

# 風冷式水銀整流器

## On the Fan-cooled Mercury Arc Rectifier

技術部整流器課 甲 斐 弘 道

### I 緒 言

風冷式水銀整流器が水冷式水銀整流器に比較して次の様な長所を有していることは周知の通りである。

1) 水冷式の如く良質且つ多量の冷却水を必要とすることがないから井戸及び再冷却器の如き冷却設備の費用が不用である。

2) 変電所の立地条件として冷却水の有無が問題とならない。

3) 保守取扱上トラブルの起り易い冷却水系統がなく、又整流器の性能を左右する冷却水温の調整という事がないから、制御及び取扱が簡単である。

4) 水冷式が冷却水による器壁の腐蝕によって寿命に制限がある(良質の水を使用しても25年乃至30年位迄)に対し、風冷式は半永久的である。

5) 多極水冷式に比し軽量である。

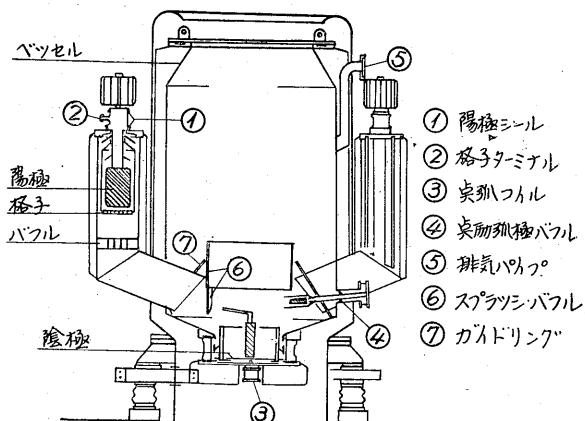
弊社では先に公称定格600V、300kWの風冷式水銀整流器を製作し東京都電に納入し、既に1年半良好な運転を行つているが、(富士時報昭和25年第2号参照)之は硝子整流器との置換えもねらって極力小型にすることをねらった循環水冷を併用した方式であつた。其後排気装置を有しない所謂ポンプ無し整流器を完成する方針の下に冷却水を全然使用しない純風冷式の製作を進めていたが、本年7月数台完成せるを機会に其の紹介をする次第である。

弊社では別に単極水冷式の整流器も各種完成しているが、多極風冷式を使用するか単極水冷式を使用するかは用途により又変電所容量により決定すべき問題と思う。例えば電鉄用の小容量、中容量の変電所では取扱の簡単さの点から風冷式が好ましい場合が多いと思う。大容量の場合は何れが有利かは条件によって個々の場合に判断を要することと思う。小容量、中容量の場合にも地下に設置する場合等には高さの低い風を必要としない単極水冷式が有利であろう。化学用にはアーク電圧が小で能率の良いことが絶対条件であるから、電圧の低い用途には接触変流機を使用するとして、600Vから1,000Vの電圧では単極水冷式を選ぶことになると思う。猶、従来日

本では比較的水銀整流器が使用されていない各種工場内の直流電源、電動機速度制御等には廉価で手のいらない風冷式水銀整流器を活用されることが今後の傾向になるものと思う。

### II 弊社風冷式水銀整流器の特徴

構造の概略は第1図に示す通りで、特徴を列記すると次の通りである。



第1図 風冷式水銀整流器構造図

Fig. 1. Construction of fan-cooled mercury-arc rectifier

1) 陽極筒の部分は冷却筒の外部に配置して、整流器の特性上良好な結果をもたらす陽極部の高温保持と、冷却風量の減少をはかった。

2) 陽極腕部の構造は工作容易なように垂直円筒とした。

独逸、英国、瑞西等の製品には陽極部の配置に関して各種の型が見られるが、陽極高温部を冷却筒外部に置くことは共通した結論になって来たようである。唯陽極腕下部をどの部分迄冷却筒の外側に出すかは、製作メーカーにより又整流器容量により異り一定した形はないようである。

3) 陽極部を高温になし得る様、又有害の瓦斯を出す懸念のある一切の有機物質を陽極部から追放する為に、陽極の封鎖は碍子に白金膜を焼付け之を鉄と半田付する方法を用いた。パッキンは高温に於て老化が早く瓦斯の

放出あるが故に陽極部には全然使用していない。白金焼付の方法は数年間の苦心の結果その要諦を完全に把握し得て、公称定格 600V, 300kW の陰極部の封鎖も之で行うことに成功しており、陽極導入部程度の大きさのものでは今や全然懸念がない。半田を使用することについて温度の点を心配される向きもあるが半田は 180°C 位から軟化するもので 140°C 位迄は十分使用出来るが、風冷式整流器の設計は半田部分が真夏 35°C の周囲温度に於ても 110°C を超えない様になっているから十分の安全性がある。半田封鎖が駄目であるというのは半田が温度に弱いというより封鎖部の設計に缺陷があることに起因する。

4) 格子は制御能が完全である様に陽極を完全に包みその導入部は陽極導入部と一体となる構造とした。格子を陽極前面にのみ配置すると陽極側面の電弧筒或は器壁に2次陰極輝点を生じて電弧が発生し、時に電弧筒の熔断を生ずることは多極水冷式の従来の整流器で幾多経験された処である。又陽極と格子の関係位置を保持するにも格子を陽極腕側方より支える場合には支持点が一箇所である為工作が相当困難であるが、同心的に配置して上部で支える方式にすれば工作が容易となり陽極格子の接触等の事故は起らない。又陽極筒中格子に面する附近は最も高温(200°C)になる部分で此の部分に格子導入絶縁物を配置することは絶縁上も封鎖技術上も得策でない。

(新案出願中)

5) 陽極格子は陽極フランジに取付けられ、此のフランジを陽極筒にねじ込んだ上はんだ付をして封鎖する構造になっているから分解は比較的簡単である。はんだ付をやめて熔接してもよいのであるが熔接によれば分解後各部の関係位置が変ることになり、分解という点から言えば得策でない。

6) 真空槽内部にスプラッシュバフルを設けて陰極よりの水銀飛沫が陽極筒内に飛込んで気化し陽極筒内の蒸気密度を乱すことのない様にした。之は整流器全般について必要なことであるが特に風冷で小型にする場合重大な意義を持つものと思う。

7) 陽極筒の先端に近くガイドリングを設けて冷却筒に於て凝結した水銀滴が電弧中に落下して気化し蒸気密度を乱すことのない様にした。(新案出願中)

8) 点弧極励弧極の基部に水銀飛沫が飛込んで絶縁不良を来すことがない様に此の部分にも特殊のバフルを設けた(新案)。之は単極水冷の場合にも同様の構造を採用しており風冷式の場合も点弧極励弧極が陰極に近く配置される関係から極めて有効である。

9) 点弧は陰極水銀を噴出する方式で之は弊社が多年

(7)

使用して来た方式であり、最近他社も次第に本方式の優秀性を認め之を採用する傾向にある。

10) 排気管は冷却筒側面より始まり適当な距離を空気で冷却する構造になっている。風冷式整流器で真空槽内水銀が外部に流出する事故を時折耳にすることがあるが之は排気管の冷却が十分でない為と考えられる。

11) 水銀ポンプは停電時を考へて水冷式とした。冷却水温 40°C 乃至 45°C で充分の排気能力を有するので風冷式とする事は可能であるが、停電時にヒーターの余熱の為、水銀が整流器真空槽内に逆流する懸念があるから水冷式とする必要がある。

水冷式にする場合自然対流による循環を用いている向きもあるが、自然対流では冷却水の循環速度が極めて遅く冷却水温が上昇し過ぎて、排気能力に不足を生じたり又水銀が整流器真空槽内に逆流する懸念があるので、弊社では入力 100W の小さなポンプによって強制循環せしめている。停電時にはポンプは勿論停止するが此の場合には水銀ポンプ冷却筒内の水の有する熱容量でヒーターの余熱を十分吸収し得る。之は 30 分毎の回路開閉を 20 回繰返して後水銀ポンプ内の水銀量の減少が 1 乃至 2% 程度であることを確めており、又東京都電納入 300kW 器で 1 年半以上の経験を経ており何等懸念はない。

水銀ポンプの冷却用送風扇は 50 $\text{v}$  の場合 105W, 60 $\text{v}$  の場合 145W の入力のものである。

12) 水銀ポンプと回転油ポンプとの間には弊社の特長とする水銀気圧弁を設けて停電時に備えている。

13) 風冷式整流器の缺点の一つと考えられている騒音に関しては特に騒音の少い送風扇を設計した。後述の試験成績から見られる様に風冷式にした為の騒音は殆ど無視出来る程度である。

### III 弊社多極風冷式水銀整流器の標準型

純風冷式として第1表の4種の型の設計を用意している。標準の設計としては第2図の様に送風扇を床面下に配置することを考へているが、場合により必ずしも床面下に配置する必要はなく送風扇迄を共通フレーム上に配置することも出来る。此の場合送風用の穴を床面に用意することは標準の場合同様必要である。

### IV 他の方式との比較

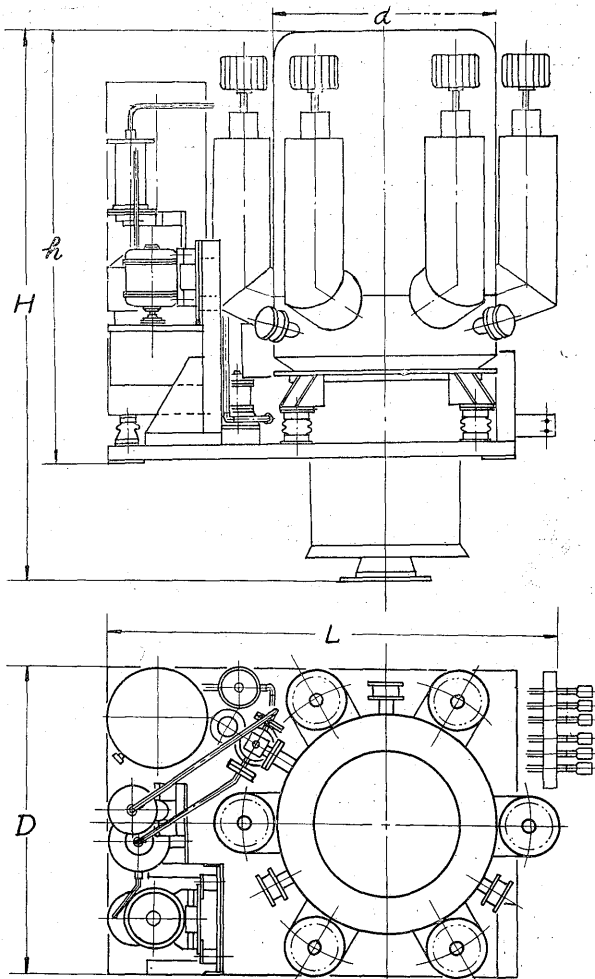
600V/1,500V, 500kW/1000kW と 600V/1,500V, 1,000kW/2,000kW とについて純風冷式を弊社の他の方式の整流器と比較すると第2表の通りである(%)は純風冷式を 100% とした数字)。

此処で特に述べたいことが二つある。

風冷式水銀整流器

第1表 風冷標準型の寸法、重量、其他

型名称		VSL 1010(6極)	VSL 1511(6極)	VSL 2011(6極)	VZL 3011(12極)
電 圧		600V/1,500V	600V/1,500V	600V/1,500V	600V/1,500V
容 量 (公称定格)		300kW/500kW	500kW/750—1,000kW	750kW/1,500kW	1,000/2,000—2,500kW
寸 法	D	1,000 mm	1,250 mm	1,670 mm	1,850 mm
	L	1,600 mm	1,800 mm	1,950 mm	2,100 mm
	d	700 mm	900 mm	1,060 mm	1,400 mm
	H	2,050 mm	2,250 mm	3,000 mm	3,000 mm
	h	1,500 mm	1,700 mm	2,300 mm	2,300 mm
本 体 重 量		850 mkg	1,250 kg	1,800 kg	3,500 kg
総 重 量		1350 kg	1,850 kg	2,500kg	4,700 kg
床 面 積		1.6 m <sup>2</sup>	2.3m <sup>2</sup>	3.3 m <sup>2</sup>	3.9 m <sup>2</sup>
送 風 扇 所 要 馬 力	50 ~	3/4 HP	1 HP	1.5 HP	3 HP
	60 ~	1 HP	1.5 HP	2 HP	4 HP
所 要 風 量 (50~)		1.25 m <sup>3</sup> /S	1.7 m <sup>3</sup> /S	2.0 m <sup>3</sup> /S	2.6 m <sup>3</sup> /S



第2図 風冷式水銀整流器寸法図  
Eig. 2. Dimension of fan-cooled mercury-arc rectifier.

一つは複式風冷式整流器である。複式風冷式とはジーマンズ社が始めた独逸語でいうフェルブンドキューリングの方式で、陽極部を冷却筒外部に出し整流器全体を風冷するのであるが、冷却筒を極力小型にし且つ風量を節約する為、冷却筒内に水冷管を通し之を本体の送風扇で共通に冷却される高能率の再冷却器に接続する方式である。複式水冷式は循環水が廻っているだけで特に外部よりの冷却水を必要とするわけではなく又循環水系統は大地に対し絶縁されているから腐蝕の心配も殆どない。純風冷式に於ける水銀ポンプの冷却と同様なのである。此の方式によれば寸法、重量共に小さくなる。弊社で先に東京都電に納入した 300kW の型は此の方式のものであったが、今後 300kW, 500kW 程度のもは排気ポンプ無しの封じ切り型が用いられるようになるとしても、2,000kW以上の場合には考慮に入れてよいものと思う。従来純風冷式のみを希望される向きが非常に多いが大容量器の場合は総合的に見て複式風冷式も一考の価値がある。

他の一つは単極風冷式と多極風冷式との優劣である。従来単極水冷式については容積の点とアーク電圧の点で非常に優れていることを申上げて来たが、之は水冷式で初めていえることで、風冷式の単極となると冷却面積の関係上容積の点で決して多極風冷式に勝っていないのみか、アーク電圧も陽極、陰極間の距離が増大する関係から特に小さくし得ないものと思う。アーク電圧については後の試験成績の処で御比較願うとして、此処では床面積の比較をしてみたいと思う。

第2表 他方式との比較

容量	方式	本体重量	総重量	床面積	床上高さ
600V/1,500V 500kW/1,000kW	風冷多極 VSL1511	1250kg(100%)	1850kg(100%)	2.3m <sup>2</sup> (100%)	1700mm(100%)
	水冷単極 ESW1020	280kg×6(134%)	2350kg(127%)	3.0m <sup>2</sup> (130%)	1820mm(107%)
	水冷多極 VS1611	2500kg(200%)	3000kg(162%)	3.3m <sup>2</sup> (144%)	2300mm(135%)
600V/1,500V 1,000kW/2,000kW	風冷多極 VZL3011	3500kg(100%)	4700kg(100%)	3.9m <sup>2</sup> (100%)	2300mm(100%)
	水冷単極 ESW2020	450kg×6(77%)	4000kg(85%)	4.4m <sup>2</sup> (114%)	1980mm(86%)
	水冷多極 VZ4011	6200kg(176%)	7300kg(155%)	5.7m <sup>2</sup> (146%)	2700mm(118%)

公平な観点からの比較をする為に単極風冷式としては某社が最近のOHM誌上に発表された数字をとって比較すると第3表の通りである。

第3表 単極風冷式との床面積比較

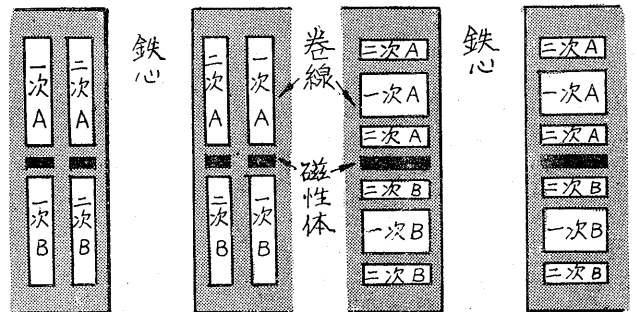
容量	600V/1,500V	600V/1,500V	600V/1,500V
方式	300kW/500kW	500kW/1000kW	1000kW/2000kW
多極風冷	1.6m <sup>2</sup> (100%)	2.3m <sup>2</sup> (100%)	3.9m <sup>2</sup> (100%)
単極風冷	3.75m <sup>2</sup> (234%)	4.68m <sup>2</sup> (204%)	7.35m <sup>2</sup> (188%)

予備器の点で単極が有利だとは一応は考えられるが元來電鉄用整流器で逆弧其他本体に関する事故というものが出ない今日其の有効性が實際上大したものではないと考えられない。又之に関連して1極を除去しての5相運転ということが言われているが、1相欠相した場合には誘導障害上最も影響の大きい300~乃至360~の高調波が非常に大きくなって来るから、5相運転という様なことは行うことを立前として論ずべき事柄ではない様に思う。小容量の変電所でどうしても整流器の予備がほしいという場合には整流器を2台に分割して500kWに対しては多極風冷式300kW2台、1,000kWに対しては500kW2台を用い1台の整流器用変圧器から供給することにすればよい。整流器のみを分割しても変電所全体の建設費は大して増加しない。

最後に1,500Vで3,000kW、600kVで2,000kWという様な整流器を希望される場合には先に述べた複式風冷方式を用いるのも一つの方法であるが、上に述べた様に1台の整流器用変圧器に2台の1,500kW或は1,000kW整流器を接続して使用するのも一方法である。此の場合に問題となるのは此種の整流器が2組以上あって1組中の1台を止めた場合の各整流器間の負荷分担を等しくすることである。之に対して弊社では次の二つの方法を考慮している。

1) 変圧器巻線をA整流器用とB整流器用とに分けて配置する方法。然し乍ら此の方法は単に巻線を分けたのみでは完全でない。というのはA器のみを使用する場合にもB側一次巻線に負荷電流が流れる。従って2台運転の

時と1台運転の時と電圧変動率が完全に合致せず、又短絡時等には巻線軸方向の機械力が大きく生じて巻線に損傷を受ける懸念がある。之に対して弊社では第3図に示す様にA側とB側の巻線の間には磁性体を挿入しA側巻線



(イ) 同心配置の場合

(ロ) 交互配置の場合

第3図 1T2R式整流器用変圧器巻線構造

Fig. 3. Construction of transformer winding for IT2R type rectifier

とB側巻線間の漏洩リアクタンスを極力大ならしめる方式を採用する(特許出願中)。

2) 陽極バラランサをリアクトルに利用する方法。整流器2台を運転する時は同相2極間の陽極電流を平衡せしむる為に陽極バラランサを用いるが、整流器1台運転の時は此の陽極バラランサの鉄心内の空隙を調整して整流器用変圧器の漏洩リアクタンスに相当したリアクトルとして動作させる。此の方法によれば陽極バラランサは若干複雑になるが変圧器は機械力による損傷の懸念が全然なくなる特長がある(新案出願中)。

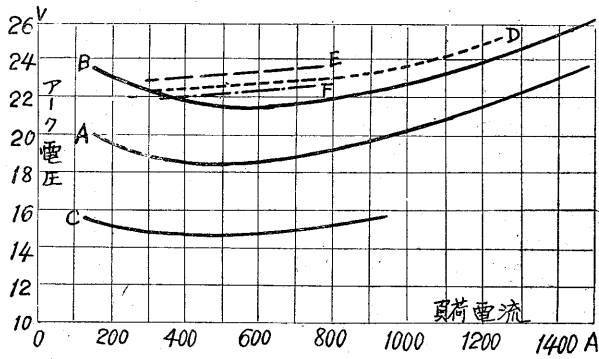
### V 試験結果

1500V 1500kW 器について得られた試験結果のうちから興味ある点を記すと次の通りである。

1) アーク電圧

第4図中の曲線Aが風冷式のものの値である。之は各電流に於て温度一定してから測定した値で測定時の空気入口温度は30°Cであつた。低圧二重星形結線にてオシログラフ法で測定した。参考の為に弊社の他方式のも

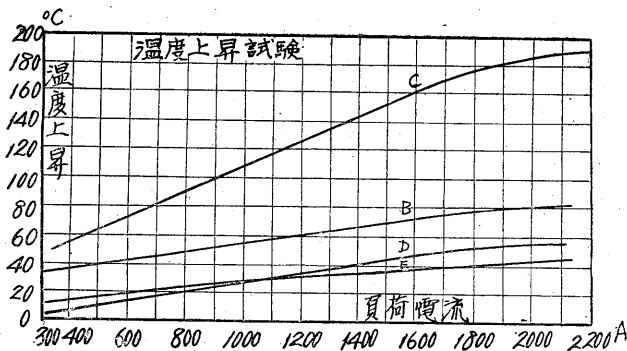
のの値及び雑誌に発表された他社の値を併記した。



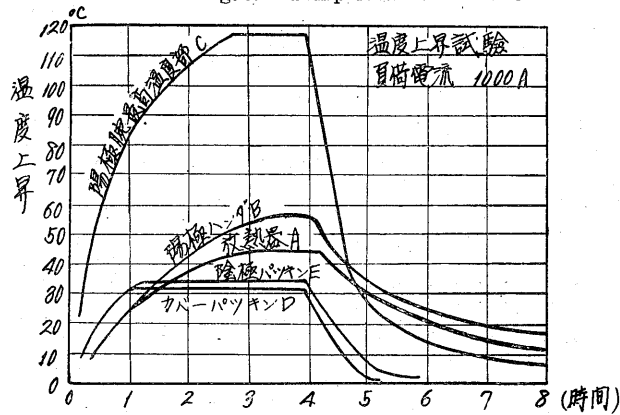
第4図 アーク電圧比較  
Fig. 4. Comparison of arc voltage

2) 温度上昇試験

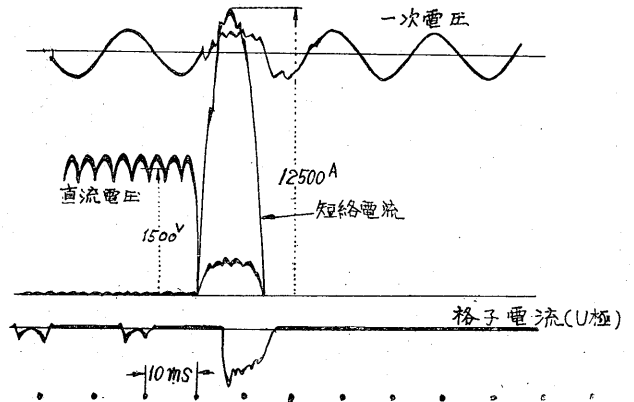
各部の温度上昇は第5図に示される様に余裕あるものであり負荷電流1,000 A に於ける温度上昇時間曲線は第6図に示す通りである。



第5図 各部温度上昇  
Fig. 5. Temperature-rise curve



第6図 温度上昇時間曲線  
Fig. 6. Temperature-rise time curve

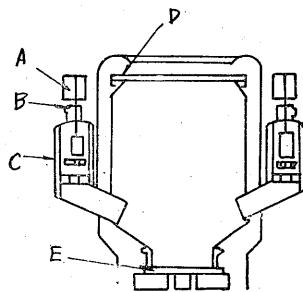


第7図 短絡消弧オシログラムの一例

Fig.7 One example of oscillograms quenching the short circuit current

3) 短絡消弧試験

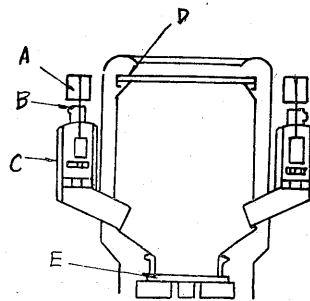
直流短絡電流 10,000 A 乃至 15,000 A を数回に亘って実施したが何れも確実に遮断し何等異常がなかつた。



第7図には其のオシログラムの一例を示す。

4) 騒音試験

バルクハウゼン騒音計にて測定したが送風扇の騒音は非常に小さいものである。第4表に測定結果を示す。試験は夜間行ったが工場騒音が可成りありそれに加算した値が測定された。(終)



第4表 騒音試験結果 (本体より 2 m の位置にて測定)

工場騒音	本体冷却扇	水銀ポンプ冷却扇	本体及び水銀ポンプ冷却扇	真空ポンプ騒音	全騒音
40~45ホーン	50ホーン	45~50ホーン	50ホーン	65~70ホーン	65~70ホーン
26~31 ab	36 db	31~36 db	36 db	51~56 db	51~56 db



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。