が小さいことはさきに述べたとおりであるが、エレメントの許容出力電流と通電時間の関係を第6図に示す。一般に1サイクル許容電流の定格電流に対する比は、ゲルマニウム整流器では10数倍であるが、シリコン整流器では数倍にすぎない。したがってこの過負荷特性はきわめて重要な問題であるが、これはエレメントの温度上昇と関係がある。



第5図 シリコン整流器エレメントと冷却体



第6図 シリコン整流器エレメント過負荷耐量

実験結果によるとジャンクションの温度上昇はほぼ次式で表わされる。

$$\theta = P \left\{ R_J \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_J}} \right) + R_F \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_F}} \right) \right\} \dots (2)$$

- ここに  $\theta$  : ジャンクションの温度上昇(°C)  
 $P$  : 損失(W)  
 $R_J$  : ジャンクションと冷却体との熱抵抗(°C/W)  
 $R_F$  : 冷却体と冷却媒体との熱抵抗(°C/W)  
 $\tau_J$  : ジャンクション近傍の熱時定数(s)  
 $\tau_F$  : 冷却体の熱時定数(s)  
 $t$  : 通電時間(s)

(2)式第1項の  $R_J$  および  $\tau_J$  は冷却条件にほとんど無関係であるが、第2項の  $R_F$ ,  $\tau_F$  は冷却条件により左右され、冷却体の熱容量が大なるほどまた冷却体から冷却媒体の熱伝達効果の小なるほど時定数  $\tau_F$  は大となり、一般に  $\tau_F$  は  $\tau_J$  に比し相当大きな値となる。したがって持続時間が10秒以上になるような過負荷に対する耐量は冷却条件の影響を受けることになり、電鉄用シリコン整流器のように変動負荷をとる場合には過渡時に対する冷却条件の設計も重要な問題となってくる。

#### 4. 整流回路の構成

##### 4.1 整流回路

シリコン整流器の整流回路としては特に低電圧の場合相間リアクトル付六相二重星形結線が用いられるが、一般には三相ブリッジ結線が採用される。これは同一出力電圧に対してエレメントの逆耐電圧が $\frac{1}{2}$ であることおよび変圧器の容量が小さくてすむことによるものである。また電車塔載用のように受電が単相の場合には単相ブリッジ結線が採用される。

現在1エレメントの定格出力電流は数十アンペア乃至百数十アンペアであるゆえ、電力用整流器としては一般

にエレメントをいくつか並列に接続する必要が出てくる。特に大電流の整流器を必要とする場合にはエレメントを並列に接続するのみでなく、整流器を2台以上とし、並列運転をすることになるが、このときは位相をずらして12相、あるいは18相整流回路とすることも<sup>(1)</sup>ある。

電鉄用整流器のように出力電圧が高い場合には当然エレメントをいくつか直列に接続することが必要になってくる。エレメントの直列数に対しては理論的には制限はないが、実際には種々考慮すべき問題点もあり、直列数をへらして第9図のように整流器を直流側で直列に接続する方式も行われている。これらの両方式についてはいずれも一長一短があり、今後さらに検討を要する問題であると思われる。

##### 4.2 エレメントの直列接続

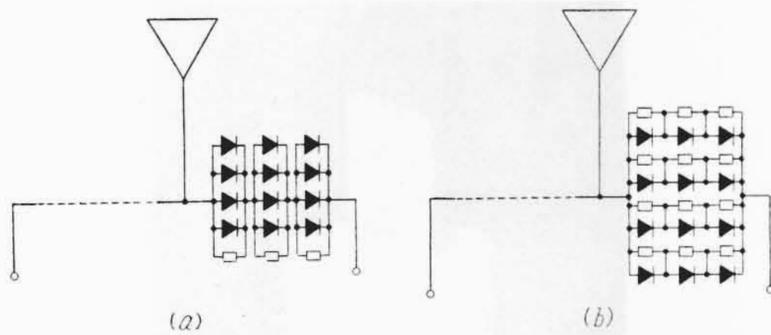
シリコン整流器エレメントの逆特性にばらつきがあることはさきに述べたとおりであるが、これらのエレメントを直列に接続した場合には分担電圧に大きな不平衡を生ずる。したがってエレメントによっては定格電圧以上の逆電圧がかかる危険があり、各エレメントの分担電圧を均一化ならしめる方式をとることが必要になる。このために通常エレメントと並列に抵抗を接続し、その抵抗値をエレメントの逆方向抵抗値の数分の一以下に選ぶことにより、均等な電圧分布をうる方法が用いられている。この分圧抵抗の値は小さいほど分担電圧の不平衡は小さくなるが、容量が増大して損失および寸法が増加するゆえあまり小さく選ぶことはできない。

以上のことは常時加わっている電圧に対するのみでなく、インパルス電圧が印加される場合についても同様に考慮せねばならぬ。インパルス電圧に対してはさらにエレメントのキャパシタンスが影響すること、および大地に対し高電位側のエレメントほど印加電圧が大きくなる傾向があり、この点からエレメントの直列数が相当に大きな場合には抵抗のほかにエレメントと並列にコンデンサを挿入することも必要となる。

一方逆流値と逆耐電圧の間にはある程度関係があり、逆耐電圧の高いエレメントは逆流値が少ない傾向があるゆえ、あまり強制的に電圧を均等化せしめずに逆耐電圧に応じた電圧不平衡を与えた方が、エレメントにとって好ましく、この点からすればエレメントと並列に挿入されたインピーダンスはあまり小さくない方がよい。実際には使用条件に応じて最適条件をきめることが必要である。

##### 4.3 エレメントの並列接続

シリコン整流器エレメントの正方向電圧降下はばらつきが少ないが、多数のエレメントを並列に接続する場合には、エレメントの正方向抵抗が小さいため分担電流の不平衡が無視できない値となる。この電流平衡化の方法



第7図 エレメントの直並列接続

としては従来電流平衡用リアクトルを用いる方式が採用されているが<sup>(6)</sup>、エレメントの並列数が多い場合にはこれは装置が複雑になるとともに、技術的にも難点が伴う。

もう一つの方法としては正方向の特性によりエレメントを何階級かに区分し、特性のよく揃った同一階級のエレメントのみ並列に接続せしめることが行われている。

一般に多数のエレメントを直列および並列に接続する構成法には第7図に示した二とおりが考えられる。(b)図の方法はエレメントが1個破壊したときにほかのエレメントに及ぼす影響が少ないばかりでなく、電流の平衡化が容易であり、(a)図の方法よりも望ましい。すなわち電流の不均衡率は(b)図のようにエレメントを何個か直列にしたものを並列にするときはその直列数の平方根に逆比例する。

以上述べたほかに、並列エレメントの冷却条件をできるだけ同一にして温度の不均衡を少なくすること、およびリード線の長さを各エレメントに均一にすることなどにも十分注意する必要がある。

### 5. 地上変電所用シリコン整流器

第1図は昨年製作した地上変電所用 1,000 kW シリコン整流器であるが、この製作にあたっては幾多の技術的問題点が慎重に検討され、多くの実験を重ねることによって逐次克服されていった。以下主要な点について説明する。

#### 5.1 仕 様

形 式	F-6B
定格出力	1,000 kW
定格電圧	1,500 V
定格電流	667 A
過 負 荷	100%連続 120% 2時間 250% 30秒
整流方式	三相ブリッジ×4組直列
冷 却	強制通風方式
キュービクル	4面

#### 5.2 過負荷定格

シリコン整流器の過負荷耐量は従来の整流機器に比較すると小さく、したがって過負荷定格のいかににより整

流器のエレメント構成は著しい影響を受ける。一方電鉄負荷はほとんど尖頭負荷の連続であり、シリコン整流器にとってはきわめて苛酷な条件である。従来水銀整流器のE種定格としては 120% 2時間、300% 1分の過負荷を定めているが、これをそのままシリコン整流器に適用することは必ずしも妥当ではない。負荷の状況をシリコン整流器応用の立場から再検討する必要がある。

電鉄負荷の実態調査については詳細な資料がすでに発表されているが<sup>(7)</sup>、シリコン整流器にとって最も問題となるのは負荷の尖頭値とその持続時間である。これに関して種々検討した結果として上記過負荷定格を決定するに至ったが、これは 1,000 kW 水銀整流器に相当した変換装置としてシリコン整流器を使用することを前提としたものである。

過負荷定格を決めるにあたってそれと密接な関係があるのは電圧変動率である。これは負荷分担に関するのみでなく直流側短絡事故の際の短絡電流を決定する重要な要素であり、シリコン整流器にとってはできるだけ大きいことが望ましい。しかし電圧変動率をいたずらに大きくすることは尖頭負荷の連続である電鉄用整流器としてはその使命を有効に達成することができない。これらの点を考慮して電圧変動率を6%としたが、今後さらに調査するために変圧器の一次側にリアクトルを設け、これの挿入により電圧変動率を8%とすることもできるようにした。

シリコン整流器の過渡的温度上昇に関しては(2)式に示したところであるが、実験の結果では熱時定数  $\tau_J$  は非常に短く数百ミリ秒以下であり、一方  $\tau_F$  は数十秒以上である。したがって電鉄用として運転中の温度上昇は下式のように簡略化して考えればよい。

$$\theta = P \left\{ R_J + R_F \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_F}} \right) \right\} \dots\dots\dots (3)$$

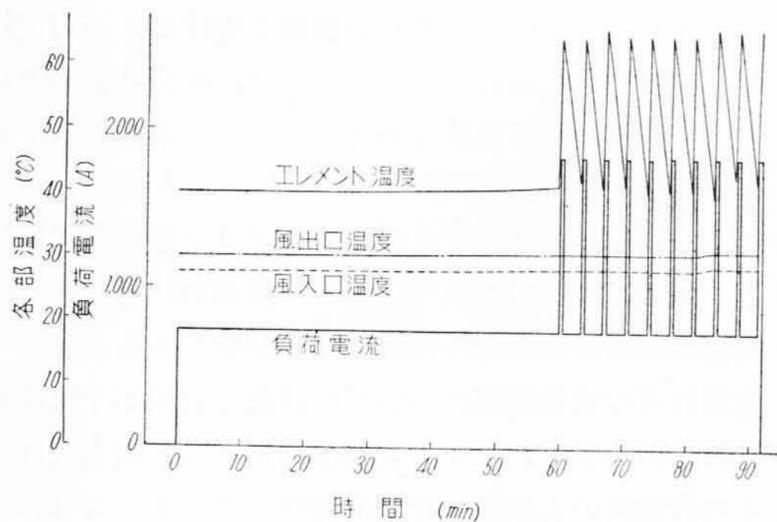
温度上昇の点から過負荷定格を考えると、シリコン整流器のエレメント構成は 250% 30秒の定格によってほぼ決定されることになり、連続定格に対しては相当に余裕のあるものとなる。冷却条件としては熱時定数  $\tau_F$  を 30秒より大きくとることが効果的である。第8図は負荷試験曲線である。図中エレメント温度はエレメントのスタッド部の温度である。

#### 5.3 保護方式

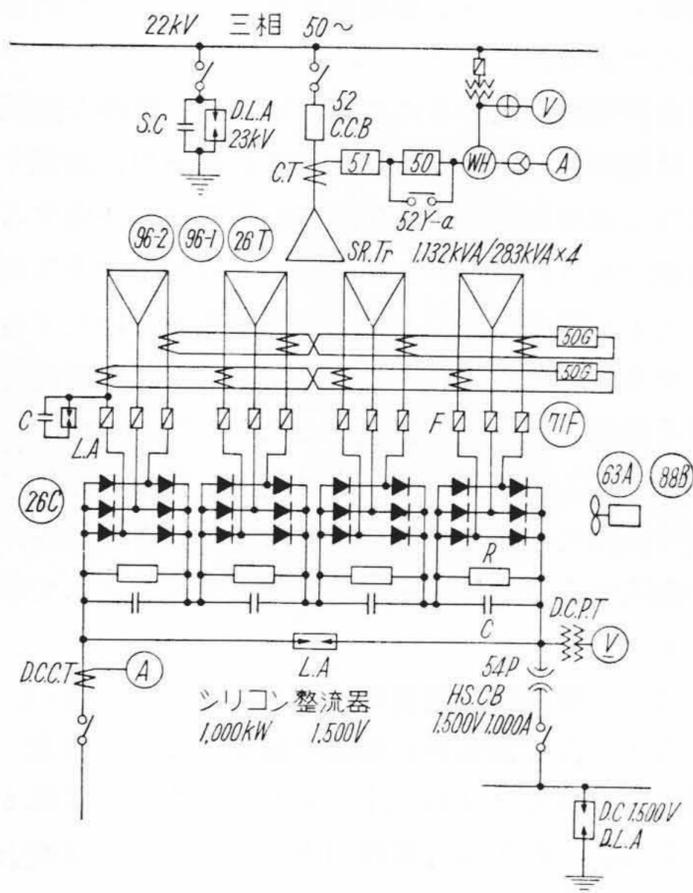
第9図はシリコン整流器の結線図である。従来の水銀整流器と同様に行っている一般的な保護方式については省略し、特異な点のみ説明することにする。

##### (1) エレメントの事故

シリコン整流器のエレメントはジャンクションが完全に密封され、外気の影響を受けないようにしているゆえ、適正な使用条件のもとでは寿命は著しく長い



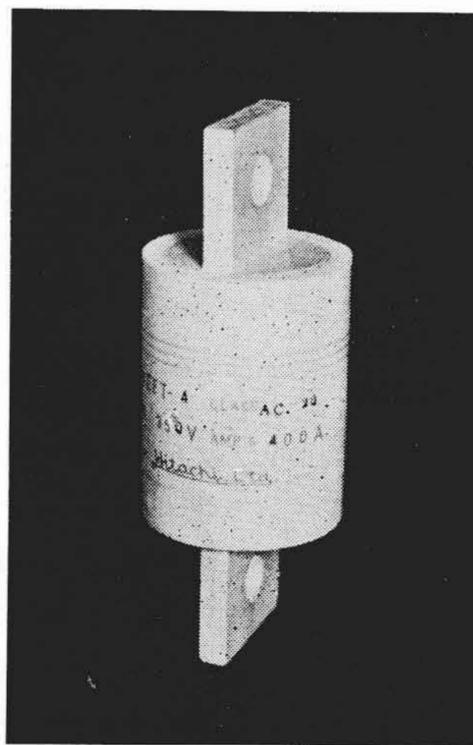
第8図 負荷試験曲線



第9図 1,000 kW 1,500 V シリコン整流器結線図

と思われる。しかしながら外部の条件により万一破壊した場合にはそれをできるだけ局所化し、ほかの健全なエレメントに事故が波及しないようにすることが不可欠である。

エレメントが数個直列に接続されている場合には、その中の1個が破壊してもそのままある期間運転が続けられるが、残りのエレメントに電圧が余分にかかり、漸次それらが破壊することが予想される。このようにして直列のエレメントが全部破壊した場合には、変圧器二次短絡となり、ほかの健全なエレメントにも過大な電流が流れ、破損せしめる恐れがある。これを防ぐために特にシリコン整流器用として高電圧



第10図 ハイラップヒューズ

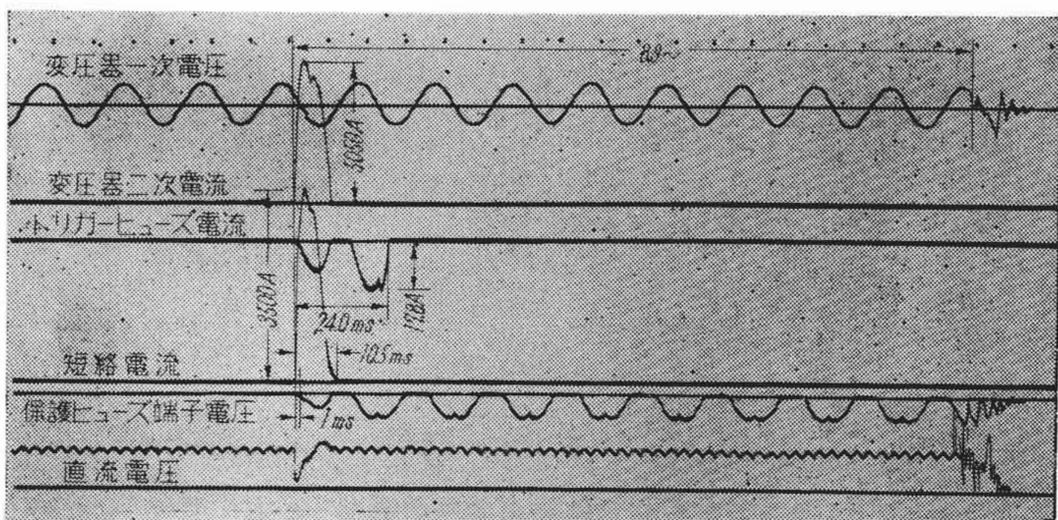
回路に使用可能なハイラップヒューズ(Hi-Rup Fuse)を製作した。第10図はその外観を示す。

ハイラップヒューズは過大な短絡電流の急峻な立上り中に溶断して限流する性能を有するもので、その溶断特性はエレメントの過負荷曲線と十分に協調をとらねばならない。第11図はエレメントの破壊を想定した試験結果を示し、短絡後1ミリ秒でヒューズは溶断を始めて限流効果を示し、約0.5サイクルで短絡電流を完全に遮断している。ヒューズが溶断するとそれと並列に挿入されたトリガーヒューズが動作して電源を遮断するとともに、キュービクル内に故障位置を表示する。

なおエレメント短絡の場合にはブリッジ結線であるゆえ通常の水銀整流器の逆弧と異なり、饋電線からの逆流は生じない。

(2) 過負荷保護

地上変電所用シリコン整流器は多くの場合水銀整流器または回転変流機と並列に運転されることになるが、これら並列機器の逆弧または閃絡が発生した場合、



第11図 直列エレメント故障試験オシログラム

直流側短絡事故を生ずる。これは高速度遮断器により遮断するが、それまでの間シリコン整流器は短絡電流に十分耐えるようにエレメントを構成せねばならぬ。

短絡事故の場合には(2)式の第2項は無視することができる。次のように簡単に書くことができる。

$$\theta = PR_J \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_J}} \right) \dots\dots\dots (4)$$

時定数  $\tau_J$  を逆流の変化により実測したが、数十ミリ秒となり、これを用いて(4)式から過負荷耐量を求めると第6図と一致しない。これは短時間の過負荷耐量に対しては(4)式のごとき温度上昇でなくジャンクションの局部加熱が影響しているためと思われる。したがって短時間の過負荷耐量としては第6図により考えねばならぬ。なお直流短絡の場合ハイラップヒューズは溶断せぬよう協調をとってある。また高速度遮断器のほか高速度過電流継電器が変圧器の一次側および二次側に設けてあり、保護の上で万全の対策をとっている。

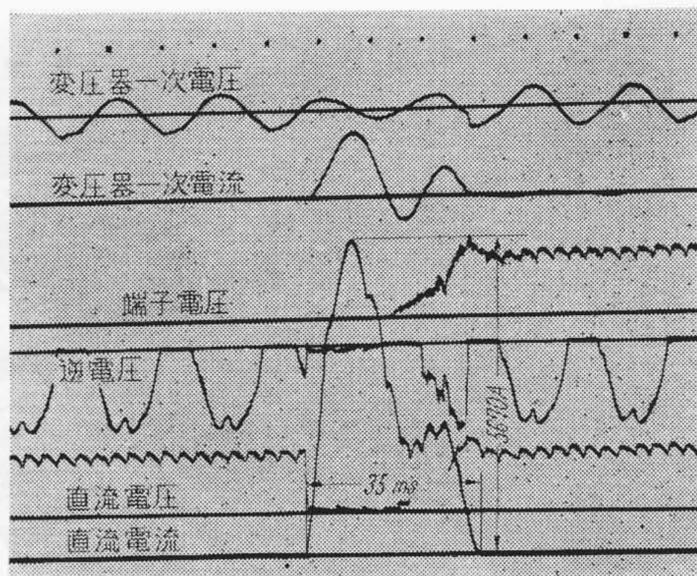
第12図は直流側短絡試験のオシログラムで、エレメントには全然異常のないことが確認された。

(3) 異常電圧

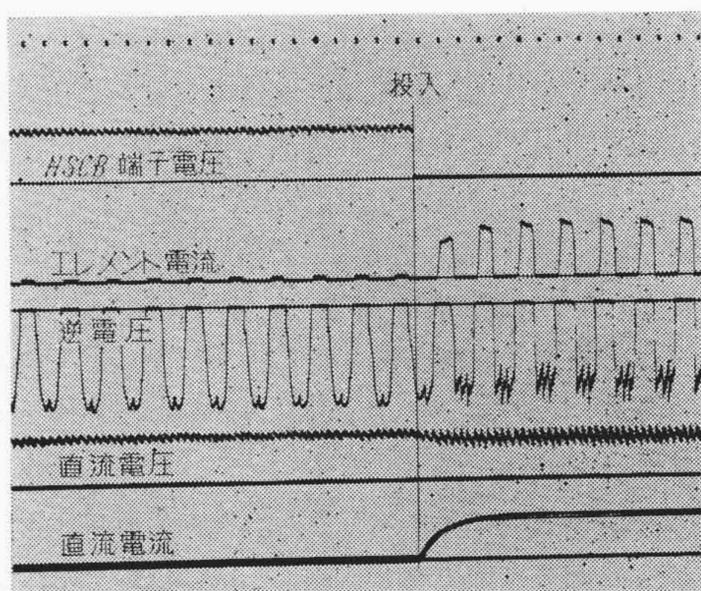
シリコン整流器の欠点として過電圧強度が小さいことはさきに述べたところであるが、電鉄用シリコン整流器としてはこれがほぼエレメントの直列数を決定することになる。余裕のあるエレメント構成により十分な過電圧強度をもたせることはいたずらに整流器を不経済なものとするゆえ、保護装置を完備してできるだけ直列枚数を減じなければならない。このためには従来の電力用機器とは異なった方式により異常電圧を低減吸収し常にエレメントの逆耐電圧以下に抑制する必要がある。

電源側より侵入するサージ電圧に対しては、変圧器の一次側のみならず二次側にもサージアブソーバおよびアレスタを備えることは、ゲルマニウム整流器の場合と同様である。しかし電鉄負荷に対しては負荷である直流饋電線側より侵入するサージ電圧があり、これに対する保護方式がきわめて重要な問題となる。このため直流側には衝撃放電開始電圧が 5,000 V 以下の特殊なアレスタを用いて、侵入する異常電圧をシリコン整流器の耐圧以下ならしめるとともに、整流器の4群のおのおのに均等に電圧が分布するよう各群の直流側に抵抗器とコンデンサを設けた。

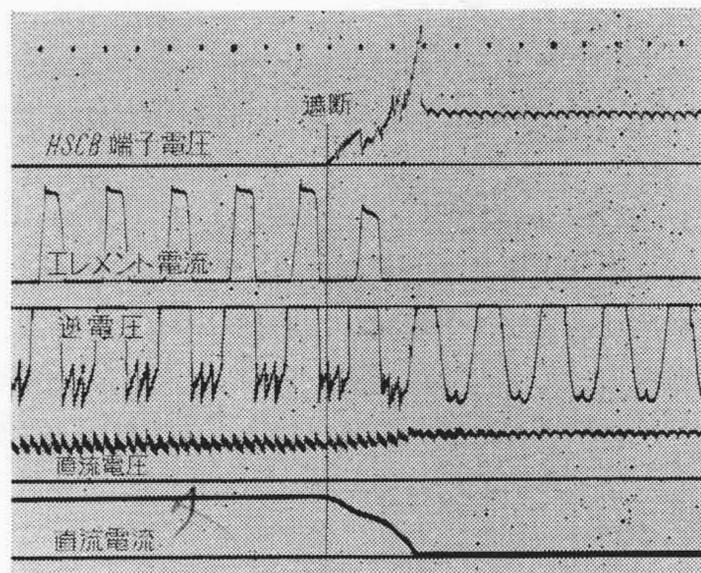
異常電圧としてはさらに開閉サージがあるが、地上変電所用シリコン整流器は負荷の投入、開放を直流側で行うため、直流高速度遮断器の開閉サージが問題になる。第13図および第14図はその試験結果を示すが、遮断時に遮断器の極間に約3倍に近い電圧が発生



第12図 直流側短絡試験オシログラム



第13図 起動試験オシログラム (250% 負荷 HSCB 投入時)



第14図 停止試験オシログラム (250% 負荷 HSCB 遮断時)

しているにもかかわらずエレメントにはほとんど異常電圧が認められず、なんら問題がなかった。開閉サージとしては交流側遮断器の投入、開放の場合にも発生するが、この場合もエレメントにかかる電圧は許容電圧以下であることが確認された。

(4) 冷却

冷却に対する保護装置としては、冷却空気出口の温



第15図 シリコン整流器トレイ

度を指示するとともにそれが一定値以上になった場合は警報を発生する。また冷却風量の異常および送風機の事故に対してはそれぞれ電源を遮断する方式を採用し、エレメントの過熱を絶対に避けるようにしてある。

#### 5.4 シリコン整流器の構造

シリコン整流器は第1図に見るようにキュービクル4面よりなり、おのおのは変圧器二次巻線の1組とともに三相ブリッジ回路を構成する。

キュービクルはエレメントを入れた引出状のトレイ、トレイを収納する枠組み、ヒューズ、送風機、温度計、故障表示器よりなる。キュービクルの正面および裏面には扉を設けて簡単にトレイの出し入れおよび点検ができるようにしてある。第15図はトレイの外観を示す。

キュービクルの天井には運転中送風により自動的に開くシャッターが設けてあるが、これは気流継電器の役もする。

#### 5.5 今後の問題点

本整流器は現在日本国有鉄道大井町変電所において種々試験中であるが、工場試験の結果から考えるとき、地上変電所用として十分な性能を発揮することが期待できる。今後に残された最も主要な問題点は、経済上の問題であり、最も経済的に使用するためにはいかにすべきか慎重に検討せねばならない。

シリコン整流器は水銀整流器に比し運転操作、保守点検がきわめて容易であり、将来は漸次小形化していく。これらの長所と欠点をあわせ考えて経済的な使用条件を考慮する必要がある。すなわち同一変電所内で水銀整流器と並列に運転するよりも水銀整流器変電所とシリコン整流器変電所を分けた方が有利と思われるが、それについて総合的に配置を検討するとともに、過負荷定格、電圧変動率についても種々考慮する必要がある。

保護装置に関してはさらに改良してエレメント数を減ずることも重要であるが、さらに尖頭負荷制限装置の使

用も考究する余地があると思われる。

### 6. 電車塔載用シリコン整流器

交流電化の開発に伴い、シリコン整流器を電気機関車および電車に塔載することが望まれてきたが、シリコン整流器の著しい発展によりその可能性もだいぶ高まってきた。

シリコン整流器を電車塔載用として考えるとき、運転および保守がきわめて容易で水銀整流器の予備加熱のような操作が不要であること、場所の条件を考慮して適当な構造を自由に選べることなどきわめて適している。特に将来エレメントの性能向上により著しく小形軽量化した場合にはきわめて有利となる。しかしながら技術的問題点は相当存在し、すみやかにそれらが解決されねばならぬ状況にある。

今回製作した575 kWシリコン整流器は交直両用電車に塔載され、すでに昨年末仙山線においてある程度試験が行われたが、その好成績により今後の見通しも著しく明るくなってきた。以下その概要につき説明するが、第16図は結線図を示す。

#### 6.1 仕様

仕様	F-4B
定格出力	575 kW
定格電圧	1,350 V
定格電流	426 A
過負荷	650 A 30秒
整流方式	単相ブリッジ×2組直列
冷却	強制通風方式

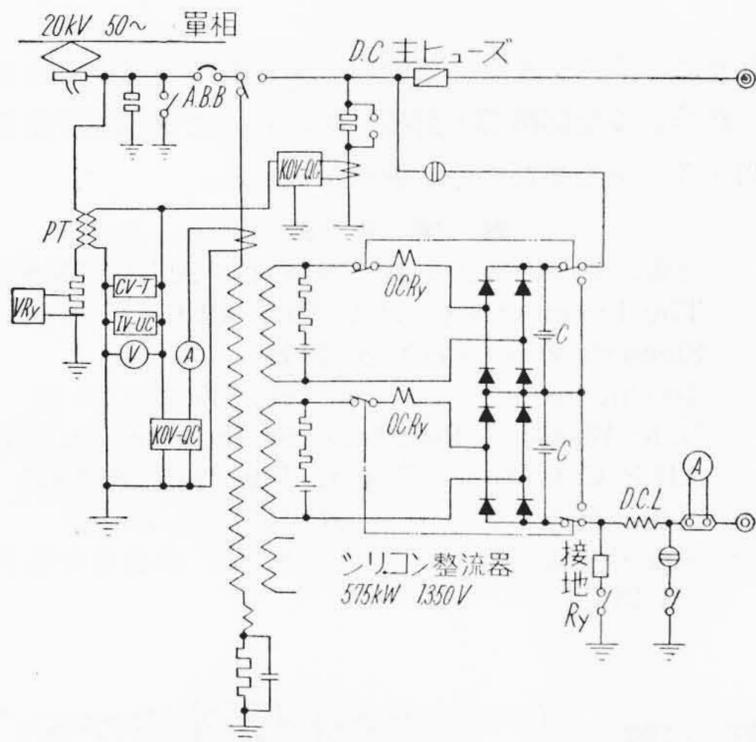
#### 6.2 過負荷

電车用シリコン整流器は地上変電所用に比べ、過負荷が小さく、尖頭負荷としては起動時の電流のみであり、また並列運転機器がなく、電圧変動率も比較的大きくとれることにより、有利な条件となっている。

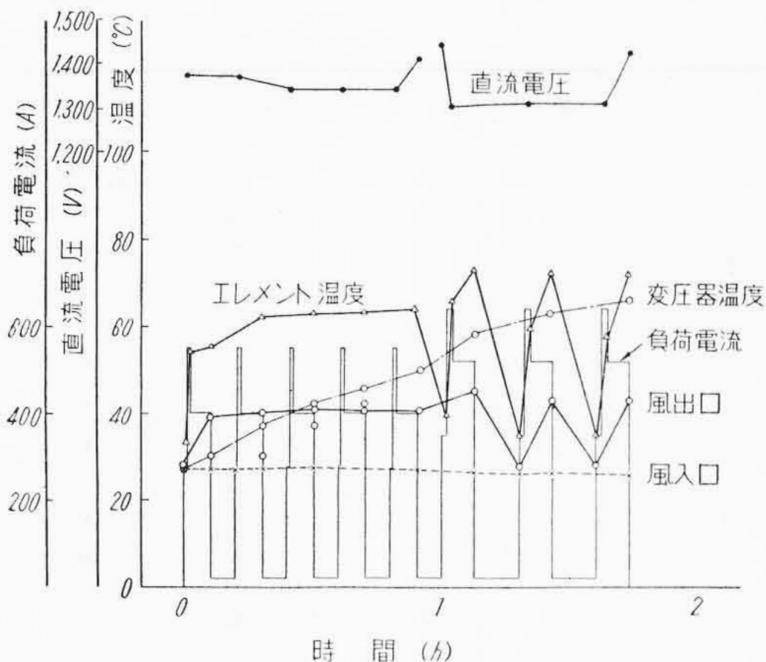
運転中のジャンクション温度は(3)式を用いることにより計算されるが、冷却条件としては熱時定数 $\tau_F$ が直線加速時間以上の値をとるようにすることが有利である。

第17図は工場における実負荷想定試験曲線で、冷却効果の適当であることがわかる。

事故による過負荷としては電動機の閃絡が考えられるが、直列の電動機が2個同時に閃絡した場合には短絡電流が流れることになる。この場合もその短絡電流は電圧変動率により左右され、それによりエレメントの並列数にも関係してくる。すなわち閃絡を生じた場合交流側遮断器により短絡電流を遮断するまでの時間、シリコン整流器はその短絡電流に十分耐えることが必要になってくる。



第 16 図 交直両用電車用シリコン整流器結線図



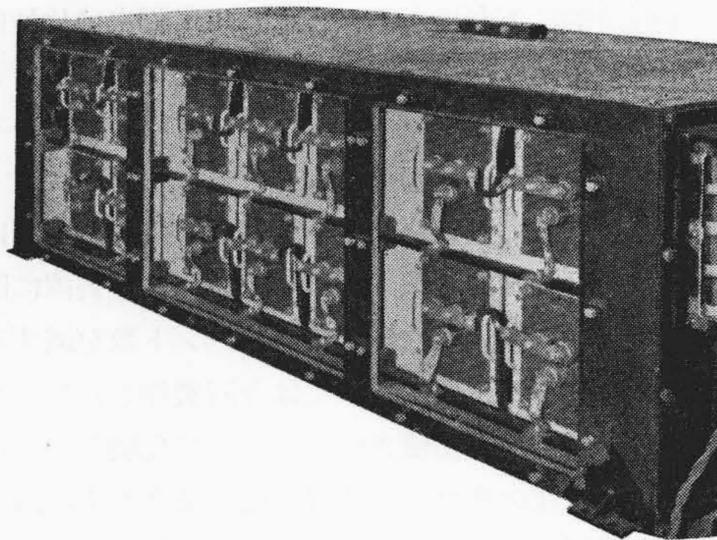
第 17 図 実負荷想定試験曲線

6.3 エレメントの事故

シリコン整流器のエレメントが万一破壊しても、直列にある残りのエレメントがその分だけ余分な電圧にある程度の時間耐えることはさきに説明したが、あらかじめエレメントの直列数を1個余分にしておく、その場合でも長期間運転可能である。ただしその事故エレメントを容易に見出すために、点検用端子を設けてある。また万一整流器の1群が事故で運転不可能になった場合にも、その群を切り離してほかの健全な群のみにより、出力電圧を1/2として運転可能ならしめてある。

6.4 異常電圧

電車用シリコン整流器は直流側より侵入する外雷がなく、この点保護の上から地上変電所に比し非常に有利である。交流側よりのサージ電圧および開閉サージに対しては地上変電所用シリコン整流器と同様な保護方式を採用しており、試験の結果も満足すべきことが明らかにな



第 18 図 575 kW 交直両用電車用シリコン整流器

った。

6.5 シリコン整流器の構造

第 18 図は本整流器の構造を示すが、送風機とともに、交直両用電車の水銀整流器の代りに床下に取りつけうる構造としてある。エレメントはトレイに収納されており、その前面にエレメント点検用端子が設けてある。送風機の風取入口には空気フィルターがあり、塵埃の侵入を防ぐとともに雨雪を防ぐ構造としてある。

電車に搭載する場合、シリコン整流器エレメントの機械的強度が問題となるが、この点に関してはエレメントに電圧を印加したままトレイに対して長期間苛酷な振動試験を実施したが、エレメントにはなんら異常が認められなかった。

6.6 今後の問題点

本整流器は昨年末仙山線において交直両用電車に搭載し、走行試験、短絡試験、異常電圧試験などを実施し、好結果を得た。引き続き今年4月以降仙山線において長期運転試験を行いシリコン整流器の信頼度を確認する予定であるが、今後さらに究明すべき主要問題点としては、保護装置の改良によるエレメント数の縮減がある。

また電動機の閃絡事故に対しても、直列の2台が同時に閃絡する頻度と、それを無視した場合のエレメント数の減少とにより経済性を比較検討するなど、一般に事故に対しても技術的、経済的に総合して検討し、保護方式を確立する必要がある。

7. 結 言

シリコン整流器は実用化してまだ日が浅く、発展の途上にある。特に高純度シリコンの製造技術は今後相当進歩する余地があり、それに伴いエレメントの性能はますます向上し、それに応じてシリコン整流器はエレメント数が減じて全体が小形化する。一方価格も次第に安くなり、特に近い将来国産化された場合には飛躍的に低廉となり、応用はいっそう拍車をかけられることになるであろう。シリコン整流器は電鉄用に対しては工業用におけ

るよりも経済的に不利であるが、それでも将来は比較的経済的な分野からほかの整流機器に相当とて代ることになる。特に電車用としてはきわめて有望であり、その実用化の時期は早くも到来しつつある。

一方電鉄用としてのシリコン整流器の応用に関してはなおいくつかの技術的問題点もあり、特に保護装置に関してはさらにその性能を改良してエレメント数を減ずることが望まれる。これらに関しては今回製作したシリコン整流器の試験結果が蓄積されるに応じて発展しつつあり、また経済的なシリコン整流器の使用条件および設計条件も漸次解明されつつある。その点で今回製作したシリコン整流器は今後の発展に多大の貢献をするであろう。

う。

終りにのぞみシリコン整流器の製作および試験にあたり、終始有益な御指導と御援助を賜った日本国有鉄道の関係者のかたがたに厚く謝意を表す。

#### 参考文献

- (1) 近藤, 森田, 森山: 日立評論 40, 929(昭 33-8)
- (2) The Locomotive, p.62, April 1956
- (3) Siemens Zeitschrift, 5. 1958
- (4) 中戸川, 小川: 日立評論 41, 345 (昭 34-3)
- (5) D. K. Bisson: Rectifiers in Industry p.135, AIEE Conference Paper, June 24~28, 1957
- (6) 近藤, 池田: 日立評論 39, 1237(昭 32-11)
- (7) 電鉄用水銀整流器の定格について, 鉄道電化協会(昭 31-3)

## 特許と新案

### 最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その2)

(第8頁より続く)

区別	登録番号	名称	工場別	氏名	登録年月日
特許	247369	歯車等の掛外し装置	亀戸工場	居駒恒雄	33.12.5
"	247394	誘導電動機の速度制御装置	亀戸工場	森泉袈裟弥	"
"	247395	誘導電動機の速度制御装置	亀戸工場	森泉袈裟弥 益田貞三郎 山崎栄次郎	"
"	247364	二通路変(復)調方式	戸塚工場	田島巖	"
"	247366	パルス列監視装置	戸塚工場	岡崎彰夫	"
"	247368	クロスバスイッチによる数字蓄積表示方法	戸塚工場	江森五郎 中村隆	"
"	247373	4極トランジスタの電流増幅率制御方法	戸塚工場	波多野泰吉	"
"	247370	新規ポリエステル製造方法	絶縁工場	日月紋次郎 鶴田四郎 古島弥善	"
"	247367	共振型材料疲労試験機	中央研究所	須藤卓郎	"
"	247372	サーミスタにより環境の変化を検知する装置	中央研究所	二木久夫	"
"	247378	蛍光体	中央研究所	伴野正美 江本正義 大友義郎	"
特許	247365	閃絡点標定器の自動連続撮影装置	日立研究所	笈川俊雄 赤津芳	33.12.5
実用新案	485707	推力軸受	日立工場	桜井久伍	33.12.9
"	485708	縦軸回転電機の案内軸受	日立工場	長尾善右エ門 桜井久伍	"
"	485709	縦軸水車発電機における調速機用発電機連結装置	日立工場	菊地弥十郎	"
"	485710	縦軸回転電機の軸受装置	日立工場	菊地弥十郎 森昌夫	"
"	485738	信号標示器	日立工場	吉沢宗三郎	"
"	485739	回転電機の集電装置	日立工場	藤久保三四郎	"
"	485741	限時継電器	日立工場	椎名光雄 村木行正	"
"	485742	大気放出弁	日立工場	橋大輔	"
"	485743	誘導電動機回転子	日立工場	磯部昭二 滑川寅男	"
実用新案	485747	磁極固定装置	日立工場	小林徳太郎	33.12.9

(第33頁へ続く)