Operation and Maintenance of the Power Rectifiers

金原和夫*大川幹彦*
Kazuo Kinbara Kikihiko Okawa

1. 緒 言

静止形電力用整流器は大別して,水銀整流器と半導体 整流器とに別けられる。

水銀整流器は古くから多方面に使用されているが、風冷式、封じ切り形の出現に伴い、ますます広範囲の分野で使用されつつあり、特に制御が可能であること、さらに逆変換装置として使えることから、今後はこの方面に用途が開発されて行くものと考えられる。

半導体整流器は約5年前に電力用ゲルマニウム整流器,続いてシリコン整流器が実用に供され、そのすぐれた性能と保守取扱いの簡便さとから、急速に開発され、従来のあらゆる整流器の分野にまで使用範囲が広げられつつあり、今後いっそう進歩発達して行くものと考えられる。

ここでは、この水銀整流器と半導体整流器の運転を行 う時に必要な取り扱いと保守の実際について、おのおの その特異性を主として述べることとする。

2. 水銀整流器の取り扱いと保守

水銀整流器の用途は化学用、電鉄用のみならず、静止レオナード装置、周波数変換器、車両用など広範囲にわたり、それぞれ用途によって多少の差はあっても、取り扱い保守の要とするところは、すべてに共通しておりこれはまた日常、取扱者が常に心得えておくべきことでもある。水銀整流器は電気機械のうち、変圧器、電動機などの電磁現象を原理としたものとは異なり、放電現象であることを考慮しなければならない。根本原理や回路構成上の詳細な説明はここでは省略するが、取り扱い保守の要とするところは一言にしていえば、運転中の放電現象(アーク放電)をいかにして安定なものとするかにつくされる。このための具体的な取り扱い、保守上最も留意すべき点は第1に整流器内部の真空圧力の維持と、温

* 日立製作所日立工場

度すなわち冷却条件の確保であり、第2に制御装置、付 属装置の機能の維持である。制御装置にはアークを保持 する点励弧回路や格子の位相を整定する装置など特殊な 器具が多いので、これらの作用を十分理解しておくこと が必要である。以下、水銀整流器のすえ付けから運転ま での取扱上注意を要する点、運転中の保守要領などの概 略を記し、さらに現場試験の方法について簡単に記すこ とにする。

2.1 水銀整流器の種別,構造

水銀整流器は、常時真空ポンプで排気している排気形と真空ポンプを持たない密閉形、すなわち封じ切り形の別、1個の真空槽の内部に数個の陽極を持つ多極形と1個の真空槽内に1個の陽極を持つ単極形の別、および冷却方式では水冷式と風冷式の別があるが、本質的にはなんら異なるところはない。

また,内部電極の中,格子のないものおよび格子付の ものの別もあり,さらに格子付の整流器でも使用目的に 応じて二重格子,三重格子の構造を有するものがある。

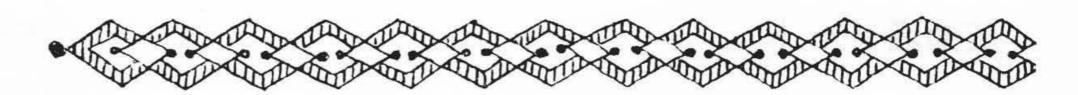
2.2 すえ付けから運転までの取り扱い

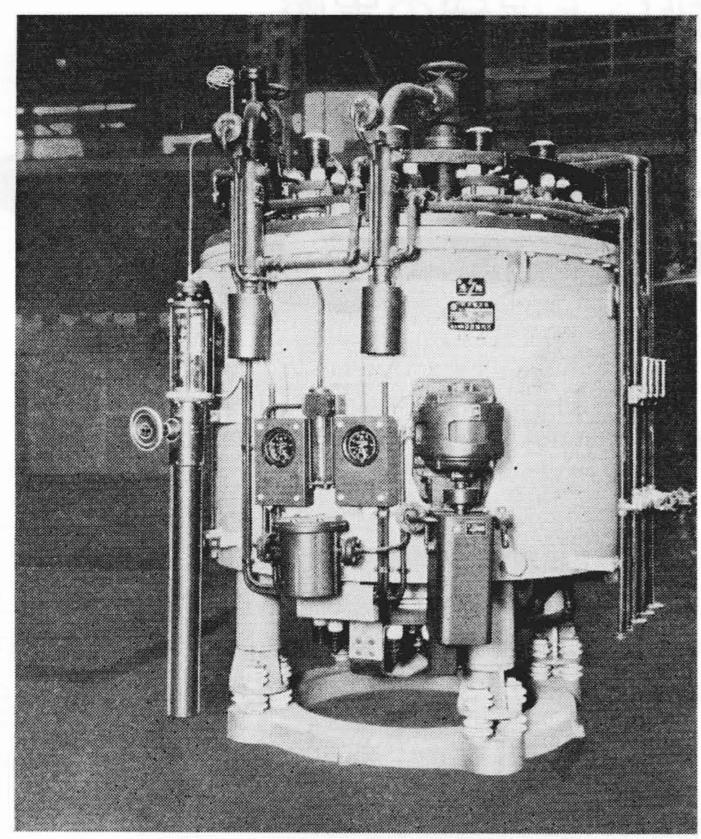
すえ付けから運転までの間に必要な各部品の取扱方法 の要点を述べるが、これはまた運転中の保守においても 心得ておかねばならない根本的な事がらである。

(1) 衝撃を与えないこと

整流器は内部に複雑な電極を有しており、また真空を保つためのパッキングや絶縁がい子などがあるので取扱上で衝撃は厳禁である。落下、投げ渡しを避けることはもちろん、特に整流タンクの電極、パッキング類の取り扱いは慎重にし、スパナなどの工具を使う時にはシール部分に保護カバーをかけるなどの注意を払うこと。また移動の際は運搬車またはコロを使用して徐々に動かさなくてはならない(ただし、車両用のように耐震構造のものはこの限りでない)。

(2) 整流タンク,水銀ポンプは垂直に保つこと 多極整流器は整流タンクと水銀ポンプは一体に取り





2,000 kW, 1,500 V, 1,333 A 重負荷公称定格 第1図 電鉄用水冷多極整流器

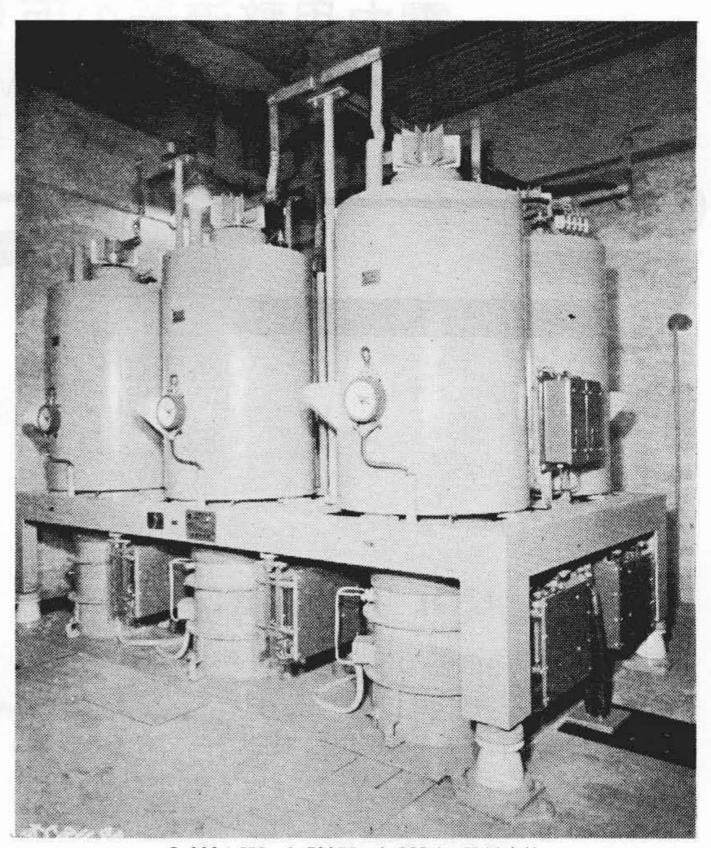
付けられているが、単極の場合にはタンクとポンプは別になっている。これらは、その底部に水銀があるため過度の傾斜をすると水銀が移動して電極に触れ悪影響を与える。また内部電極、がい子、パッキングに無理な力が加わり、ひいては真空の破壊、電極の異状をきたすことがあるので、取り付け、移動の際は無理のないようにしなければならない。傾斜の限度は15度である。

(3) 保管のときには防湿防塵に注意すること

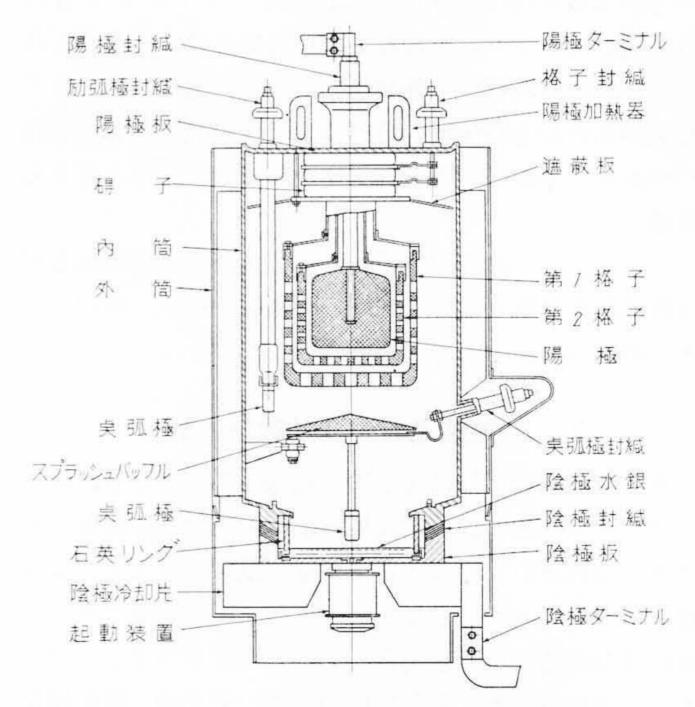
保管の場合には真空系の部品は排気した状態に保っておくこと。また電極の絶縁を劣化させないため、温度変化の大きい場所、過度の湿気のある場所を避け、また塵埃のかからぬよう保護カバーを準備しておくべきである。水冷式のものでは冷却水を完全に抜いて、凍結、腐食のおそれのないようにしておくことが必要である。酸気のガスが含まれている場所はさびが生じる原因となるから避けねばならない。保管は、ただソッと放置しておくのでなく、いつでも使用できるような状態に維持することである。

(4) 予備品の取り扱い

予備タンクは長期間の保管でも衝撃,傾斜,てん倒することのない設置方法をとり,事故のときにはただちに交換できるようにしなければならない。抵抗器,コンデンサなどは端子部にさびが生じないよう防湿カバーを準備すること。パッキング類は直射日光,過度の湿気をさけ,ゴムの劣化を防がねばならない。マク



3,000 kW, 1,500V, 1,333A E種定格 第2図 風冷単極封じ切り整流器

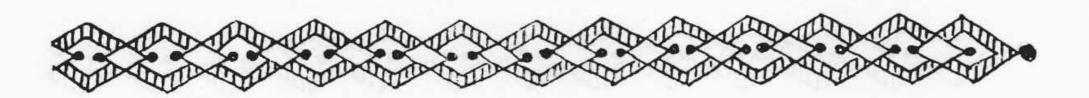


第3図 水冷式単極整流器内部構造

レオド真空計のガラス部品,回転ポンプのリザーバ, ガラスなどは破損せぬよう特定の保管箱に格納してお く。また冷却扇用電動機は定期的にメグを測定し,時 々運転して異状の有無を確かめておく必要がある。

2.3 運転中の注意事項

以上、一般的な取扱上の注意事項を述べたが、運転中



の整流器の保守の要点を次に述べる。前に述べたとおり,整流器を安定な状態に維持するには,真空と温度が最も重要な点であり,いかなる水銀整流器といえどもこの点に集約されるといっても過言ではない。以下,各項目につき説明する。

2.3.1 真空圧力

運転中の真空圧力はマクレオド真空計で少なくとも 1 ミクロン未満であることを要する。よく化成された整流器はこの条件を満足しているが、急に真空が悪化したり、常時1 ミクロン以上であったりする場合には 異状があると見て運転を停止してこの原因を確かめなければならない。この場合、器槽内部のもれによるものか、または真空ポンプに原因があるかをまず判別し内部のもれのときにはパッキング類のもれか、水もれかを確かめるのが早道である。

封じ切り整流器では運転中の真空圧力を測定することができないので、後述の真空圧力判定試験により静的な真空圧力を定期的に点検したほうがよい。

2.3.2 温度の制御,冷却条件

(a) 周囲温度

水銀整流器はその本質上、過熱または過冷を絶対に 避けねばならず、したがって周囲温度の制御は運転上 特に注意を払う必要がある。周囲温度の最適は20~25 度である。水冷式の場合には器槽内部の損失の大部分 は冷却水により室外へ運び去られるが、風冷式の場合 には整流器室内で循環して周囲温度を高めることがあ るので、換気扇またはクーラの適当な使用により年間 の室温変化をなるべく少なくするよう考慮せねばなら ない。

最近の水銀整流器は周囲温度 5° C \sim 40 $^{\circ}$ Cの範囲で十分使用しうるようになっているが、なるべく上記の最適温度に近い室温で運転するほうが、のぞましい。

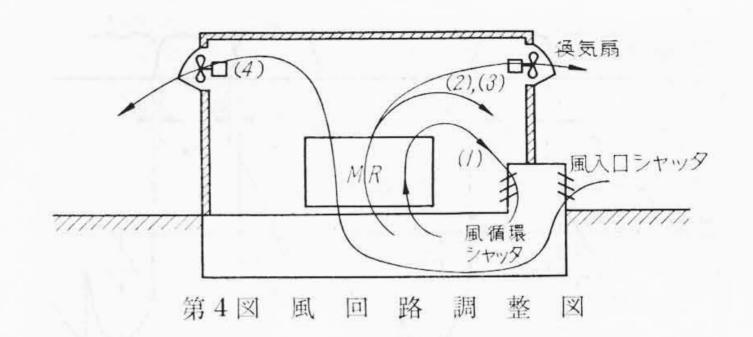
(b) 温度制御

水冷式の場合には冷却水温度と冷却水量を変化する ことで適当な温度を維持できる。適温は個々の整流器 で多少の差はあっても,大体次の値を基準としてよい。

整流器入口水温	$25\pm10^{\circ}\mathrm{C}$
鉄槽出口水温	$40\pm10^{\circ}\mathrm{C}$
凝縮筒出口水温	$30 + 10^{\circ}$ C

再冷却器を有する間接冷却方式の場合は整流器循環 冷却水の水量を一定に保ち,負荷の変動に応じて再冷 却器の冷却水量を加減することにより温度制御を行 う。ただし,温度変化は緩慢であるので,徐々に調節 してゆくことが温度制御のコツである。

風冷式の場合には陰極加熱器および器槽冷却扇の 入,切および速度切り替えで器槽温度の制御を行う。



温度継電器のあるものはこれらの調整を自動的に行う ことができる。

加熱器,冷却扇の使用はおのおのの整流器によって 異なるが,一例を示すと次のとおりである。

器槽温度が35℃以下となったら陰極加熱器を入れ, 器槽温度が40℃に上ったら陰極加熱器を切る。

器槽温度が45°Cに上ったら器槽冷却扇を低速運転し 器槽温度が40°Cに下ったら器槽冷却扇を停止する。

器槽温度が50℃に上ったら器槽冷却扇を低速から高速に切り替え,45℃に下ったら,器槽冷却扇を高速から低速に切り替える。

この器槽温度の変動をなるべく少なくすることが望ましいが,それには冷却空気の回路を調整する。いま 風回路調整の一例として

- (i) 室内換気扇
- (ii) 風循環用シャッタ
- (iii) 風入口シャッタ

のある場合について操作順序を次に示す。

	換気扇	風循環シャッタ	風 入 口シャッタ	
(i)	停止	全開	全閉	冬期
(ii)	運転	全開	一部開	
(iii)	運転	1/2開	1/2 閉	↓
(iv)	運転	全閉	全開	夏期

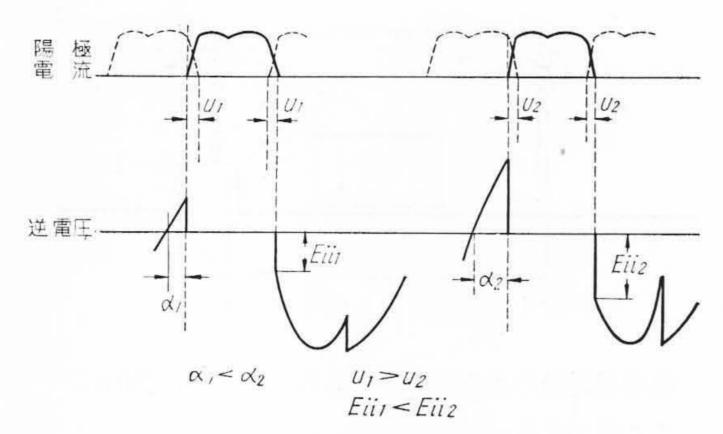
いずれの場合においても整流器冷却扇は高速または低速でなるべく連続運転となるようにし、しかも器槽温度が適温に保たれるように風回路を調整するのがじょうずな方法である。また整流器の温度分布を適当に保つことも重要なことであり、このため陽極加熱器は常時運転として、陽極部を器槽温度より少なくとも10°C以上高めることが安定運転の条件である。

2.3.3 格子制御範囲の厳守

(a) 格子制御を行わない電鉄用などの場合

この場合に注意すべきことは、格子率 100% (制御率 0%)、すなわち電圧最大の位置から格子電圧位相を進め過ぎると過渡的に単相全波整流となり、急激に電圧が低下し、特定の陽極のみが過負荷となって危険である。したがって格子率 100%の位置から 20~30度





第5図 格子制御時の波形

進めの位置を限度として、これ以上進めないよう注意 しなければならない。

(b) 格子制御を行う化学用,レオナード,周波数変 換器などの場合

格子制御角を大きくすることは、逆弧ひん度を増す ことになるので、規定格子率を厳守しなければならな い。逆弧ひん度は

(通電直後に印加される逆電圧の大きさ)

×(通電終期の電流変化率)

に比例すると考えられているので、格子制御角を大きくすると通電直後に印加される逆電圧の大きさ E_{ii2} は大きくなり、かつ、重なり角 u_2 が小さくなるので電流変化率も大きくなり、したがって逆弧ひん度は高くなる。このため許容格子率まで格子制御を行っても、なお電圧の高いときには格子制御角を増すことなく、整流器用変圧器のタップによって電圧を下げるようにすべきである。

また格子率を下げて使用するときは相間リアクトル の端子電圧が上昇するので、その許容限度にも関係す る。このほか、過度の格子制御は誘導障害をきたすこ とにもなるので十分注意しなければならない。

2.3.4 点励弧回路

点励弧回路はアークを維持するための最も重要な装置なので、電流を常に規定値以下とならぬよう調整しておくことが大切である。受電電圧の変動の多いところでは特にこの点に注意し、受電電圧が低下したときでも規定値が確保できるよう、通常状態の電流値を高めに整定しておくことを考えねばならない。点励弧電源がセレン整流器の場合には劣化のため、電圧降下が大となり点励弧電流が減少することがある。セレンの劣化を判定する目安としてはセレンの温度をときどき測定し、温度上昇が20℃以上となるときは交換の手配をしなければならない。バイアス用セレンに関しても同様である。

点励弧, バイアス電源に M-G を使用しているとき

は,整流子面,刷子の摩耗,軸受油の有無などを点検して異状のないことを確認しておかねばならない。

2.3.5 運転監視

以上の各項目はおもな点のみであるが、このほかにも、常に当初整定した値が保たれているかどうかを確かめ良好な状態が継続できるよう注意を払わねばならない。整流器の内部状態は直視できないので、ちょっとした異常でも早く発見して、事故となる前に適応の処置を講じなければならない。通常1時間ごとの記録をとり、各計器の指示を検討し、また機器の状態を監視しておくことが必要である。

2.4 点 検

水銀整流器を常に最適の状態で全性能を発揮させるためには適切な保守と綿密な点検が必要である。通常点検は機器の重要度および機構上から定期検査と定期大点検とに分け、定期検査は3~4箇月に1回、定期大点検は1年に1回を標準として行う。その内容を簡単に記すと次のとおりである。

(1) 定期検査

- (a) 陽極加熱器, 陰極加熱器の通電検査。抵抗器の 断線の有無, 端子部締付の良否に注意すること。
- (b) 点励弧用継電器の接点の点検。塵埃の除去,接 点荒損に注意すること
- (c) 点励弧電圧の確認。点励弧状態でセレンまたは発電機の出力電圧を測定し、規定値に維持されていることを確かめること(+10%, -5%以内)。
- (d) 温度制御器具の点検。陰極加熱器用,冷却扇用,水温制御用などに温度継電器を使用している場合にはその動作温度を調べ,規定温度で動作することを確かめる必要がある(規定温度の±2°C)。
- (e) 整流器の絶縁抵抗測定。陽極と器槽間,器槽と陰極間,器槽とベース間の絶縁抵抗を測定し,異状の有無を調べること。水冷式の場合には器槽陰極間など水で結ばれるところは数キロオームとなることがある。
- (f) 水銀ポンプ加熱器の通電検査。

(2) 定期大点検

- (a) リークテスト, 真空判定試験。パッキング良否, 水もれの有無などを点検するためにはリークテストによって確認する。このためには通電後, 十分冷却して内部電極からの放出ガスと混同しないよう注意しなければならない。封じ切り整流器は真空判定装置によって内部の真空圧力が運転に支障あるかないかを判定する。
- (b) 点励弧電流調整。点励弧電流を測定し、規定値 となるように直列抵抗器のタップまたはセレン変圧器 のタップ変更を行わねばならない。



- (c) 風道掃除,水あか掃除。
- (d) 冷却扇の点検,水ポンプの点検。特にベアリング部分のグリースを点検し,不足の場合は補充しておくこと。
- (e) 保護継電器の動作試験。高速度過電流継電器, 過電流継電器,低電圧継電器などの動作電流,動作電 圧を試験し,整定値と異なるときは調整を行う必要が ある。
- (f) 水銀ポンプの水銀量測定,分解掃除。水銀ポンプは規定水銀量以外だと排気能力が低下し、器槽内部をよごすおそれがある。したがって定期的に分解点検して内部掃除,水銀量の調整を行わねばならない。
- (g) 回転油ポンプの点検。油もれの有無点検,リザーバのパッキング点検,油の汚濁点検など。
- (h) マクレオド真空計。水銀量は測定位置で水銀が規定線までこなければならない。回転形真空計の場合は一回り前のガラス管上部から、わずかに水銀があぶれ落ちる程度としなければならない。また毛細管内部がよごれた場合には水銀がひっかかることがあるので予備品と交換しなければならない。

2.5 事故の現象と原因

万一事故発生のときには、いかなる原因によって発生したかを調査し今後の運転にふたたび事故を繰返さないよう処置をとらねばならない。水銀整流器のおもな事故、現象、考えられる原因を類別すると第1表のとおりである。

2.6 現場試験の方法

事故時の調査または運転中の波形の測定など種々の試験方法を次に記し、保守上の参考とする。

(1) リークテスト。

リーク量の測定方法の一例として,いま6槽整流器の場合について記す。

冷却状態で5時間以上排気したのち、真空ポンプを停止し1時間後に真空圧力を測定し、主コックおよびセクションコックをとじ、そのままポンプ停止よりt時間後に次の順で測定する。

真空ポンプ停止して1時間後の真空圧力

第1表 水銀整流器の事故原因分類

No.	事故名	現象	考えられる原因
1.	逆 弧	交流側,負荷側とも遮断, 機器停止	 陽極部過冷(建屋,窓からのすきま風など) 温度調整不良 格子回路不整 回路の振動電圧 過負荷 真空不良 過電圧,不平衡 消弧
2.	消弧	 他MRとの負荷分担が 一時的に乱れ,事故 MRの負荷が急減する 点弧用リレーが動作, ランプ点減する インバータ運転のとき は転流失敗となる 	 点弧電流不適正 電源電圧の降下 各部メグ低下 真空不良 温度不適正 振動電圧
3.	失 弧	 他MRとの負荷分担乱れる MRTrのうなり音大となる インバータ運転時は転流失敗となる タンク温度の不平衡(単極形) 	 格子回路不整 各部メグ不良 点励弧電流不足 温度不適 真空不良
4.	通 弧	 格子制御して使用する MRにあっては直流電 圧が規定値より高くな る インバータ運転時は転 流失敗となる 	 格子回路不適正 温度不適当 各部メグ不良 点励弧電流過大 過電圧
5.	真空不良	 点励弧不安定 起動渋滞 他事故の誘発(たとえば逆弧,失弧など) 	 水銀ポンプ加熱器断線 水銀量不適正 回転ポンプ自動コック不良 パッキングたるみ 水もれ 封緘部破損(封じ切りMR)
6.	MR過熱	1. MR温度異常上昇 2. 機器停止	 冷却空気回路不良 温度調節装置の不良 冷却水回路不良 陽極電流不平衡
7.	MR過冷	1. MR温度上昇過少	 温度調節装置の不良 冷却水または空気回路不良 陽極電流不平衡 すきま風などによる局部過冷
8.	異常電圧	 アレスタの動作 場合により機器焼損となる 	 失弧時の異常電圧 逆弧時の異常電圧 外因によるもの

第 5 槽セクションコックを閉じ、第 6 槽セクションコックを開いたときの真空圧力...... d_6 各槽のセクションコックを開いたときの真空圧力 e 以上の値により次式で算出する。

主コックとポンプまでの気密度 $\frac{b-a}{t-1}$ (ミクロン/時)



全真空管路の気密度...
$$\frac{c-a}{t-1}$$
第 1 槽の気密度... $\frac{d_1+\frac{V_P}{V_T}(d_1-c)-a}{t-1}$
第 2 槽の気密度... $\frac{d_2+\frac{V_P}{V_T}(d_2-d_1)-a}{t-1}$
第 6 槽の気密度... $\frac{d_6+\frac{V_P}{V_T}(d_6-d_5)-a}{t-1}$
総合... $\frac{e-a}{t-1}$
ただし V_P =真空管路の容積 (l)

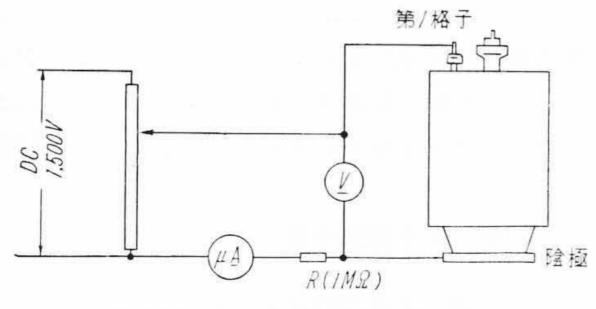
(2) 真空圧力判定

封じ切り整流タンクの真空圧力を判定するためには 第1格子陰極間に DC 1,500 V を加圧し、放電の有無 により調べる。第1格子を(+)、陰極を(-)として徐 々に電圧を加圧してゆき、電流計が急にフレ出す電圧 を読む。この電圧が放電開始電圧である。DC 1,500 V まで放電しないときは真空圧力は運転に支障ないと考 えてよい。

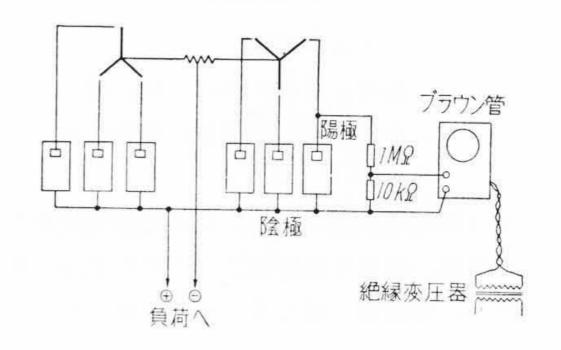
この場合,じんあいのあるとき,および絶縁抵抗が 劣化しているときは加圧電圧に比例して漏洩電流が多 くなるので、判断を誤りやすい。したがって試験前に メグを測定しておき、表面の掃除、水銀滴の除去に十 分注意すること。

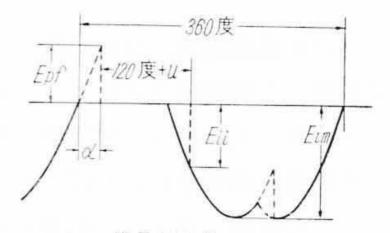
(3) 逆電圧波形の測定法

ブラウン管または電磁オシログラフにより観測する。この際,変圧器中性点接地方式のときには陰極は大地に対して直流電圧が印加されるので,電源には絶縁変圧器を使用し,危険防止に注意しなければならない。いま一例として三相二重星形結線の時の波形を第7回に示す。陽極陰極間に分圧抵抗 $1 \, \mathrm{M}\Omega + 10 \, \mathrm{k}\Omega$ を入れ,10キロオームの両端よりブラウン管の垂直入力端子へつなぐと逆電圧波形が得られる。点線は格子制御時の波形を示す。



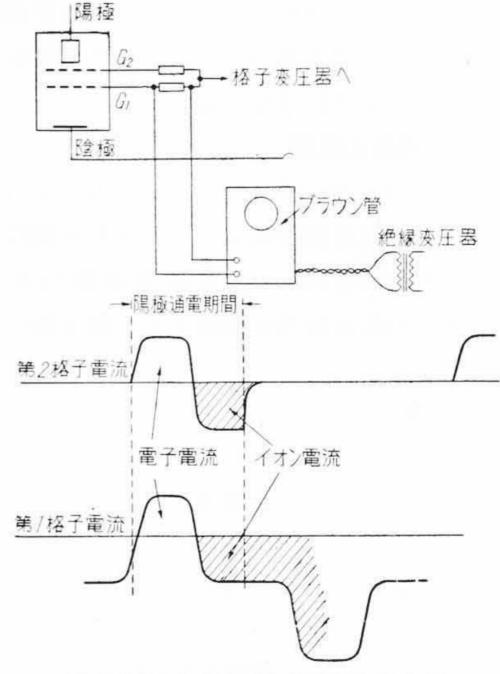
第6図 真空圧力判定試験方法





α: 格子制御角α: 重なり角Epf: 飛躍順電圧Eii: 飛躍逆電圧Eim: 逆電圧最大値

第7図 逆電圧波形測定方法



第8図 格子電流波形測定方法

(4) 格子電流波形

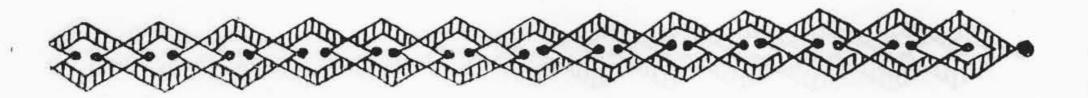
第8図のように各格子の直列抵抗の電圧降下をブラウン管で測定する。

格子変圧器が尖頭波変圧器(飽和変圧器)のときには第8図のような波形となる。第1格子電流波形と第2格子電流波形が同一であったり、第2格子電流波形が、非通電期間で0とならぬときなどは異状である。

(5) 格子率の測定方法

第7図の陽極陰極間電圧(逆電圧)波形から、格子 制御角 α ° を求めると、

格子率=cos α×100 (%) で求められる。



また負荷を抑圧抵抗のみとして、整流器用変圧器一次電圧 E_{1} と直流電圧 E_{40} を同時に測定する。変圧器の一次タップ電圧を E_{1} 、二次定格相電圧を E_{2} とすれば、格子率 100% における直流電圧は

$$E_{d_0} = \left(1.17 \times \frac{E_1'}{E_1} \times E_2\right) - e_a$$

(ただし変圧器二次結線は二重星形結線とし、アーク電圧を e_a とする)

実測値は E_{d0} ′であるから,

$$\frac{{E_{d0}}'}{E_{d0}} \times 100(\%) = \frac{{E_{d0}}'}{\left(1.17 \times \frac{{E_{1}}'}{E_{1}} \times E_{2}\right) - e_{a}} \times 100(\%)$$

が格子率である。

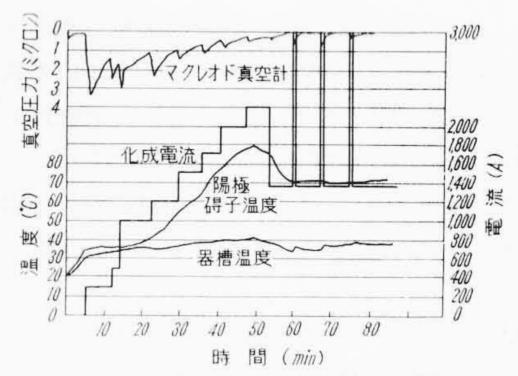
(6) 化成法

長時間放置した場合、ふた開けなどで内部を大気圧 としたあとには必らず化成を行って内部の吸著ガスを 排出させねばならない。所要日数はほぼ次の程度であ る。

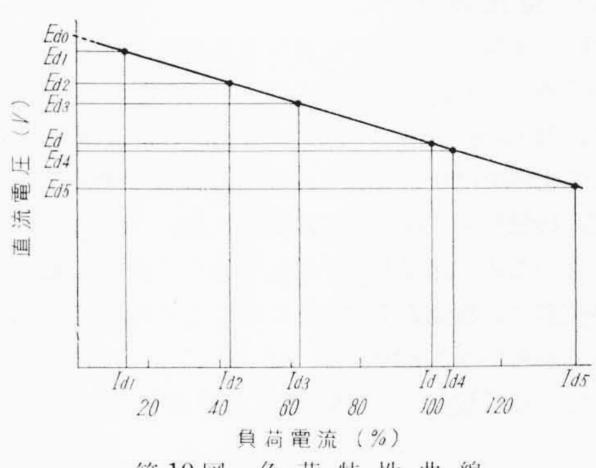
- (a) すえ付後, 運転にさきだって行う化成
 - $2 \sim 3 \; \exists$
- (b) 長時間無負荷で放置しふたたび負荷しようとす る前に行う化成......2~3日
- (c) ふた開け点検した場合のように短時間真空を破った場合の化成......3~5日
- (d) 故障のため真空槽を分解修理した場合 5~7日 あらかじめ加熱器のある場合は加熱してのち、電流 化成を行う。電流化成で最も注意すべきことは電流を 急に増加することなく、マクレオド真空計で3ミクロンをこえないようにすることである。マクレオド真空 計の指示は排気管の真空圧力なので、タンク内部の真空圧力は、それ以上となっていることに注意すべきである。したがってじょうずな化成というのは、真空圧力を 2~3ミクロンで大きく変化させず絶えず電流を加減して、早くそしてむだなく規定電流まであげることである。化成時の経過を示す一例を記すと第9図のとおりである。

化成中の温度はアークを安定させるためになるべく 高くすることが望ましい。水冷式の場合には水量を調 節し、風冷式の場合には冷却扇の入口を一部ふさいで 温度を制御する。化成中は各相の電流を挿入形電流計 で測定し、平衡していることを確かめる必要がある。 化成後は負荷を急に遮断することなく、徐々に負荷を 下げ、陽極加熱器を使用して陽極部は保温したまま器 槽温度を徐々に下げ、陽極部に水銀滴が付着しないよ うに注意しなければならない。

(7) 負荷試験(高圧化成)



(2,000 kW, 1,500V, 1,333A 重負荷公称定格) 第9図 すえ付後の低圧化成曲線の一例



第10図 負荷特性曲線

化成が終ったら、実電圧を加圧して水抵抗負荷で、 高圧化成を兼ねて負荷試験を行ったほうがよい。この ときには試運転のときと同じ注意が必要で、また真空 圧力を監視しながら負荷電流を徐々に増し、100%負 荷でしばらく通電し、各部に異状のないことを確かめ てから過負荷をかける。

負荷試験時には交流側電圧,直流電圧,直流電流を 同時に測定し,負荷特性曲線を作る。

直流電流 I_{d_1} のとき,交流電圧 $E_{1'}$,直流電圧 $E_{d_1'}$ とすると,定格電圧 Eに対する換算値 $E_{d_1} = \frac{E}{E_{1'}} \times E_{d_1'}$ 直流電流 I_{d_2} のとき,交流電圧 $E_{2'}$,直流電圧 $E_{d_2'}$ とすると,定格電圧 Eに対する換算値 $E_{d_2} = \frac{E}{E_{2'}} \times E_{d_2'}$

直流電圧 I_{an} のとき、交流電圧 $E_{n'}$ 、直流電圧 $E_{an'}$ とすると、定格電圧 Eに対する換算値 $E_{dn} = \frac{E}{E_{n'}} \times E_{dn'}$ この関係を図示すると **第 10** 図 のようになる。

これにより、定格電流 I_a に対する直流電圧 E_a と、 I_a =0 へ外挿して求めた E_{d_0} から電圧変動率を算出することができる。

電圧変動率
$$\varepsilon = \frac{E_{d_0} - E_d}{E_d} \times 100$$
 (%)

3. 半導体整流器の取り扱いと保守

半導体整流器を運転する上で, ほかの整流器にくらべ



て最も大きな特長は取り扱い保守が非常に簡便である点であるが,反面,これを構成する整流素子は本質的に過電圧,過電流に弱いので,装置の設計,計画において保護装置については万全を期さなければならない。

水銀整流器の過負荷耐量の大きい点に対して根本的に 異なるので、保守取り扱いにおいては十分注意する必要 がある。

このため、ここでは半導体整流器を運転し、保守取り 扱いを行う上で、ぜひ知っておかねばならない点、注意 を要する点について記すことにする。

3.1 整流素子

(1) 1個の整流素子に許しうる電圧,電流が決っているので,直流電圧が高くて1個では耐ええないときは,数個の整流素子を直列に接続し,直流電流が大きくて1個では流し切れないときは数個の整流素子を並列に接続して整流回路が構成される。

このため、保守上まず知っておくべきことは、その 整流器は、整流素子の定格に対してどの程度の余裕が あるかということである。

- (2) 通常整流素子の定格はつぎのように表わされる。
- (a) 最大許容逆電圧(Peak Inverse Voltage = P.I.V.) 整流素子に印加しうる交流逆電圧の波高値をいい, この電圧を連続印加しても特性上変化しない電圧で, この値の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ を定格逆電圧(実効値)という。
- (b) 最大許容瞬時逆電圧(最大許容サージ電圧)整流素子に印加しうる衝撃波電圧の最大値をいい、メーカーによりこの衝撃波のしゅん度および長さはそれぞれ異なっている。

(c) 定格平均電流

整流素子を指定の標準冷却条件で冷却したときに正方向に流しうる連続電流をいい,通常三相全波整流回路に構成したときに流れる直流電流の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ =0.77 倍となる。

(d) 最高動作温度

上述の電圧,電流に耐えうる PN ジャンクションの 温度をいう。通常この PN ジャンクションの温度は直 接測定することはできないので,この部分に最も近い 位置で測定してその温度から PN ジャンクションの温 度を推定する。

(3) 以上のとおり、整流素子の定格が定められており、実際に整流器として構成されるときには、効率、保守、保護方式などを検討した上で最適の整流回路お

第2表 整流回路と電圧,電流

整流回路 結線方式	単相全波 (ブリッジ)	三相全波 (ブリッジ)	六相星形 (半波)	相間リアクト ル付六相二重 星形
結線図			T + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	****
無負荷直 流電圧 (平均値)	E_d	E_d	E_d	E_d
直流電流 (平均值)	I_d	I_d	I_d	I_d
1アーム にかかる 逆電圧最 大値 (P.I.V.)	$1.57 E_d$	$1.05~E_d$	$2.09~E_d$	$2.42~E_d$
1 アーム に流れる 電流平均 値	$0.500~I_d$	$0.333~I_d$	$0.167 \; I_d$	$0.167 \; I_d$
1 アーム に流れる 電流実効 値	0.707 Id	$0.577 \; I_d$	0.408 Id	0.289 Id
1 アーム に流れる 電流波高 値	1.00 I_d	1.00 I_d	$1.00 I_d$	0.500 I _d

よび直列並列個数が定められている。

いま,かりに同一直流電圧(簡単のため,無負荷電圧とする)で、同一直流電流の四つの整流回路を考えて見ると第2表のとおりとなり、1アームの逆電圧最大値および電流実効値は大幅に変ってくるため、これらは十分注意しなければならない。

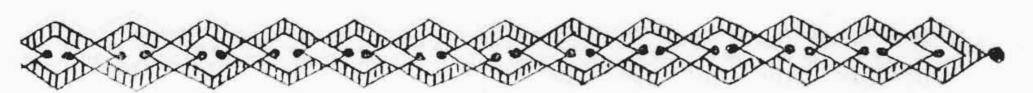
3.2 電 圧

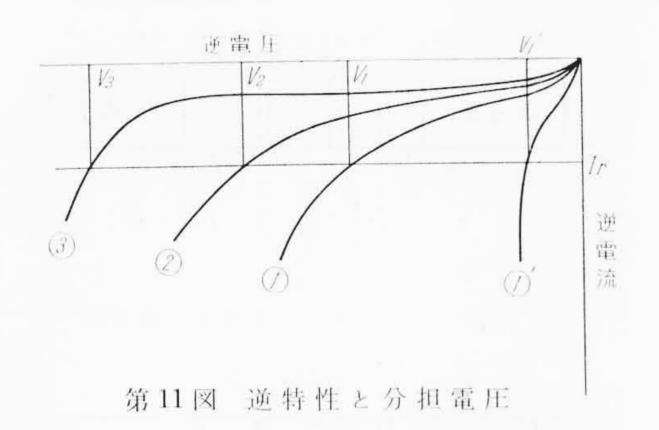
(1) 整流素子の定格逆電圧では不足のときは、直列に接続して回路が構成される。このとき、逆電圧が直列の各素子にどのように分担されるかは、素子の逆電圧、逆電流特性によって定まる。第11回のように、①、②、③のそれぞれの特性を有する整流素子を直列に接続してこのアームに流れる逆電流が I_r のとき各素子の分担する逆電圧は V_1 , V_2 , V_3 となる。この分担電圧をできるだけ平均化するために通常素子に並列に抵抗を挿入する。

もしなんらかの原因で、整流素子の特性が変り、第 11 図の ①'の特性になったときには、分担電圧が小さくなって V_1 'のようになるから、運転中整流素子の逆流増加あるいは特性変化の有無を検出することができる。劣化検出装置の大部分はこの原理を応用したものである。整流素子が劣化して ①'のような特性となると、この素子に印加される逆電圧は小さくなり、ほかの健全な素子がその分だけ余分に負担するので、直列個数が 1 個の場合に比べて多くなればなるほど、素子が劣化して絶縁破壊に至る割合が少なくなる。

(2) 整流素子に決められた逆電圧より高い電圧が印







加されるチャンスは,

- (i) 雷によるサージ
- (ii) 開閉サージ
- (iii) 保護ヒューズ熔断時に発生するサージ
- (iv) 直流側開閉器 (HSCB, ACB など) によるサージ
- (v) 正孔蓄積効果によるサージ

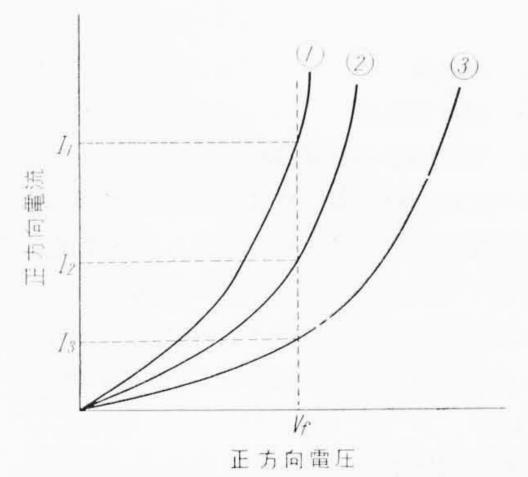
の場合を考えなければならない。これらに対しては工 場において十分検討され、対応する保護装置がつけら れている。

(3) 保護装置としては、これらのサージ電圧の波高値をカットするアレスタと、高周波数のサージ電圧を 吸収するサージ・アブソーバがある。

アレスタは、通常の電気機器に対して用いられるものより放電のおくれが少なく、放電開始電圧の低いものが要求され、セレン整流器が用いられることが多い。セレン整流器は1枚あたりの逆耐電圧がインパルスに対して70~90Vで、放電したときはその放電エネルギーの大きさに応じた放電孔が生じるが、この放電孔は印加電圧が下ると絶縁体となり、ほかの部分はそのまま継続使用できる状態となる。何回も放電を行わせると、放電開始電圧は徐々に高くなるので、ときどき整流面をしらべて、放電路が全面積の1/3におよぶときは交換しなければならない。

サージ・アブソーバとして、コンデンサが用いられるときは、このCと変圧器のLとで、共振を起し逆電圧に重畳して異常に高い電圧が常時印加されることがあるので注意が必要である。このためCには直列に無誘導抵抗を挿入して、振動を防止している。またサージ・アブソーバの取付位置はできるだけ主回路に近くし、配線も直線にして、配線のインダクタンスが最小になるようにしなければ意味がなくなるので、すえ付工事のときは気をつけねばならない。コンデンサの容量は変圧器の特性によっても異なるが、使用電圧が低いほど、静電容量の大きなものが必要となる。

(4) 開閉サージは、雷サージ(変圧器一次側のアレ



第12図 正特性と分相電流

スタで制限された値を考える)に比べては、一般に低いものであるが、その周波数が 1~10 kc くらいのことが多いので、注意する必要がある。これは整流器の直流側を無負荷として投入遮断を行ったとき最も大きくなり(特に投入後数サイクル以内で遮断するとき最大となるのが普通である)、運転上許される限り負荷の投入遮断は交流側の遮断器で行ったほうがよい。

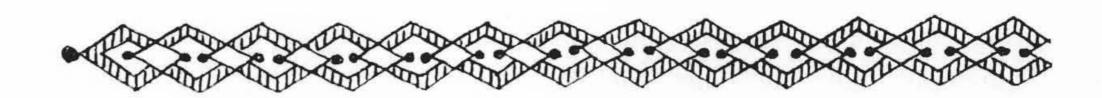
遮断器の接触部が荒れてくると, 開閉サージが大き くなることがあるので, 保守上注意する必要がある。

3.3 電 流

(1) 整流素子を並列に接続する場合,その分担する 電流の大きさは, 各素子の正方向電圧電流曲線によっ て定まる。第12図のように①、②、③のそれぞれの 特性を持つ整流素子を並列に接続したとき、各素子に かかる正方向電圧は等しい値 V_I となり、分担する電 流波高値は I_1 , I_2 , I_3 となる。この分担電流を平均化 するには、素子の特性の合ったものを使用するか、直 列にリアクトルあるいは電流平衡リアクトルを使用す る。ここで注意しなければならないのは、電流の分担 は、このように素子の正特性によって変るが、各素子 への配線のリアクタンスによっても影響されることで ある。配線の長さに差があったりすると、電流が大き いときには、このリアクタンスの差のほうが、正特性 の差よりも大きくきいてくることがあるから、このよ うな場合には, 実際運転状態で電流の分担状態をしら べる必要がある。電流分担はシャント,素子温度また はそう入式電流計(この場合は周囲の磁界に注意す る)によってしらべることができる。

前述の電圧分担の場合でも同様であるが、電流分担を合わせるために、整流素子の特性を合わせて回路構成を行っているときは、整流素子をとりかえる必要のある場合、異なった特性のものを挿入しないように注意しなければならない。

(2) 過電流となるチャンスはつぎの場合が考えられ



る。

- (a) 過負荷
- (b) 直流側短絡
- (c) 整流素子の絶縁破壊
- (a)および(b)に対しては、高速度過電流継電器、 誘導形過電流継電器により交流側あるいは直流側の遮 断器を開く方法、高速度遮断器(HSCB)を使う方法、 交流入力側を短絡器で短絡する方法、あるいは事故が まれと考えられるときは保護ヒューズを熔断させる方 法がある。

直流側短絡に対しては、変圧器のインピーダンスを 大きくしたり、リアクトルをそう入するなどして短絡 電流を制限する方法もとられている。

整流素子の絶縁破壊は,直列個数が1個のときは, 変圧器の相間短絡となるので,素子に直列に挿入した 保護ヒューズで故障整流素子を回路から切り離す方法 がとられる。直列個数の多いときは,直列のほかの素 子がより多く逆電圧を分担するので,早いうちに検出 してとりかえる必要がある。

保護ヒューズの熔断を検出して警報あるいは遮断を 行うのに、トリガーヒューズを使用する。トリガーヒューズは保護ヒューズに並列につけ、保護ヒューズ熔 断の際に回路の逆電圧が全部印加されて熔断し、警報 表示を行う構造となっている。

また並列数の多いときは、保護ヒューズ1個の熔断ではブザー警報のみとし、さらに同一アームで1個熔断したときはじめてベル警報および遮断を行うものもある。

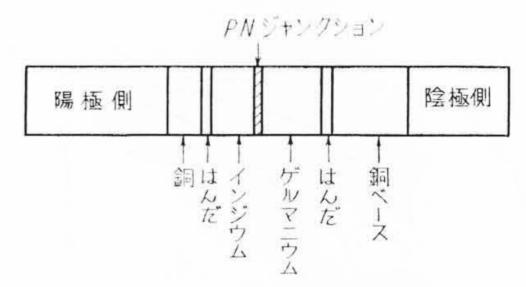
しかし、この場合でも保護ヒューズ熔断のときはなるべく早い機会に整流素子およびヒューズをとりかえるべきである。

(3) 整流素子によっては、まれに正方向特性が変化したり、極端な場合内部で開路するものもある。整流素子を並列に使用しているときには、負荷にはこの影響はあらわれず、並列のほかの素子が電流を分担する。

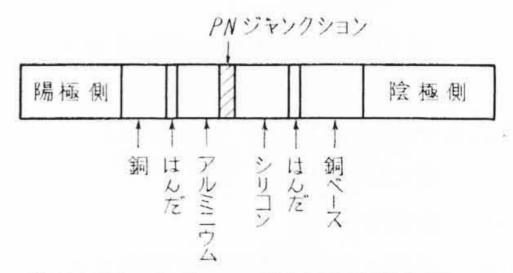
3.4 温 度

(1) 整流素子の温度上昇の熱発生源は PN ジャンクションである。 PN ジャンクションの許容運転温度はメーカーにより差はあるが、ゲルマニウムは 65° C、シリコンは 150° C というのが普通である。

冷却は陽極側あるいは陰極側銅ベース部に冷却片を とりつけて風または水で行われが、第13図および第 14図に示すように、熱源であるPNジャンクションと の間に、ほかの物質が介在する上に、外部から直接測 定できるのは銅ベース部であるため、この温度とジャ ンクション温度とにはかなりの差がある。この温度差



第13図 ゲルマニウム整流素子構成図



第14図 シリコン整流素子構成図

は同一構造、同一材料の素子ならば、ジャンクション部分の損失がわかれば、この間の熱インピーダンスからただちに計算で求めることができる。熱インピーダンスは各メーカーで実測および計算で求めた値を発表している。

それゆえ,銅ベース温度を測定して,許容温度以下 だからまださらに負荷を増すことができると考えるこ とは大禁物である。

(2) ジャンクションの熱時定数は非常に小さく1秒 以下であるが、銅ベース部の熱時定数は冷却条件によっても異なるけれども通常2~10分である。

(ジャンション温度)=(銅ベース温度)+(銅ベースに対 するジャンクションの温度上昇)

であるから, 許容過負荷の大きさも, 過負荷時間が非常に短い場合には, ある程度大きくとることができる。この値は必要に応じてメーカーから指定される。

3.5 運転開始時の注意事項

(1) 整流素子の取り扱い

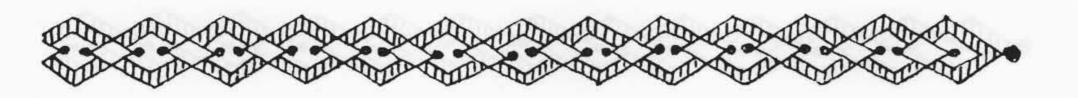
整流素子には機械的衝撃をなるべき与えないように する。特にゲルマニウムは注意する必要がある。陽極 側リードをもって運搬したり、ふり回すことは絶対に 避けねばならない。

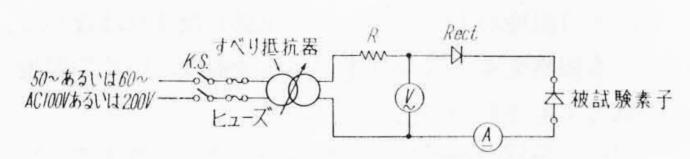
(2) 整流素子の点検

整流素子の良否の判定は、厳密には非常にむずかしいが、つぎの方法で運転可能か否かをしらべることはできる。

(a) テスターによる方法

正逆両方向の抵抗をしらべて,両者とも抵抗がほとんど0オームならば,大体絶縁破壊と考えてさしつかえない。このとき注意すべきは逆方向抵抗で,テスターの電圧では,低すぎて特性曲線の零点付近であるた



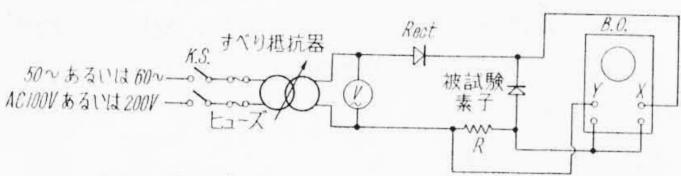


Rect = 被試験素子よりも逆耐電圧が高く 逆流の小さい整流素子(シリコン・ダイオードがよい)

- (火)= 交流電圧計(実効値を指示するもの)
- (A) = 直流電流計(平均値を指示するもの)

R = ゲルマニウムを測る時は5~10.8 シリコン " 100~200.8

第15図 逆流測定回路



Rect= 第6図と同じ

(V)=交流電圧計(実効値)

B.O.= ブラウン管オシロ

X = X軸端子(水平軸)

Y = Y軸端子(垂直軸)

R = 50~1008

第 16 図 逆特性波形観測法

め、特性によっては、正方向抵抗とほとんど差がないこともあるし、逆方向抵抗が異常に低くても、正規の電圧を印加すればOKという素子もありうることで、抵抗値の大小で劣化傾向はうんぬんできない。

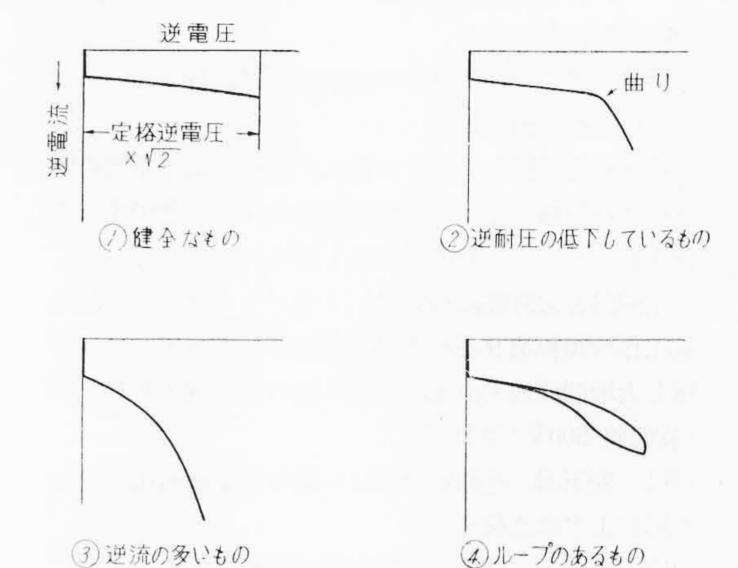
(b) 逆流測定法

第15図の回路を用い、定格逆電圧(実効値)を印加して、逆電流(平均値)を測定する。温度により逆流は大幅に変るので、このときの温度は必ず記録しておく。経験的に逆流の異常に大きいものは劣化が早く破壊に至るものが多いといえる。ただ、シリコンは逆流の温度特性に種々のものがあり、温度が上ると逆流の増加するもの、変らないもの、へるものなどがあるので逆流値のみから一義的には定められない。

(c) 逆特性波形観測法

ブラウン管オシログラフがあれば、逆電圧、逆電流 波形を直視することができる。この波形から異常の有 無を推定する方法がより確実である。 第16図 のよう に回路を作り、すべり抵抗器により徐々に電圧を上げ て行くと、ブラウン管に逆特性波形が直接出る。この 場合も、(ii)の逆流測定の場合と同様に定格電圧以上 の電圧を印加してはならない。

第17図に示すように各種の波形が表われるが、シリコンの場合は①の波形が通常で、ゲルマニウムでは逆流が多く③の波形のものもある。逆耐圧の低下しているものは②のように曲りが出る。また、ジャンクションの周辺の状況によって④のようにループのできるものもある。これらの波形は、運転を行ってジャンクション温度が上った状態では異なってくるので、観測



第17図 各種の逆特性波形

は運転時の温度条件,たとえばゲルマニウムでは55~65°Cの恒温槽中に入れて測定することが望ましい。

しかし、常温における波形でもある期間運転を継続 したあとで、その運転前の波形に比べて、大幅に下向 きの曲りが出たり、曲線の垂下傾向が大きくなったり したものは注意を要する。

また,これらの逆特性波形は整流素子の種類,形式などによって特有な差があるので,劣化の有無の判定を行うためにはある程度の比較のデーターが必要であり,メーカーの担当者の立会いのもとで行わないと誤判断のおそれがある。

(3) 冷却系統の確認

特に風冷の場合を記すとつぎのとおりである。

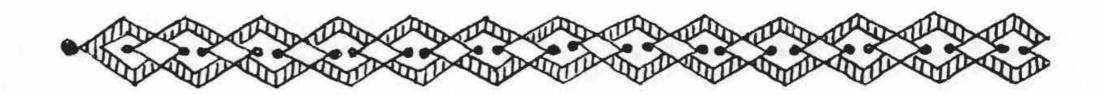
(a) 送風機の相回転

シロッコ・ファンの場合は相回転が逆でも正規方向 に4分の1以下の風量がでるから、十分注意する。

(b) 冷却風入口のゴミ

入口のフィルタあるいは金網にゴミがつまると風量が激減するから十分注意する。送風機をまわしてその電流を測定し、試験成績表に示す値の±10%以内になっていればよい。シロッコ・ファンでは風量に応じて電流が増減するから、常時電流計を挿入しているところではこの読みが徐々に減ってきたら、風量が少なくなってきたものと判定できる。

- (c) 各整流素子の風量のバランスをしらべる。手をあててしらべる。アネモメータでしらべれば確実である。
- (d) 冷却風出口にダイヤル温度計のあるものは狂いはないか,しらべる。温度警報接点付きのものは指示された値に整定する。通常(風入口最高温度+送風機の入口出口温度差+素子風入口出口温度差)に整定する。



(4) 整流器セット

- (a) 各部の締め付けの点検を綿密に行うこと。
- (b) 絶縁耐力試験

絶縁耐力試験を実施する前に、各整流素子全数の陽 陰極間を短絡する。特に直列個数の多いときでも,1 個1個についてそれぞれ短絡しなければならない。

主回路と大地間について,メガーテストののち,電 気工作物規程第9条の水銀整流器の項を準用して、陰 極と大地間は最大直流電圧の1倍の交流電圧を10分間 (最低値 500 V)印加する。

- (5) 変圧器, 遮断器などは一般の電気機器用のもの と同じように点検する。
 - (6) 連動および保護回路全般の点検調整
 - (a) 連動試験は必ず実施することが必要。ほかの 電気機器に比べたら非常に簡明である。
 - (b) 保護回路のリレーの整定は,工場の指定どお りになっているかどうかを確認する。

(7) サージ保護回路

- (a) 高圧側のアレスタあるいはサージ・アブソー バ用コンデンサおよびその接地回路をしらべる。
- (b) 整流器用変圧器二次側のアレスタ (特にセレ ンアレスタおよびヒューズ), サージ・アブソーバの 回路は念入りにしらべる。直流側についても同様。 (f) ヒューズ類の熔断, 断線の有無の点検

(8) 無負荷電圧印加

無負荷とし, 電圧調整回路のあるものは, 最低電圧 の出るようにして電圧を出し、直流電圧がそのときの 整流回路結線に応じた値となっているかどうか確認す る。可能ならこの状態で直列素子の分担電圧を内部イ ンピーダンスの高い交流電圧計で測定し、バランス状 態がよいかどうかしらべる。無負荷といえども、冷却 は規定どうり行う必要がある。

3.6 起動および運転

(1) 起 動

- (a) 冷却用送風機を運転し、負荷をとる。
- (b) 並列回路の電流のバランスを確認する。
- (c) ほかの機器と並列運転する場合は, 負荷のバ ランス状況に注意する。並列運転器がMRやRCのご とき他種の機器の場合には、あらかじめ保護方式につ いては十分な検討を必要とする。
- (d) 起動後1時間は各部の温度を特に入念にしら べる。

(2) 運 東云

(a) 温

冷却空気,冷却水入口温度は規定値(通常は 35~40 °C)以上にあげてはいけない。特に風冷式で室内に風を 出す方式のものは、暖い空気が出口から入口に循環し

- て, 入口温度が上りやすいから注意しなければならな い。水銀整流器と異なり半導体整流器は、いくら温度 が低くてもさしつかえない。
 - (b) 各部の振動や音の異常の有無に注意する。
- (c) 負荷電流は定められた電流値をこえないよう に注意する。
- (d) 電圧,電流,温度記録で前と変った異常点が 出たらただちにその原因をたしかめて適応の処置をと る。運転は、水銀整流器に比べたら非常に簡単である。
- (e) 特に負荷電流が大きいときは、変圧器二次側 の交流ブスの近くの構築物の温度上昇の有無について しらべておく必要がある。

3.7 点

- (1) 定期検査
 - (a) 整流器主回路のメグテスト
- (b) 各部,特に眼につかない箇所も含めてゴミの 除去
- (c) 主回路各部の締め付け点検。制御回路各部の 締付点検
- (d) 直列素子の分担電圧の測定 (素子並列抵抗の 異常の有無も同時に点検することになる)
 - (e) サージ保護回路の点検

(2) 定期大点検

上記のほかにつぎの点をしらべる

- (a) 風道内部の掃除
- (b) 保護リレー動作試験
- (c) 遮断器の点検
- (d) 変圧器類の油の点検
- (e) 送風機用モータのベアリング部点検
- (f) 整流素子の点検,できれば逆流の変化の有無 の点検

4. 結

電力用整流器として水銀整流器および半導体整流器の 二種に大別しておのおのその整流器の特有な点について 概略的に述べた。

実際運転を事故なく行うためには, ここに述べた事項 に留意する事はもちろん, このほかに一般的な電力変換 装置の取扱技術も十分知っておく必要がある。したがっ て,一般に刊行されている取扱技術書もあわせて熟読し 適切な保守取り扱いを行わねばならない。

個々の機器には,運転上キー・ポイントとなるべき点が 必ずあり、これを早く見出しておさえることが最も重要 と考えられるが,以上に述べた事項が,日常現場で保守に あたっておられるかたがたの参考となれば幸甚である。