

鐵殼水銀整流器 技術手冊

蘇聯 維·瓦·莫拉比文 伊·恩·法列耶夫 耶·斐·格魯赫著

海峽殖民地運輸管理局譯

燃料工業出版社

鐵殼水銀整流器 技術手冊

蘇聯 維·克·克拉比文 伊·恩·法列耶夫 耶·瑞·格魯赫著

上海交通運輸管理局譯

燃料工業出版社

本書介紹了蘇聯出品的鐵殼水銀整流器。內容包括鐵殼水銀整流器的作用原理、型式及構造；對整流器的控制器、換熱器及主變壓器均有論述。此外，並闡述了鐵殼水銀器的儲藏、檢查、烘焙、運行、維護及檢修等實用技術。

本書是專為電力及整流工作人員所寫的，也可供大專學校電機系、動力系的同學參考。

本書由上海交通運輸管理局樊元武、楊身則、魏盛器、吳大鈞、王棟林、劉有慶、Б. М. 耶哥符列夫等同志翻譯；繆棧、樊元武、楊身則等同志校訂。

* *

*

鐵殼水銀整流器技術手冊

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РТУТНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ
ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)
1951年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯В. К. КРАПИВИН И. Н. ФАЛЕЕВ Е. М. ГЛУХОВ

上海交通運輸管理局譯

燃料工業出版社出版

地址：北京東長安街燃料工業部

北京市書刊出版業登記證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：韓維

書號340 * 電150 * 850×1092 $\frac{1}{4}$ 開本 * 4 $\frac{1}{2}$ 印張 * 91千字 * 定價7,700元

一九五五年一月北京第一版第一次印刷(1—4,000冊)

目 錄

I. 名稱及一般說明	3
1. 鐵殼水銀整流器的型式及整流器組的組成	3
2. 整流器的作用原理	8
3. 整流器的構造說明	20
II. 整流器控制箱	50
1. 控制箱的作用及型式	50
2. WPB-1 式控制箱	51
3. WPB-20 式控制箱	54
4. WPB-21 式控制箱	62
III. 換熱器	64
IV. 水銀整流器的主變壓器及供電結綫法	68
1. 基本概念	68
2. 雙Y—中性點聯有平衡電抗器的結綫圖	68
3. 外特性曲綫	71
4. 整流器直流側的短路	75
5. 回火	76
6. Y—雙參差結綫圖	79
7. 主變壓器的型式及其附屬設備	79
V. 整流站與綫路概要	84
1. 整流站的種類	84
2. 整流站內的主要設備	85
3. 主要結綫圖	86
4. 整流器組結綫圖	88
5. 附屬供電結綫圖	89
6. 電壓控制	95
7. 整流器組的保護	99
8. 冷卻和供水	101
9. 大修和烘焙設備	103
10. 整流站設備的佈置	107
VI. 整流器裝置和維護的說明	110

1. 儲藏.....	110
2. 檢查.....	110
3. 烘焙.....	111
4. 試用.....	115
5. 整流站的運行、維護及檢修.....	115
VII. 詢問及訂購時必須提出的項目.....	121

I. 名稱及一般說明

1. 鐵殼水銀整流器的型式及整流器組的組成

這本技術手冊敘述 [烏拉爾電工器材廠] (Уралэлектро-аппарат) 所製造的各型水銀整流器，其額定電流係從 500 到 6000 安培。

水銀整流器是將三相交流電變為直流電，用來供電氣運輸（有軌電車、無軌電車、地下鐵道、電氣鐵道、礦山用捲揚與拖曳設備），工廠用直流電動設備（大型起重機、工具機及機械），電解及可控制的礦井及碾軋裝置的電力驅動設備。

由於水銀整流器的效率高，管理容易和裝置簡便，所以它是適合上述諸用的一種主要的變流器。

此廠預製有 РМНВ 型整流器組，包括真空泵及水冷却系統（Р 表示水銀—ртутные，М 表示金屬殼—металлические，Н 表示附有真空泵—с вакуумными насосами，В 表示附有水冷却系統—с водяным охлаждением）。

雖然整流器組很複雜，但它具備着決定性的優點——使用期限無限制。

整流器的性能區分，根據它在額定整流電壓 (U_d) 600 伏時，可連續供給的額定整流電流 (I_d) 來表示。額定整流電壓就是在額定電流時（但非在無負荷時）的平均電壓。同一座整流器，按照變壓器不同的次級繞捲，可供給各種整流電壓。

同一座整流器，在電壓低於 600 伏時，它的額定整流電流仍可維持不變，即與 600 伏時的一樣。但在高於額定電壓時，額定電流則降低。

各型式整流器按相當於 600 伏整流電壓容量的盪數來分類。

此廠所出之整流器有四種型式：

PMHB-500 式；PMHB-1000 式；PMHB-500×6 式；
PMHB-500×12 式。

前兩種型式為多陽極整流器，無控制柵極。後兩種型式為單陽極整流器組，有控制柵極。在表示型式的符號中：字母及劃綫後的數字表示在電壓 600 伏時的額定整流電流；在單陽極整流器組裏，前部數字為每具單陽極整流器的平均整流電流，後面所乘的數字為單陽極整流器的數目（例如：PMHB-500×6 式，為六具 500 安單陽極整流器所組成的整流器組。運行時，每具單陽極整流器祇在每 1/6 週的時間內作用，在此時間內，它的電流為 3000 安，而其他五具單陽極整流器則不作用。六具單陽極整流器就是這樣輪流地作用着。這好像每具單陽極整流器連續供給 500 安電流一樣。——譯者註）。

表 1 表明各式整流器不同的額定直流電壓 (U_d)，額定電流 (I_d) 及其容許過負荷值。只要在二相繼過負荷的間隔期間中的負荷等於或小於額定值時，過負荷可以相繼地繼續担負。

欲得 2000 安的額定電流，可用二只 PMHB-1000 式整流器，共同由一只變壓器來供給電源。

水銀整流器是整流器組的主要組成部份。

此廠整流器組包括下列各設備：

- 1) 主變壓器（供電與主陽極）；
- 2) 水銀整流器；
- 3) 控制箱。

此外，不論單陽極整流器或多陽極整流器，均須附有換熱器，用於冷却循環系統。該廠所製的換熱器，計有下列三種型式：

TB-1000 用於 1000 安；TB-3000 用於 3000 安；KT-90 用於 6000 安。

換熱器可以每座整流器供給一具，也可以同一整流站內的數組整流器共同裝設和使用一具。

PMHB-500×12 式整流器還備有陽極高速遮斷器。

多陽極水銀整流器是由帶水套的鐵殼、主陽極、輔助陽極（用

額定直流電壓(U_d)及電流(I_d)

表 1

整流器型式	U_d 伏 特	I_d 安 培	容許過負荷電流值		
			過負荷% I_d	過負荷持續期	過負荷間隔期
PMHB-500	230	500	25	15分	2小時
	245	500			
	275	500			
	460	500			
	600	500			
PMHB-1000	230	1000	50	2分	1小時
	245	1000			
	275	1000			
	460	1000			
	600	1000			
PMHB-500×6	825	875	100	30秒	2小時
	230	3000			
	245	3000			
	275	3000			
	460	3000			
PMHB-500×12	600	3000	50	1分	1小時
	825	2500			
	1650	750			
	3300	500			
	230	6000			
PMHB-500×12	245	6000	25	10分	2小時
	275	6000			
	460	6000			
	600	6000			
	825	5000			

* 過負荷間隔期內的整流電流的一分鐘均方根值，不得超過額定值。

** 整流器在連續的額定負荷下和在 50 多的過負荷期後，尚可担負 200 % 之過負荷。

作激勵及點火) 與陰極所組成。在鐵殼上部裝置着真空泵、水銀真空計及真空活栓。初級真空泵及其電動機和初級真空箱又組成另一單位，裝在整流器的旁邊。

PMHB-500×6 式及 PMHB-500×12 式整流器，由 6 具或

12 具單陽極整流器、冷卻系統及抽氣系統所組成，同裝在一支架上，其抽氣系統則有共同的真空導管、真空活栓、水銀真空計、初級真空箱、水銀真空泵及初級抽氣泵。

主變壓器的初級接連三相交流電源，初級接成六相，與整流器的 6 個或 12 個陽極相聯。供 PMHB-500×12 式整流器用時，則除該變壓器外，另配備有平衡電抗器（如果未裝置在該變壓器的鐵殼內）及陽極均流器。

因整流器內的弧電壓降與其電流關聯極微，所以整流器組的效率隨直流電壓的提高而增進。在電壓低於 230 伏時，採用整流器是不經濟的，因為在那時整流器的效率與電力使用率都很差。

圖 1 所示為弧電壓降曲線。曲線 6 代表 PMHB-500 式及

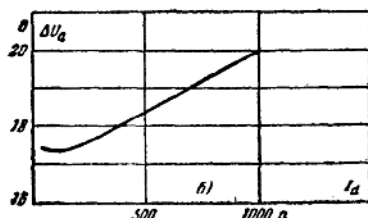
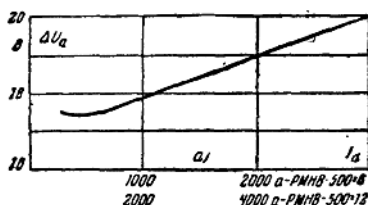


圖 1 各式整流器的弧電壓降曲線
a—PMHB-500×6 式及 PMHB-500×12 式
整流器；
6—PMHB-500 式及 PMHB-1000 式整流器。

PMHB-1000 式整流器。

曲線 a 代表帶有一個柵極的 PMHB 500×6 式及 PMHB-500×12 式整流器，若上述整流器帶有二個柵極，則弧電壓降增加 1~2 伏。

整流器組內損耗，包括變壓器內的損耗，整流器內電弧的損耗及整流器本身所需的電力消耗（即整流器附屬設備的電力消耗）。

圖 2 所示為整流器組在不同直流電壓下的效率曲線。

用柵極控制直流電壓，將使整流器之運行更為加重，因而增加了回火的可能性。要使整流器之運行負担和全電壓時的一樣，則必須依據圖 3 使負荷電流減小。這種電流的限制，並不是為了

避免整流器過熱，而唯一的目的是在減低回火之可能性。因此，電流的限制，實際上是依整流器的運行情況來決定的。

當直流電壓受柵極控制後，整流器組功率因數的降低與直流電壓的降低成正比，同時整流電壓的脈動增大。因此，調整運行時間應盡量縮短，且調整範圍應限制在 5~10 %。

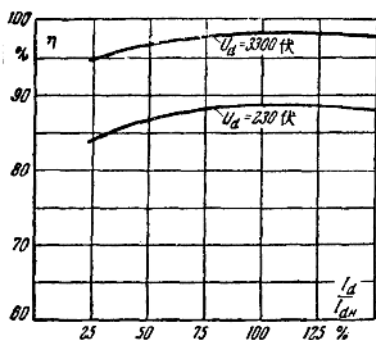


圖2 整流器組之效率曲線

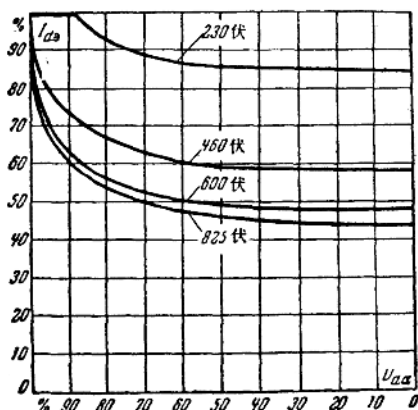


圖3 受柵極控制的負荷電流(I_{da})，
相當於全電壓時的負荷電流(I_d)

以下幾章說明水銀整流器的作用原理及其各部的構造。

由於水銀整流器迅速的發展，本手冊內只刊載主要的線路圖及簡略的外形圖。

裝置圖與施工規程，將在定貨訂約之後供給，至於詳細的裝

配與運行說明書，則在發貨時一併送出。

[烏拉爾電工器材廠]有權更動總尺寸，綫路圖，整流器內各部份尺寸，與重新佈置控制箱內之各項設備（如在複雜的設計裏每座整流器採用兩個控制箱）。

2. 整流器的作用原理

物 理 概 念

水銀整流器的原理是基於：游離化氣體在低氣壓時，祇須在電極上加不很大的正電壓就能在該電極上產生大量電流，其大小僅受外界綫路的常數限制。

相反的，當負電壓加於此電極上時，所產生的電流就極小，幾乎與電壓沒有關係（即負電壓的增高，不能促使電流增大）。

在第一種情形下，電極上有電子流過。電子的最初來源是由陰極弧點所產生，而陰極弧點是由激勵電極與水銀陰極間的激勵電弧來維持。在陽極附近由激勵電弧所產生的游離氣體，即使不多，但當正電壓加於陽極後，陽極與陰極間就能產生電弧。在電子向陽極流動時便促成氣體的游離，而在電弧產生後，電子就能維持氣體的必要游離程度。

在第二種情形下，電流係由水銀的離子跑向負極所產生。由於離子的質量是不可比擬的大於電子的質量，因此它的流動性相比之下就顯得很小很小。所以離子流是不可比擬的小於電子流。同時，離子流不僅不能促使必要的游離，而且也不能維持游離的存在。這便促使間隔空間很快的游合。

在各種氣體放電中，當推用水銀做陰極的電弧放電最合整流器的條件。在正常運行溫度時，水銀是在液體狀態，這時飽和水銀蒸汽壓力及電子在蒸汽內的平均自由行程，均為最適值。水銀從陰極蒸發，然後冷凝在鐵殼上流返陰極。由於水銀與鋼及石墨都不起任何化學作用，因此在良好的真空情況下，水銀整流器內各部份都不會遭到損蝕。

圖4所示，為飽和水銀蒸汽壓力（一立方公分內的分子數），

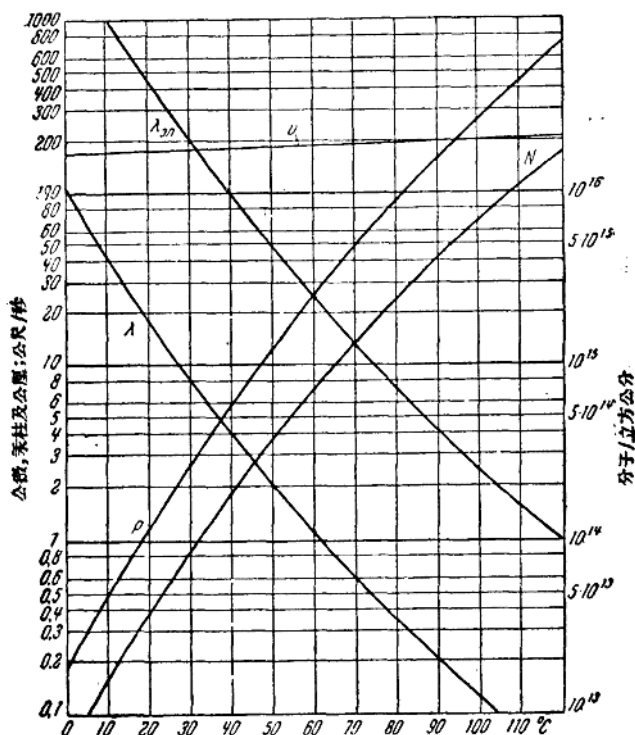


圖4 水銀蒸汽之特性

P —飽和水銀蒸汽之壓力，公厘汞柱；

N —立方公分包含的水銀分子數；

λ —分子實際的平均自由行程，公厘；

$\lambda_{e\lambda}$ —電子的平均自由行程，公厘；

v —水銀受熱後，分子的算術平均速度，公尺/秒。

以及離子與電子的平均自由行程與溫度的關係。可以看出整流器內各常數隨溫度而變化的廣大範圍。

圖5表示六相整流電路結綫圖。變壓器次級綫捲的六端，接至六個陽極。每具整流器的陰極弧點是由激勵電弧來維持，當陽

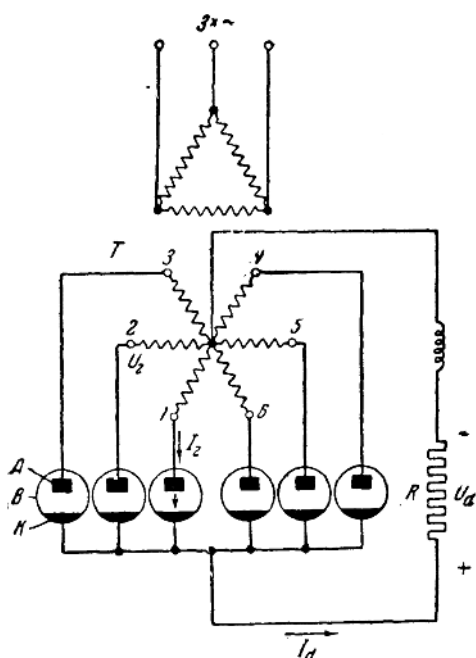


圖5 六相整流器結綫圖

T —變壓器； A —陽極； B —整流器； R —陰極。

極的電位負於陰極時，整流器內沒有電流通過。一俟陽極為正時，即形成電弧，電流由陽極流至陰極（電學上公認電流的方向與電子移動的方向相反），再經由負荷電阻 R 而至變壓器的中性點。

當次一陽極變為正時，電流就過渡到次一陽極，這時電流在電阻裏的方向仍然不變。

不論六個單陽極整流器組或由六陽極與一共同陰極所組成的整流器，其整流作用都是一樣的。

圖6所示為六相整流器之電流與電壓曲綫。圖6, a 的曲綫表示六相對稱系統裏變壓器次級綫捲的電壓。此處 $u_1, u_2, \dots, u_6$ 為

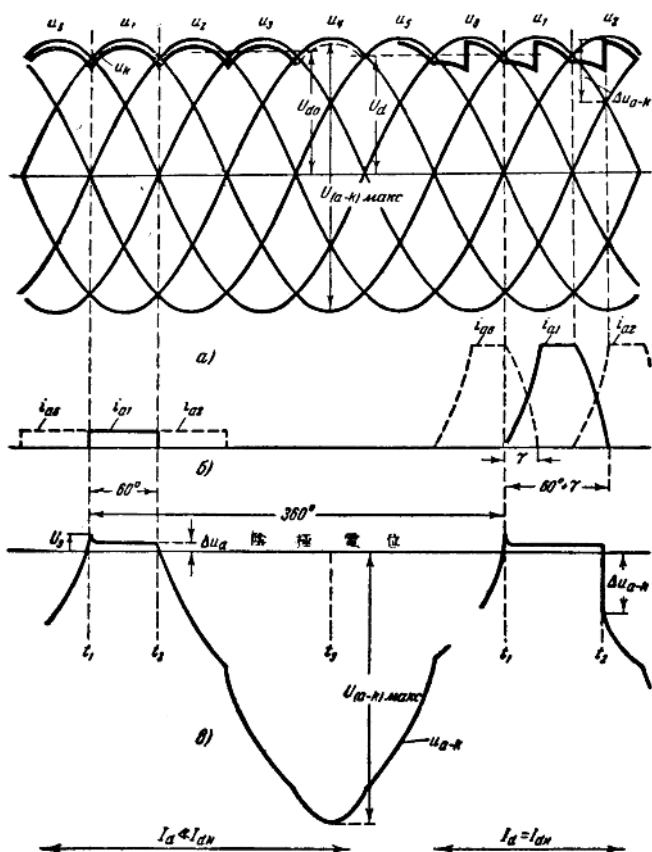


圖 6 六相整流器電流與電壓的曲線形狀

瞬時相電壓。在每 $1/6$ 週波裏，其中必有一相為最高正電壓。

每具整流器導電的時間為 $1/6$ 週波，在該時間內此相與整流電路中各單極整流器陰極聯接的正極接通。此極在六相系統裏經常保持最高正電位。整流電壓 U_d 是聯通的陰極（或多陽極整流器裏的一個共同陰極）與變壓器中性點間的電位差。圖 6, a 中粗

綫係將弧電壓降併入考慮後之整流電壓。整流電壓有輕微的脈動。整流電路內包括電抗或電抗器時，能使整流電流平穩。陽極電流由圖 6,6 之曲綫表示。在負荷小時，電流通過每一陽極的延續時間為 $1/6$ 週波；但當負荷大時，由於變壓器電流的感應，整流電流不能瞬時的在某一陽極停止而在次一陽極昇達滿負荷值。在大型整流器中，從一陽極在額定整流電流到次一陽極達到額定整流電流。變換過程（陽極電流輪換）的延續自 15 至 30 電度。圖 6,6 右邊的曲綫表示滿負荷時的整流電壓及陽極電流的關係。整流電壓的平均值稍有降低，但陽極電流曲綫擴展。當輪換完成時，整流電壓與作用陽極的相電壓曲綫趨於接近，而不作用陽極與陰極之間的電壓差，等於作用陽極和此不作用陽極的相電壓差。這電壓差隨負荷及輪換角 γ 的加大而增加。

圖 6,6 曲綫表示陽極在一週期內運行情況。此曲綫係依據圖 6,a 曲綫繪製，表明陽極對陰極的電壓關係，其中橫座標代表陰極的電位（圖 6,6 之曲綫為第一相）。

圖 7 所示為整流器主要構成部份圖。

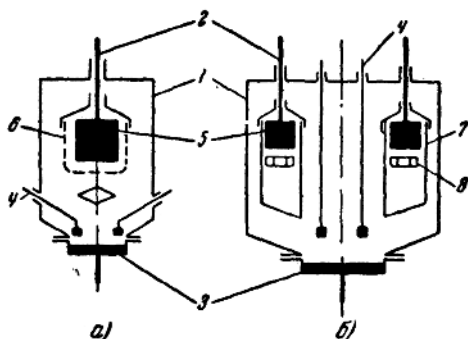


圖 7 整流器之構造

- | | |
|-----------|-----------|
| a—單相極整流器； | 6—多相極整流器； |
| 1—鐵殼； | 2—陽極引入體； |
| 3—陰極； | 4—激勵陽極； |
| 5—陽極面； | 6—掃極； |
| 7—隔離器； | 8—緩衝器。 |

圖 6 a 的說明：在 t_1 時，當陽極電位升高，超過陰極電位之後，電弧就開始產生。陽極電弧應當很順利地建立起來，同時維持此電弧的陽極電位不得大於 30~50 伏。為達到此目的，由激勵電弧所擴散出來的電子和離子必須達到陽極區域；即用於陽極上的隔離器或柵極，其阻隔作用不能太強。

在 t_1 至 t_2 的時間內，此陽極傳達整流電流，電弧必須保持穩定狀態，且其弧電壓降必須很小。

水銀蒸汽壓力決定於冷却水的溫度，應保持最適值。若水銀蒸汽壓力太低，就使等離子區內的游離情況不良，因而在狹窄的區域內弧電壓降增高。在多陽極整流器裏遇有這種情形，便可使電弧中斷，並使電路內的感應電抗發生過電壓現象。當直流電壓降低得很多而電流很大時，則可能有電弧串燃的現象產生；在鐵殼或隔離上的不潔部份就會形成第二陰極弧點。於是陰極與此不潔部份（鐵殼或隔離器）之間產生電弧，並通過此第二陰極弧點而至陽極。這現象就使鐵殼或隔離器的不潔部份和陽極一樣地工作而發生過熱現象，同時在發生第二陰極弧點處的金屬就會熔散為金屬霧。

整流器在運行時，電弧使陽極的溫度昇至 600~700°C，其冷却主要靠熱的輻射。

在 t_2 時，此陽極停止作用，其電位變負，並沿着曲綫 u_{a-k} 下降。就在從作用轉到不作用的一刹那，陽極上會發生負電壓的突昇。

$$\Delta u_{a-k} = \sqrt{2} \times U_2 \times \sin \gamma.$$

在游合的過程裏，水銀的正離子衝向陽極，其衝向的能量隨陽極與陰極間電位差 Δu_{a-k} 的增高而增大。此陽極的負電位繼續昇高到相電壓幅度的兩倍為止。

游合所產生的反向電流，其總值僅數十毫安培，很少有到達幾百毫安培的，並且很快地就降到零。過量的離子流，流到陽極上去時，可使此陽極上激起陰極弧點——[回火]。於是就會有電流從此陽極流到其他帶正電位的陽極上去。此回火電流亦即短路

電流，其大小僅受變壓器的阻抗及整流器內弧電壓降的限制。爲了保護設備，在回火發生時，應盡可能迅速的使整流器遮斷。

產生回火的原因，是由於離子撞擊陽極面，激起很多電子的放射。後者能促使游離的增強，使游合時的電流增大，激起弧點的數值。

雖然回火時的短路電子流是從陽極流至另一陽極，但是陽極上陰極弧點形成的整個過程是發生於陽極表面的等離子區，它的厚度祇有數分之一公厘。

即使陽極表面上，只有某幾點有着特別高的離子聚合量，或者離子撞擊陽極面的能量很大，都可以引起回火。離子的聚合量應視電流的大小及氣體的密度決定，電流愈大或氣體的密度愈高，則離子的聚合量亦愈大。離子衝向陽極的能量與反向電壓相關，反向電壓愈高，則離子的能量也愈大。尤其在陽極剛停止作用時，離子的聚合量頗大，同時在此陽極上出現有突變的反向負電壓。

在某些表面上如果停留着正負分子，游合就會發生。所以當陽極有了隔離器、緩衝器與柵極後，即可減少反向電流，因爲，大量的離子在這些表面上中和了。

但是阻隔作用不可太大，否則陽極點火就有困難，並且影響到弧電壓降的增大。正確的選擇阻隔器能使陽極面上電流分佈的密度均勻，就可保證整流器的安全運行及使回火的可能性大大減少。

陽極表面的狀態，對回火形成的可能性有決定性的影響。在陽極極端表面上的任一點含有污物、鹹質或鹹土金屬（灰渣、金鋼砂、少量汗液、石片或玻璃片、石灰或鉛粉粒子等等）均能大大地增加回火的可能性。這些金屬都很容易放射電子。陽極表面上有了導電率與導熱率都很低的煤煙及氧化物和灰塵合成的氧化膜，是很危險的。這也就說明爲什麼製作陽極要採用化學上純潔的石墨，以及在裝配或修理時必須密切注意維持整流器的真空。

要使整流器可靠地運行，真空情形的良好是非常重要的；那