

可控硅应用

(参考資料)



天津市第一机械工业局革命委员会技术情报总站編印

1970.11

可控硅应用

(参考资料)

天津市一机局革委会情报总站编印

天津市第一印刷厂印刷

委托天津市新华书店发行

工本费1.00元

只限国内发行

最 高 指 示

中国共产党是全中国人民的领导核心。没有这样一个核心，社会主义事业就不能胜利。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一改三结合，大搞技术革新和技术革命。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

在以毛主席为首、林副主席为副的党中央的英明领导下，经过史无前例的无产阶级文化大革命锻炼的我局系统广大革命职工，高举“九大”团结、胜利的旗帜，活学活用毛主席哲学著作，沿着《鞍钢宪法》的光辉道路，深入批判了叛徒、内奸、工贼刘少奇疯狂推行的“洋奴哲学”、“爬行主义”等反革命修正主义路线，坚持“独立自主、自力更生”，“走自己工业发展道路”，“破除迷信，解放思想”，大搞技术革新、技术革命，在可控硅的生产和应用方面，取得了一些经验。

为了进一步推广可控硅先进技术，总结和交流其应用方面的经验，现将我局所属部分企业应用可控硅整流器的经验汇集成册，并在本册前部增编了可控硅一般知识，以供学习参考。

本资料在总结过程中，得到了局属有关单位的大力支持，并在有关单位的共同努力下，完成了编写和审核工作。由于我们能力所限，缺乏经验，加之时间仓促，本资料定会存在不少缺点和错误，恳切希望读者提出批评和意见。

天津市第一机械工业局革命委员会技术情报总站

目 录

第一部分 基本知識

第一章 可控硅元件.....	(1)
第二章 可控硅整流电路.....	(10)
第三章 触发电路.....	(26)

第二部分 应用实例

一、在励磁系統中的应用

1.可控硅退磁装置在电磁工作台上的应用.....	天津市机床厂 (43)
2.可控硅电磁吸盘.....	天津机械铸造厂、天津电器工业研究所 (48)
3. 115瓩直流发电机组可控硅励磁调节器.....	天津发电设备厂 (52)
4.硅可控励磁调节器.....	天津机电器件厂 (60)

二、在机床調速系統中的应用

5.可控硅在交流电机调速系统中的应用.....	卫东电机厂 (63)
6. Z T 34可控硅摇臂钻床.....	天津第六机床厂 (69)
7. 电液压半自动多轴镗床可控硅调速装置.....	天津液压件厂 (76)
8. 应用可控硅改造 S T 095型转子槽磨床	天津液压件厂 (80)
9. 高精度半自动外圆磨床.....	天津电器装备厂 (84)
10. 牛头铣床的可控硅调速装置.....	天津铸锻件厂 (86)
11. T G 610臥式搪床可控硅供电装置.....	天津第四机床厂、内燃机厂 (94)
12. 可控硅调速装置在 $\phi 1000$ 普通车床上的应用.....	天津第二机床厂 (104)
13. B 110单臂鉋床的可控硅调速装置.....	天津通用机床修理厂 (113)
14. 可控硅调速及无触点装置在龙门鉋床上的应用.....	天津工程机械厂 (123)

三、在焊接設備中的应用

15. 可控硅励磁调节在 A X - 500型直流弧焊机上的应用.....	天津电焊机厂 (139)
---------------------------------------	----------------

16. S C Z-200可控硅直流弧焊机.....天津焊接研究所 (145)
17. G D-300型CO₂气体保护, 半自动电弧焊机可控硅控制装置
.....天津电焊机厂 (151)
18. 可控硅在二万瓦秒电容储能点焊机中的应用.....天津电焊机厂 (159)

四、在开关电路中的应用

19. K G Z 直流可控硅开关.....天津电器工业研究所 (165)
20. K G J 三相交流可控硅开关.....天津电器工业研究所 (169)
21. 用可控硅控制的 T C F-50型发爆器.....天津煤矿设备厂 (184)
22. 直流24伏晶体点火装置.....天津点火线圈厂 (187)
23. X Z D B-2型电动转辙机简介.....天津煤矿设备厂 (189)
24. 无触点闪光继电器 (J S-1).....天津煤矿设备厂 (192)

五、在其他方面的应用

25. 可控硅水位控制.....天津铸锻件厂 (195)
26. 可控硅自动稳压控制代铂坩锅.....天津玻璃纤维厂, 天津电器工业研究所 (200)
27. 可控硅交直流两用调压器.....天津东风电器厂 (203)

六、附录:

- 一、硅稳压管..... (207)
- 二、稳压管在稳压电路中的应用..... (207)
- 三、国产半导体器件型号, 规格和主要参数..... (209)

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆ 最 高 指 示 ☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

无论何人要认识什么事物，除了同那个事物接触，即生活于(实践于)那个事物的环境中，是没有法子解决的。

第一章 可控硅元件

§ 1-1 概 述

可控硅是一种新型半导体元件，它可作可控整流，无触点开关，变频等用。它具有体积小、重量轻、效率高、动作快、无噪音、使用可靠、操作方便、维护简单等许多优点。因此，可广泛地用于工农业生产的电子化、自动化上面。但是，过去由于叛徒、内奸、工贼刘少奇一伙在科学技术方面，推行一条“专家治厂”、“洋奴哲学”的反革命修正主义路线，扼杀电子工业的发展，使这门新兴科学技术的发展受到很大阻碍。经过无产阶级文化大革命，工人阶级掌握了科技大权，彻底摧毁了刘少奇的反革命修正主义科技路线。

广大工人和革命知识分子高举毛泽东思想伟大红旗，狠批了“洋奴哲学”、“专家治厂”的修正主义黑货，使得可控硅这门新技术又蓬勃地发展起来。目前，可控硅元件的应用已遍及冶金、机床、造纸、电力机车、电力、化工、煤矿、石油、造船、航空、国防及农牧等各个领域，并取得了显著成效。同“世界上一切事物无不具有两重性（即对立统一规律）”一样，可控硅元件也还存在一些缺点。例如不能承受大的过电流和过电压；因为元件触发信号小，易受外界干扰而误触发；对无线电设备可能产生干扰等。这些缺点将随着我国电子工业的飞速发展而得到适当解决。

目前，可控硅元件外形结构主要有两种形式，一种是螺栓式如图1.1—1；另一种是平板压接式如图1.1—2。大功率的可控硅元件愈来愈多地采用平板压接式结构。此结构两面散热，用陶瓷代替了金属材料，用压接代替锡焊，这样便能提高电流容量；节约钢、铜材料，保证了接触良好，但维护不太方便，且需要金属银。

可控硅是一种四层三端硅半导体器件。它的结构和电路符号如图 1.1—3 所示，三端分别为阳极 *A*、阴极 *C* 和控制极 *G*。

可控硅元件的电气性能与闸流管类似。当元件加上反向电压,即阳极接负,阴极接正时,它的特性和普通二极管的反向电压特性一样。也就是当反向

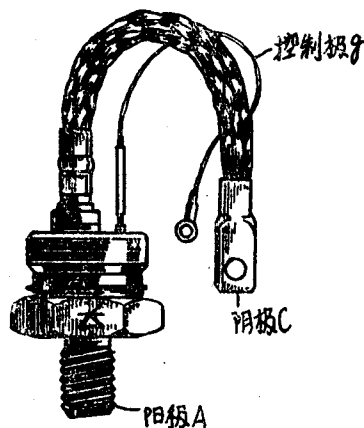


图1.1—1螺栓式可控硅元件外形

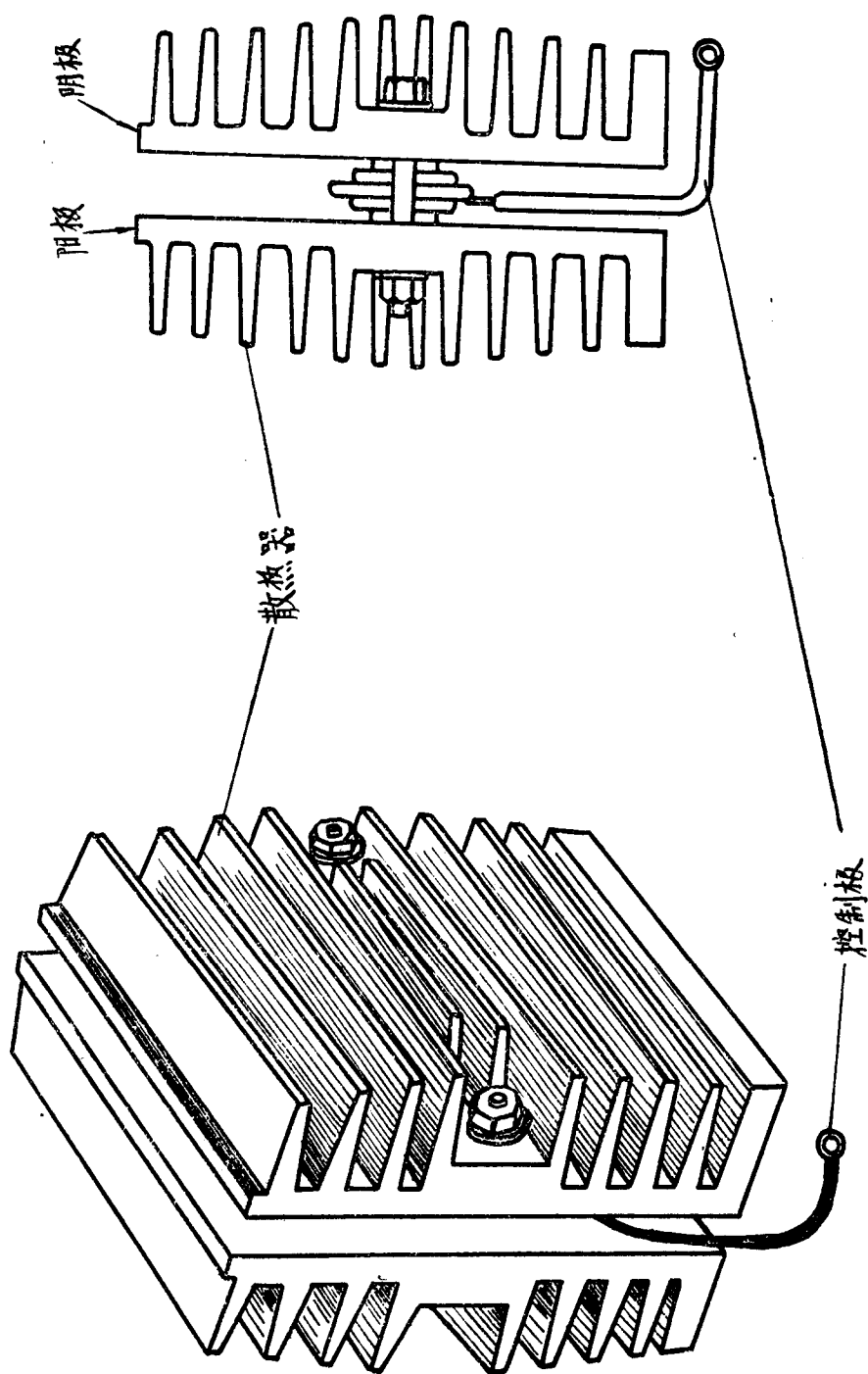
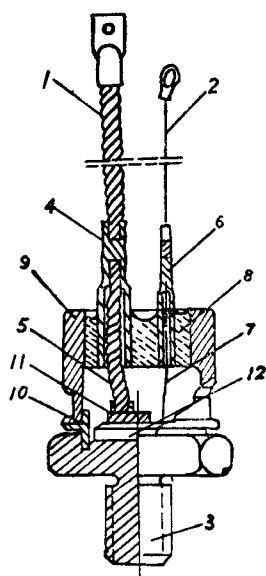
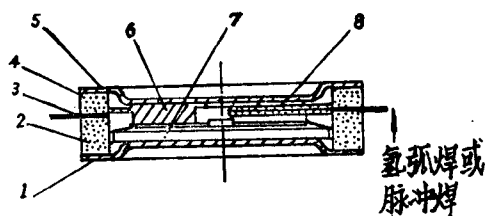


图1.1—2平板式可控硅元件外形



(i) 螺栓形结构

- | | |
|-------------|------------|
| 1. 阴极外引线; | 2. 控制极外引线; |
| 3. 底座 (阳极); | 4. 阴极导管; |
| 5. 阴极内引线; | 6. 控制极导管; |
| 7. 控制极内引线; | 8. 玻璃绝缘子; |
| 9. 钢套; | 10. 钢环; |
| 11. 上铜片; | 12. 管芯。 |



(ii) 平板形结构

- | | |
|------------|-----------------|
| 1. 下金属件; | 2. 下陶瓷件; |
| 3. 控制极金属件; | 4. 上陶瓷件; |
| 5. 上金属件; | 6. 阴极铜压块; |
| 7. 管芯; | 8. 带绝缘套的控制极内引线。 |



(iii)

图1.1—3可控硅元件结构及电路符号

电压没有超过反向峰值电压时, 只有很小的泄漏电流 (几毫安到十几毫安) 通过元件。当反向电压超过反向峰值电压时, 元件泄漏电流迅速增长, 终至击穿损坏。

当元件加上正向电压 (阳极为正, 阴极为负) 时, 它的特性和闸流管相似, 当正向电压未超过正向转折电压 U_{BO} 时, 如控制极 G 没有加上电压即控制极电流 $i_g = 0$, 则正向电流也很小 (几毫安到十几毫安), 相当元件内阻很大, 我们把这种状态叫做正向阻断状态, 即元件没有导通。但是, 当控制极加上足够大的电压, 使控制极—阴极间流过足够大的电流 (几十毫安到一百多毫安) 时, 阳极和阴极间电阻立刻变得很小, 流过很大的电流, 即元件导通了。我们把加到控制极的电压、电流叫做控制信号或触发信号。

元件一旦导通, 即使把控制极电压去掉, 元件仍将继续保持导通。要使元件重新回到不导通状态, 或者说使元件断开, 必须把阳极、阴极间电压降得很低, 使元件的电流小于某一值 (这值称做维持电流) 或者阳极、阴极间加一反向电压, 元件才能断开。这就是可控硅的特点。

§ 1—2 可控硅的工作原理

毛主席教导我们: “感觉到了的东西, 我们不能立刻理解它, 只有理解了的东西才更深刻地感觉它。感觉只解决现象问题, 理论才解决本质问题。”为了便于掌握可控硅应用知识,

首先来研究一下可控硅的控制极为什么能起到对阳极电流的控制作用。

毛主席教导我们说：“我們看事情必須要看它的实质，而把它的現象只看作入門的向导，一进了門就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”为了说明可控硅的工作原理，我们可把可控硅这个四层三端半导体元件看成是由两个三极管的组合，即 $P-N-P$ 管 JG_2 及 $N-P-N$ 管 JG_1 组成。如图1.1—4所示。

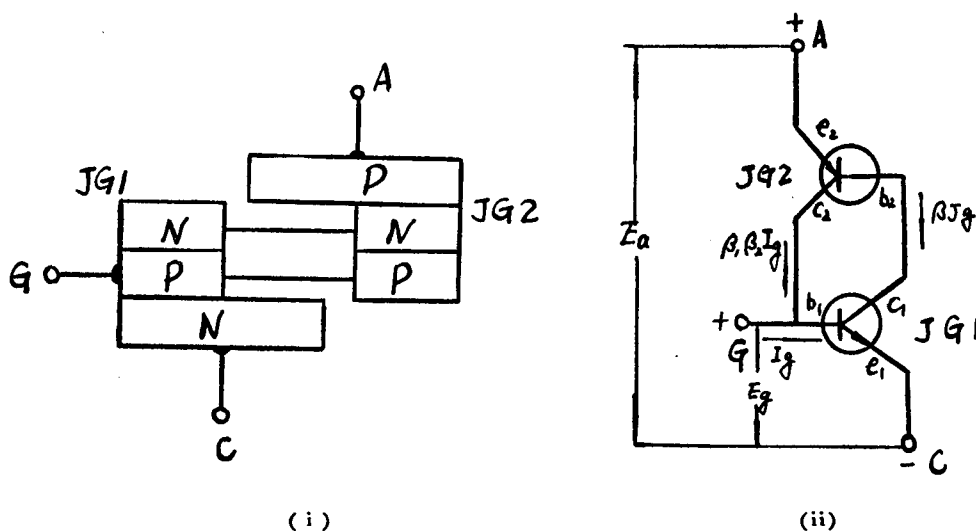


图1.1—4可控硅等效示意图

可控硅的阳极 A 相当于第二个三极管 ($P-N-P$) 的发射极，而阴极 C 相当于第一个三极管 ($N-P-N$) 的发射极，中间二层半导体为两个三极管共用，分别为两管的基极和集电极，控制极 G 则相当于第一个三极管 JG_1 的基极。

当可控硅加上正向电压时，若在控制极、阴极间加上正向电压 E_g ，这时 JG_1 的基极发射极回路中就有控制电流 I_g 通过，这 I_g 就是 JG_1 的基极电流。经过 JG_1 的放大在 JG_1 集电极上便通过大小近似等于 $\beta_1 I_g$ (β_1 为 JG_1 的放大倍数) 的电流。从图1.1—4 (ii) 可以看出，此电流恰是 JG_2 的基极电流，又经 JG_2 放大，在 JG_2 集电极中通过大小为 $\beta_1 \beta_2 I_g$ (β_2 为 JG_2 放大倍数) 的电流，此电流又通过 JG_1 的基极，再一次得到放大，如此周而复始，两个三极管很快就充分导通，于是，可控硅处于导通状态了。导通后其管压降几乎为零，可控硅就流过由负载决定的电流。

当可控硅导通后，由于 JG_1 的基极流过有远大于 I_g 的电流，因而即使控制电压消失，可控硅仍能继续保持导通。

如果可控硅接上反向电压，即阳极接负、阴极接正，此时，两等效三极管都处于反向电压下，不能对输入信号放大，故无论有无控制电压，可控硅都不会导通。

如果可控硅在正向阳极电压下，不加控制电压，或者控制电压极性接反，那末，虽然两只三极管都处于放大状态，但没有输入信号被放大，可控硅亦不会导通。

“事物内部矛盾着的两方面，因为一定的条件而各向着和自己相反的方面转化了去，向着它的对立方面所处的地位转化了去。”可控硅正向或反向电压如果太高，也会自行导通（控

制极无信号时)或反向击穿造成破坏。

可控硅的伏安特性如图1.1—5所示。横坐标表示阳极电压,纵坐标表示电流。控制电流 I_g 作参变量,在转折点所对应的电压 V_{BO} 称作转折电压。随控制信号(电流 I_g)不同有不同的转折电压,最后形成了二极管的正向特性, V_{RB} 为反向击穿电压。

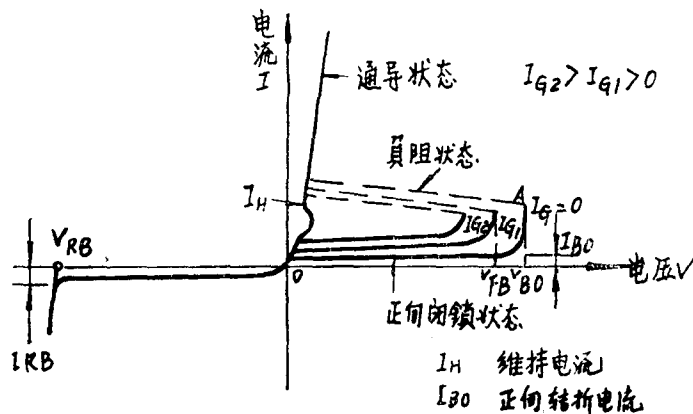


图1.1—5伏安特性

§ 1—3 可控硅的型号、参数及选择

目前我国的可控硅元件的型号及含义如下:

3CT□/□——表示元件的正向阻断峰值电压
 ———表示元件的额定正向平均电流
 ———表示可控整流元件
 ———表示N型硅材料
 ———表示三个电极

可控硅元件的参数很多,下面谈几个主要的参数:

1. 额定正向电流——是指在规定环境温度、标准散热和元件导通条件下,阳极与阴极间可连续通过的工频正弦半波平均值。通常有1A、5A、20A、50A、100A、200A等级,尤以5A、20A、50A、200A最常见。我们知道,当元件通过非恒定直流时,其元件的发热量是与其通过电流的有效值成比例,因此,当通过元件的电流波形不是正弦半波时,其允许通过的平均电流就不同于额定平均电流。例如额定平均电流为1A的可控硅元件在通以恒定直流时,可通过电流为1.57A,在正弦全波时,可通过1.42A,在半波时就是1A。若导通角只有90°时,则可通过的平均电流只有0.71A。

在选择元件时,可用下面公式:

$$I_d = \frac{1.57 I_F}{K} mK \cdot C$$

I_d ——允许最大整流平均电流

I_F ——可控硅额定平均电流

K ——不同整流电路通过可控硅元件波形系数,参见表(1.2—1)

m_k ——可控硅并联导通数，参见表 (1.2—1)

C ——导通角系数，因随导通角减少允许最大整流输出值也随之减少。在不同的导通角时 C 的值见表 (1.1—1)

表1.1—1

导 通 角	导 通 角 系 数	
	单 相	三 相
$0-\pi$	1	
$\frac{\pi}{6}-\pi$	0.94	$1\left(\frac{\pi}{6}\sim\frac{5}{6}\pi\right)$
$\frac{\pi}{3}-\pi$	0.83	0.94
$\frac{\pi}{2}-\pi$	0.71	0.79
$\frac{2}{3}\pi-\pi$	0.57	0.63
$\frac{5}{6}\pi-\pi$	0.4	0.45

注：该导通系数是在纯阻性负载时计算的，当负载有电感时，系数相应增大；当电感相当大时，则电流连续，导通系数等于1。

2. 工作电压——在技术规格中，给出正向阻断峰值电压（即正向转折电压减去100V）和反向峰值电压（即反向击穿电压减去100V）；一般此二值是相近的，若不同时，则以较低的一项为峰值电压。在实际使用时，除按供电电压峰值选择外，由于可能产生线路过电压，则必须考虑足够的安全系数，一般取（1.5~2）；对于感性负载，安全系数可选得适当高些。例如元件端电压为交流220V时，必须选择峰压 $U = 220 \times \sqrt{2} \times 2 = 625V$ 以上。

除了工作电压及额定电流外，使用可控硅还必须注意以下几点：

①因可控硅过电压和过电流的能力都较差，故必须考虑适当的保护，包括控制极的保护。

②当可控硅阳极电压虽未超过转折电压，但如果电压的变化率过大，也可能使可控硅误导通，这是因为控制极的结电容存在的原因。电压变化率越大，则结电容的电流越大，当大到控制电流时，便使可控硅导通了。为此应选用较高的电压变化率的元件或考虑串入一定的电感或选用RLC网路保护。如图1.1—6

当 $\frac{dU}{dt}$ 很高时， C 可看作短路。

则 $\frac{dU}{dt} = \frac{R}{L} U$ ，改变 R/L 就可使 $\frac{dU}{dt}$ 减少。

③注意可控硅的散热问题。在可控硅上要配用具有规定散热面积的散热器，并使元件和散热器之间有良好的接触。对于 50A 以上的可控硅还要加上通风冷却装置。

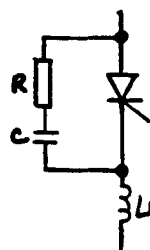


图1.1—6

国产可控硅型号见附录。

§ 1—4 可控硅的保护

毛主席教导我们说：“我们必须学会全面地看问题，不但要看到事物的正面，也要看到它的反面。”可控硅具有许多优点，而且很有发展前途。但是，也存在一些缺点，过电流和过电压的能力差是它的主要缺点，为使可控硅得以正常应用，除合理选择元件外，还须在主回路中加入保护环节。

1. 可控硅的过流保护

可控硅的热容量小，在过电流使用时，结温就会急剧上升。在超过允许温升后，转折电压急速下降，以致使P-n结烧毁，可控硅就会失去可控整流作用，甚至造成元件内部短路或开路，成为永久性的破坏。

可控硅过电流的原因有：过载、短路、误触发等。

根据毛主席关于“不同质的矛盾，只有用不同质的方法才能解决”的教导，针对不同过电流原因，采取不同保护方法。一般可用快速熔断器作短路保护。用快速开关，过流继电器等作过载保护，在要求不高时，可用快速熔断器兼作过载保护。此外，还可利用主回路中过电流反馈信号限制负荷过载。

快速熔断器是专供可控硅保护使用的，它具有极为优越的快速性，在同样过载倍数下，它比普通熔断器的熔断时间要短得多。目前常用的快速熔断器有两种形式，大容量的有RSO型。RSO系列，低压有填料封闭管式快速熔断器，是母线式，有250伏、500伏、750伏三种电压规格，30安、50安、80安、150安、350安等几种电流规格；另一种小容量的是RLS型，是螺旋式的，有10A、50A、100A三种，而熔体则有3A、5A、10A、15A、20A、25A、30A、40A、50A、60A、80A、100A等多种规格对应于以上三种熔断器应用。

快速熔断器在通以4倍额定电流时，于0.05~0.3秒内熔断，6倍额定电流时，熔断时间不大于0.01秒。使用快速熔断器时，容量常根据 $(1.25 \sim 1.5) I_F$ 计算，其中 I_F 为可控硅元件的额定电流平均值。

快速熔断器在线路中的位置大体可分三种：

①接在交流输入线路中。图1.1—7

②接在直流输出线路中。图1.1—8

③与硅元件直接串联。图1.1—9

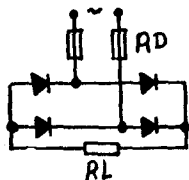


图1.1—7

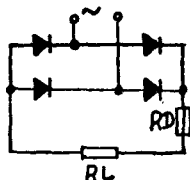


图1.1—8

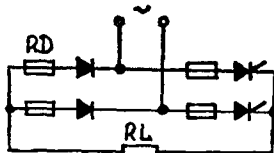


图1.1—9

2. 可控硅的过压保护

过电压的原因主要有操作过电压（感性负载的开闭等）及电网过电压、闪电雷击、其他

干扰等。产生过电压的基本原因是由于回路中积存的电磁能量消耗不掉，若想免除元件遭受过电压的破坏，就应装设吸收这些能量的支路或是降低能量的消散速度，降低过电压峰值。常用电阻电容组成吸收装置作保护，或用硒堆作保护。

①交流侧保护装置

为了防止电源侧过电压（如大气过电压等）和变压器开合时引起的操作过电压（其峰值达正常峰值的8~10倍）侵入，在变压器原绕组侧和付绕组侧装有硒堆或电阻电容串联的保护装置。在单相电路中，将元件串联后并在原付绕组侧即可；在三相电路中可接成三角形或星形，如图1.1—10。

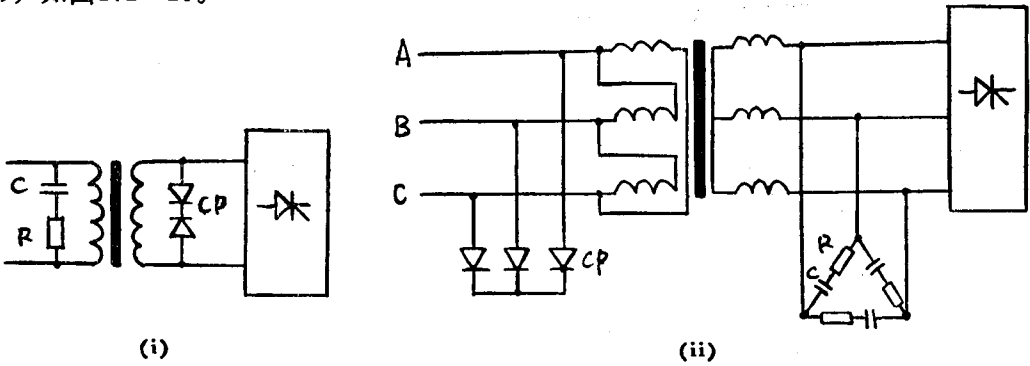


图1.1—10

硒堆计算如下：

$$\text{每组片数 } n = \frac{KU}{U_*}$$

U ：为被保护侧电压有效值（在三相时为线电压）。

U_* ：每片击穿电压，一般为18~24伏

K ：为安全系数，可取为 $\sqrt{2} < K < 2$

硒片面积可取 $30 \times 30 \sim 100 \times 100$ ，视电流而定。

阻容吸收装置的计算：

$$C = K_C \frac{0.1 I_H}{f U} (\mu f)$$

$$R = K_R \frac{U}{0.1 I_H} (\Omega)$$

式中 U 与 I_H 分别为所对应绕组的线电压及额定线电流。

f 为电源频率

K_C 与 K_R 的数值可按表 1.1—2 选取

表1.1—2

	单相桥式	三相半波		三相桥式	六相双星	
		原绕组侧	付绕组侧		原绕组侧	付绕组侧
K_C	29000	10000	800	10000	10000	7000
K_R	0.3	0.3	0.36	0.3	0.3	0.42

电容器耐压 $U_p = (1.1 \sim 1.15) U$ (伏) (U 为线电压)

如用电解电容, 则 $U_p = (3 \sim 5) U$ (伏)

电阻功率 $P_R = 0.0018 I_A^2 R_A$ (瓦)

② 可控硅元件侧的保护

可控硅元件在关断的瞬时, 由于电路中有电感存在, 在元件两端出现换向过电压。为了防止可控硅被换向过电压击毁 (特别是在两个可控硅元件串联使用时), 应在可控硅元件的阳极与阴极之间并联电阻电容, 加以保护, 如图 1.1-11 所示。因电容的存在, 它能吸收浪涌电压, 但为了防止电容器与可控硅组成的回路引起振荡而产生瞬时剧增电流, 故需串入电阻 R 。

电容 C 的选择如下: 对于 200A 元件取 $C = 0.5 \mu f$; 对于 100A 元件取 $C = 0.25 \mu f$; 对于 20A 以下的, 取 $C = 0.1 \mu f$ 。

电阻 R 可按下式选择

$$R = 8 \sqrt{\frac{U_2}{I_2 C}} \quad (\Omega)$$

式中: U_2 为付边相电压 (伏)

I_2 为付边相电流 (安)

C 为保护电容 (以 μf 计)

电阻功率可近似如下算出

$$P \approx 314 C U^2 \times 10^{-4} \text{ (瓦)}$$

式中: U 为可控硅反向电压有效值 (伏)

C 为保护电容, (以 μf 计)

功率算出后应再加大 1.5~2 倍

③ 直流侧的保护

直流输出端也要装设电阻电容吸收装置, 以吸收整流器中漏磁场的电磁能量。如图 1.1-12

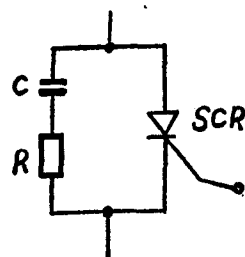


图1.1-11

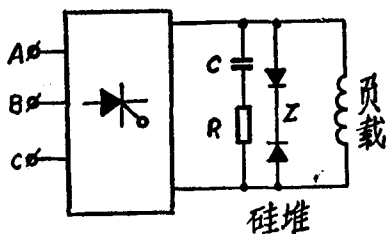


图1.1-12

阻容值按下式计算

$$C = \frac{M}{32f} \cdot \frac{I_d}{U_d} \times 10^8 \quad (\mu f)$$

M 为整流变压器漏抗百分率, 一般取 4~10%

U_d 为直流负载额定电压 (伏)

I_d 为直流负载额定电流 (安)

电容器的耐压一般取用直流电压的两倍

$$\text{电阻 } R_{da} \approx (3 \sim 5) \frac{U_d}{I_d} (\Omega)$$

电阻功率

$$P = \frac{P_d}{800} \text{ (瓦)} \quad P_d \text{ 为直流输出功率}$$

最高指示

无产階級認識世界的目的，只是为了改造世界，此外再无別的目的。

第二章 可控整流电路

前一章介绍了可控硅的基本知识，对可控硅这一新事物的客观规律性有了认识。毛主席教导我们：“馬克思主义的哲学认为十分重要的問題，不在于懂得了客观世界的規律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观規律性的认识去能动地改造世界。”我们要运用可控硅的特性，去解决生产实践中经常需要的电压可调的直流电源问题。在抓革命，促生产的洪流中，广大的工人师傅经过实践，为我们解决了这个问题。下面我们将常用的几种可控整流电路作一介绍。

§2—1单相半波可控整流电路

单相半波整流电路如图1.2—1(i)所示，变压器B的二次绕组输出电压波形 e_2 如图1.2—1(ii)，当可控硅SCR控制极无触发信号输入时(即 $U_g=0$)，则可控硅在任何时刻均不导通，输出电压 $U_d=0$ ；若在 e_2 由负半波进入正半波过零时刻，输入一个足够大的触发信号 U_g ，可控硅就在正半周全部导通，其输出电压波形与单相半波不控整流电路输出波形相同，如图1.2—1(iii)。

若触发信号加入时间比电压过零时刻延迟一个 α 角，则可控硅导通也将延迟一个 α 角，如图1.2—1(v)(vi)，此 α 角称为起通角。

图1.2—1(v)波形所包括的面积比图1.2—1(iii)波形所包括的面积要小，即图1.2—1(v)，输出直流电压平均值比图1.2—1(iii)输出直流电压平均值小。

随着触发信号加入时间的延迟则可控硅起通角将随之改变，输出电压 U_d 即随之改变， α 角愈大则输出电压 U_d 愈小。

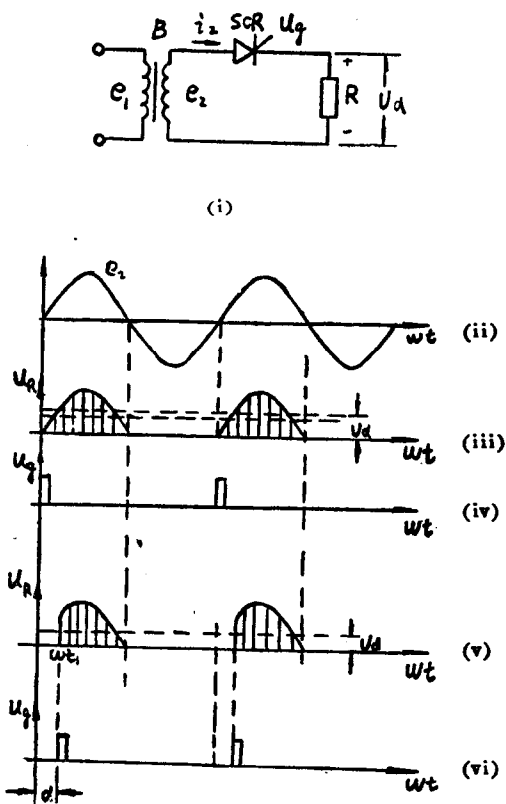


图1.2—1

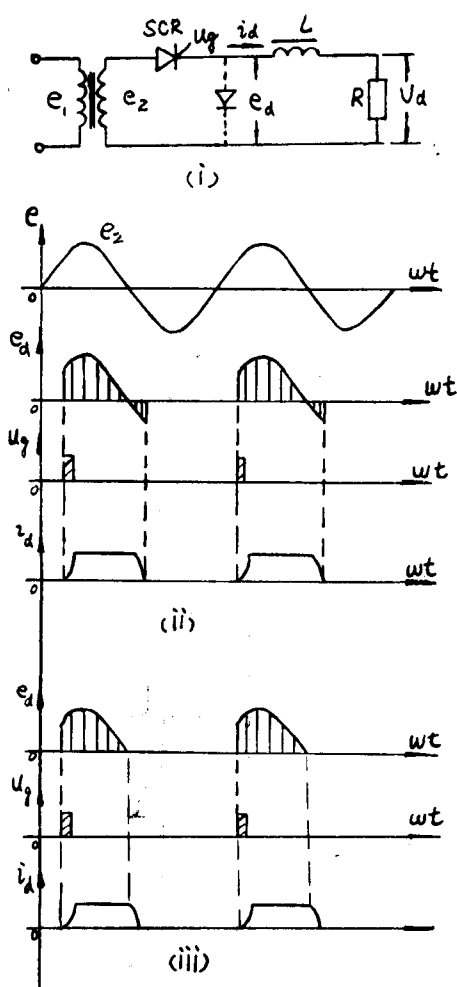


图1.2-2

中 U_{d1} , U_{g1} 。

同理SCR2的控制触发信号，也在比b点电压 U_{b0} 由负向正变化过零时间延迟一个 α_1 角输入，则SCR2也将延迟一个 α_1 角才导通，则输出电压 U_d 波形见图1.2-3(ii)。

整个输出电压 U_d 的值，等于 U_{d1} , U_{d2} 之和，平均电压 U_d 的值也将随 α 角改变而改变， α 角愈大，则 U_d 愈小。见图1.2-3 (ii) (iii) 中 U_{d1+2} 。

从图1.2-1与图1.2-3可见输出电压的波动，单相全波可控整流电路比半波电路小。但是，变压器需要中心抽头；另外可控硅的反向峰值电压需选用比半波时高出一倍的元件。为了解决这些问题，可用全波桥式整流电路。

§2-3单相桥式可控整流电路

单相桥式可控整流电路有图1.2-4所示四种

以上四种电路均可得到与图1.2-3相同效果的整流电压。图1.2-4(i) 不仅可应用于整

当负载是电感性时（如电动机激磁绕组等），由于感性负载的特点使电流的变化落后于电压的变化，当电压由正半周过另时，电感仍可维持一个较大的电流，此电流流过可控硅将可能造成失控现象。为避免这种现象发生，应在感性负载两端并联一个二极管（容量选与SCR相近），为感性负载的迟后电流提供一个放电回路，而不流过可控硅。此二极管称为续流二极管。

电感负载时电压 U_d 波形如图1.2-2。图1.2-2(ii)中 e_d , i_d 波形为无续流二极管时；(iii)中 e_d , i_d 波形为有续流二极管时。

§2-2单相全波可控整流电路

单相全波可控整流电路如图1.2-3(i)所示。

a、b 两点电压相差 180° ，a 点电压波形如图1.2-3中实线 U_{a0} ，b 点电压波形如图1.2-3虚线 U_{b0} ，两只可控硅触发信号电压相位应相差 180° 。当a点电压 U_{a0} 由负向正变化过零点时，有一触发脉冲信号 U_{g1} 输入，则SCR1 即全导通，SCR2的控制极触发脉冲信号是在b点电压 U_{b0} 由负向正变化过零时输入，则SCR2也全导通。

若触发脉冲信号输入时间比a点电压 U_{a0} 由负向正变化过零时间延迟一个 α_1 角时，则SCR1将延迟一个 α_1 角导通。如图1.2-3(ii)