

可控硅装置与 轧机电气传动自动化

译文集

天津电气传动设计研究所编

机械工业出版社

11-53

本书选自1972年秋季广交会技术交流资料，主要介绍日本和西德电气传动用可控硅成套控制设备，包括标准化控制单元，以及初轧机、可逆热轧机、冷连轧机电气传动自动化和计算机控制。

可供从事电气传动自动化工作的广大工人和工程技术人员参阅。

可控硅装置与轧机电气传动自动化

(译文集)

天津电气传动设计研究所编

(内部发行)

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $29 \frac{1}{2}$ · 字数 733 千字

1974年10月北京第一版·1974年10月北京第一次印刷

印数 00,001—14,800 · 定价 2.35 元

*

统一书号: 15033 · (内)596

前 言

在我国，可控硅整流装置已在各行各业广泛应用。随着大功率可控硅元件的发展，大功率可控硅的应用正在迅速推广。

遵照伟大领袖毛主席关于“抓革命，促生产”的伟大方针和“洋为中用”的教导，为了配合可控硅应用技术的推广，我们从1972年秋季广州交易会收集到的国外技术交流资料中，选译了日本东芝、富士、明电舍，西德的西门子等四个公司关于电气传动用可控硅整流装置及控制单元的标准系列，以及轧机电气传动自动化等方面的文章共28篇，提供从事电气传动自动化方面的广大工人、技术人员在工作中参考。

本译文集，是由天津电气传动设计研究所及天水电气传动研究所负责选题，由天水电气传动研究所、京津地区电气传动与自动化情报网的天津大学、清华大学、北京钢铁设计院、北京自动化仪表厂、冶金部情报所、首钢自动化办公室、一机部机电所、二机部二院、天津电气传动设计研究所等单位承担译校工作。

限于我们的水平，在编译过程中，难免存在许多缺点和错误，希望读者批评指正。

编 者

1973年10月

目 录

1 大功率可控硅元件及其装置	1
2 可控硅电源装置	15
3 可控硅电源	27
4 直流传动用静止功率变换器控制系统	47
5 直流传动用的 SIMOREG 变流装置	57
6 自动控制方式	84
7 “LEOPACK” 系列标准化变流装置	121
8 集成电路化直流调速装置	135
9 “THYL-70UNI” 系列可控硅变流装置	144
10 “THYL-70MINI” 可控硅控制箱	166
11 “TRANSIDYN” C 系统控制装置	176
12 控制单元	188
13 标准控制单元	241
14 交流调节器	347
15 MF PACK-Ⅲ 交流式可控硅电动机	360
16 可控硅整流装置的保护	366
17 轧机用水冷可控硅整流装置	369
18 水冷可控硅设备	378
19 日本炼铁厂电气设备的最近发展趋势	386
20 可逆热轧机的电气控制	394
21 初轧机的电气设备	404
22 初轧机的计算机控制	412
23 新型冷连轧机的电气设备与计算机系统	418
24 最新冷轧机的电气设备	425
25 最新的冷连轧机控制装置	432
26 带钢冷连轧机的自动控制	449
27 带钢冷连轧机的整流装置	457
28 钢铁工业用直接数字控制机	460

大功率可控硅元件及其装置

一、前言

目前生产的大功率可控硅元件，其正向阻断峰值电压达2500伏，平均正向电流可达500安，并已在工业中得到广泛的应用。本文将叙述这些可控硅元件的构造与特性，以及可控硅装置的结构和保护系统。

二、大功率可控硅元件的构造和特性

1. 结的设计

在一定直径的硅片上要制成高压大电流可控硅元件，其合理的结的设计是很重要的。如果可控硅一个特性指标（例如阻断电压）较高，则其他的特性（在这里主要是正向压降）就肯定会非线性上升。因此结的结构参数，如载流子寿命，基区宽度，电阻率，扩散的剖面 and 复合中心的分布必须仔细考虑，它们关系到可控硅元件的每一个特性，须权衡所有的特性后才能选定结的设计。在结的设计中所使用的典型数据之间的关系，如在不同的基区宽度下硅单晶电阻率和阻断电压之间的关系示于图1。当确定结的设计时，所选定的设计需要考虑是否会使制造产生困难。

2. 制造过程

目前，多数大功率可控硅元件均用扩散——合金法制造，其过程如下：

（1）扩散过程

为了保持寿命在某一定值或以上，在扩散过程中，须仔细选择材料，须有严格的工作环境和工艺控制。扩散过程对开通特性影响很大。图2为KGP01和KGP02型可控硅元件的通态特性，图3为同型号可控硅元件正向压降的分布范围。

对于需要关断时间短的可控硅，在扩散过程中渗入一种缩短寿命的杂质，以降低寿命。

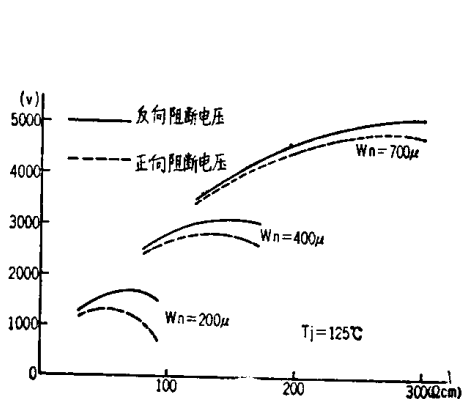


图1 不同 n 型基区宽度(W_n)时，电阻率和阻断电压间的关系

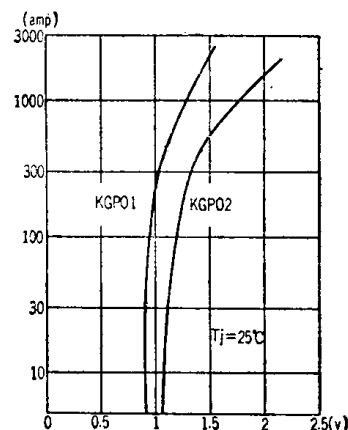


图2 KGP01和KGP02的典型正向电压降

(2) 合金过程

可控硅的阴极是在硅片上烧结一层薄的金—铈合金而成。经此过程，由渗入的杂质中的施主杂质形成 pn 结。此结的均匀性，对阻断特性，正向电压上升率，正向电流上升率以及可控硅元件的浪涌电流有相当大的影响。当要求合金结具有较大的表面积时，对金—铈合金的配制，材料的处理，合金过程的压紧以及温度程序控制等工序必须认真进行。图 4 表示 KGP02 可控硅的 dv/dt 值。

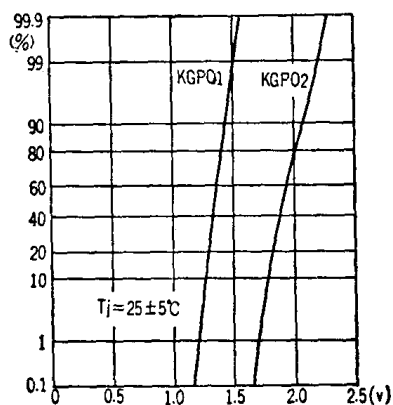


图 3 KGP01:1500安, KGP02:1250安的正向压降分布

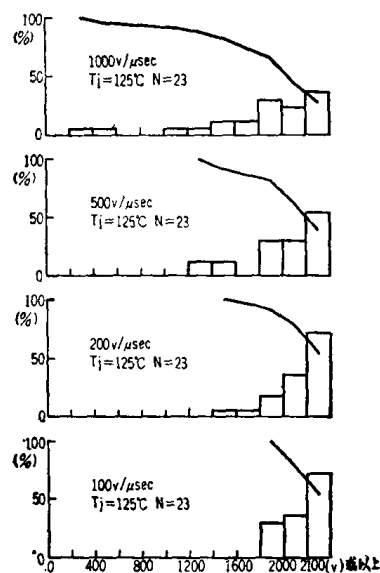


图 4 在不同的 dv/dt 时 KGP02 的正向阻断电压

(3) 硅片的表面处理

可控硅表面的场强最大值应低于 5×10^4 伏/厘米。在腐蚀过程中使用一种装置，使阳极金属在腐蚀溶剂中溶解，以便不使它与结表面接触。

图 5 和图 6 分别表示正向漏电流和反向漏电流在低值区域的分布。

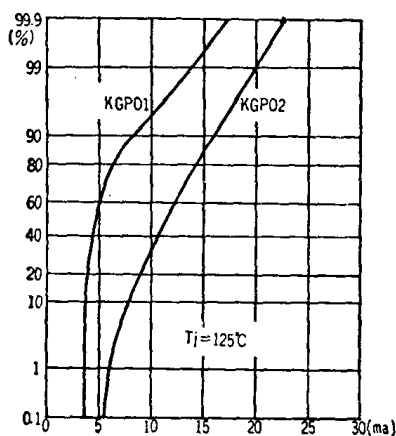


图 5 KGP01-12, KGP02-25 的正向漏电流的分布

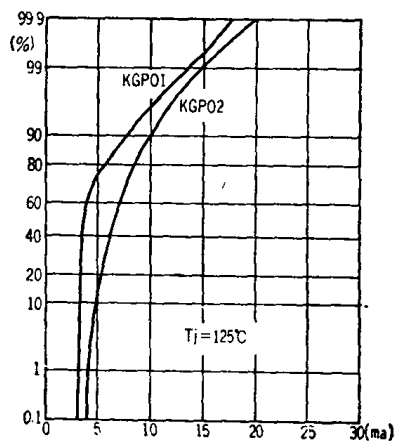


图 6 KGP01-12, KGP02-25 的反向漏电流的分布

3. 构造

GTN 型可控硅元件的外形尺寸和外形见图 7 和图 8。KGP 型可控硅元件的外形尺寸和外形见图 9 和图 10。在 GTN 型可控硅元件的内部，铜螺栓底座和管芯由弹簧压紧。在 KGP 型中，可控硅电极的两边用外部弹簧压在散热器上。大功率可控硅元件的构造特点如下：

(1) 采用压接后，可控硅元件无热疲劳。在装配时不用焊接，元件内部无污染。

(2) KGP 型在两边散热，热阻低，这点可从图 11 看出。平板型可控硅元件装成后，极性能改变，这样便能适用于各种冷却系统，这一点将在后面叙述。

(3) GTN 和 KGP 型均用陶瓷绝缘，以防表面漏电太大。

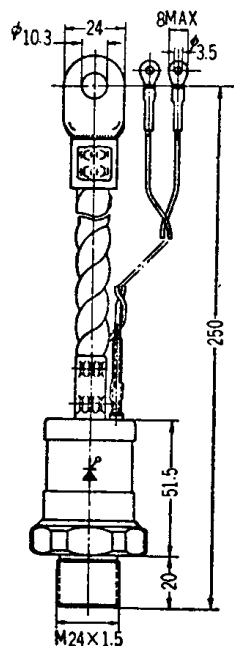


图 7 GTN01, GTN02 和 GTN21 可控硅元件的外形尺寸

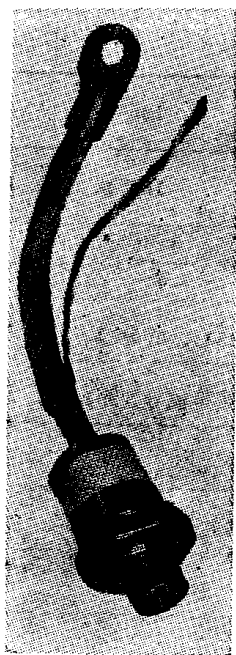


图 8 GTN01, GTN02 和 GTN21 可控硅元件的外形

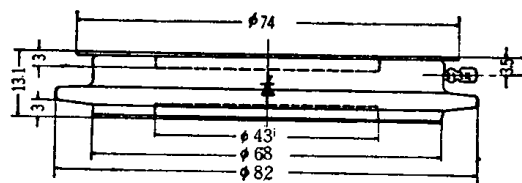


图 9 KGP01, KGP02, KGP03 和 KGP21 可控硅元件的外形尺寸

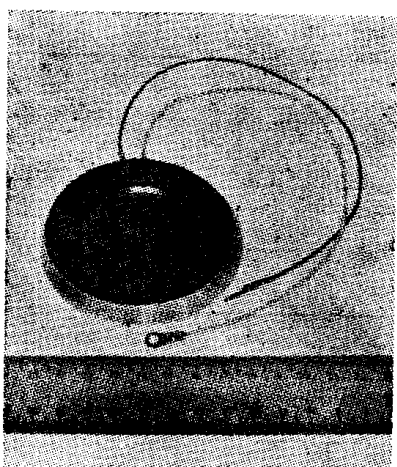


图 10 KGP01, KGP02, KGP03 和 KGP21 可控硅元件的外形

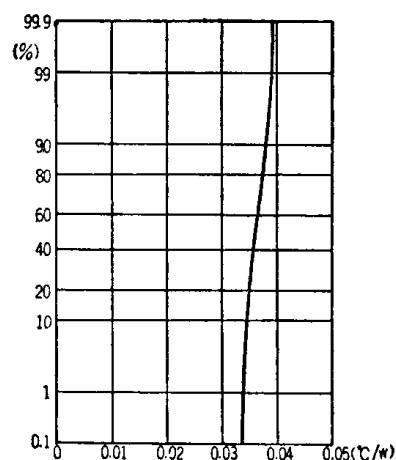


图 11 P 型可控硅结与散热片内部指定点间的热阻

4. 定额和特性

(1) 大功率可控硅元件的定额

GTN 和 KGP 各种型号的可控硅元件的定额与特性列在表1, 2, 3。这两种型号可控硅元件的过电流能力示于图12、13。关断时间短的 KGP21 可控硅元件的关断时间特性如图 14、15所示。

表 1 GTN01和GTN02 可控硅的额定值与特性

项 目	GTN01				GTN02
	08	10	12	13	16
额定反向峰值电压	800伏	1000伏	1200伏	1300伏	1600伏
额定正向峰值电压	800伏	1000伏	1200伏	1300伏	1600伏
正向阻断电压临界上升率(dv/dt)	100伏/微秒 ($\frac{1}{1.5} \times \text{PFV}$)				200伏/微秒 ($\frac{1}{1.5} \times \text{PFV}$)
正向压降	≤ 1.5 伏(25°C、600安)				
额定正向平均电流	200安(正弦半波导通角180°, $T_c = 80^\circ\text{C}$)				
正向电流极限上升率(di/dt)	50安/微秒				
允许浪涌电流	6300安(50赫一周波)				
I^2t 值	240000安 ² -秒				
维持电流	≤ 180 毫安(25°C)				
反向漏电流	≤ 10 毫安(在额定反向峰值电压下)				
正向漏电流	≤ 10 毫安(在额定正向峰值电压下)				
连续允许结温	$-40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$				
结与外壳间热阻	≤ 0.17 度/瓦				
控制极触发电流	≤ 300 毫安(25°C)				
控制极触发电压	≤ 2.0 伏(25°C)				
控制极不触发电压	≤ 0.2 伏(125°C)				
控制极额定平均耗散功率	< 2.0 瓦				
控制极额定峰值耗散功率	< 20 瓦(脉冲宽度 ≤ 100 微秒)				
控制极额定反向电压	< 2.0 伏				
标准螺旋力矩	5.5公斤-米, 有涂敷; 8.0公斤-米, 无涂敷				
重 量	约550克				

表2 KGP01和KGP02 可控硅的额定值与特性

项 目	KGP01		KGP02	
	08	12	20	25
额定反向峰值电压	800伏	1200伏	2000伏	2500伏
额定正向峰值电压	800伏	1200伏	2000伏	2500伏
正向阻断电压临界上升率(dv/dt)	100伏/微秒 $\left(\frac{1}{1.5} \times \text{PFV}\right)$		100伏/微秒 $\left(\frac{1}{1.5} \times \text{PFV}\right)$	
正向压降	≤ 1.6 伏(25°C, 1500安)		≤ 2.3 伏(25°C, 1250安)	
额定平均正向电流, 正弦半波, 导通角180°	500安, $T_c = 80^\circ\text{C}$		400安, $T_c = 80^\circ\text{C}$	
正向电流极限上升率(di/dt)	50安/微秒		50安/微秒	
允许浪涌电流	10000安(50赫一周波)		7000安(50赫一周波)	
I^2t 值	410000安 ² -秒		200000安 ² -秒	
维持电流	≤ 400 毫安(25°C)		≤ 400 毫安(25°C)	
反向漏电流	≤ 20 毫安(在 V_{RO} 下)		≤ 30 毫安(在 V_{RO} 下)	
正向漏电流	≤ 20 毫安(在 V_{FO} 下)		≤ 30 毫安(在 V_{FO} 下)	
连续允许结温	$-40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$		$-40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$	
结与外壳间的热阻	≤ 0.04 度/瓦		≤ 0.037 度/瓦	
控制极触发电流	≤ 300 毫安(25°C)		≤ 300 毫安(25°C)	
控制极触发电压	≤ 2.0 伏(25°C)		≤ 2.0 伏(25°C)	
控制极不触发电压	≤ 0.2 伏(125°C)		≤ 0.2 伏(125°C)	
控制极额定平均耗散功率	4.0瓦		4.0瓦	
控制极额定峰值耗散功率	70瓦(脉冲宽度 ≤ 100 微秒)		70瓦(脉冲宽度 ≤ 100 微秒)	
控制极额定反向电压	5.0伏		5.0伏	
标准螺旋压力	$1000 \begin{smallmatrix} +200 \\ -100 \end{smallmatrix}$ 公斤		$1000 \begin{smallmatrix} +200 \\ -100 \end{smallmatrix}$ 公斤	
重 量	约240克		约190克	

表3 短开关时间可控硅的额定值与特性

项 目	GTN 21			KGP 21
	03	06	12	13
额定反向峰值电压	300伏	600伏	1200伏	1300伏
额定正向峰值电压	300伏	600伏	1200伏	1300伏
正向阻断电压临界上升率 (dv/dt)	50伏/微秒 $\left(\frac{1}{1.5} \times \text{PFV}\right)$			100伏/微秒 $\left(\frac{1}{1.5} \times \text{PFV}\right)$
正向压降	≤ 1.9 伏 (25°C , 600安)			≤ 2.0 伏 (25°C , 1250安)
额定平均正向电流, 正弦半波, 导通角 180°	160安 $T_c = 80^{\circ}\text{C}$			400安 $T_c = 80^{\circ}\text{C}$
正向电流极限上升率 (di/dt)	100安/微秒			100安/微秒
容许浪涌电流	5500安(50赫一周波)			8000安(50赫一周波)
I^2t 值	150000安 ² -秒			260000安 ² -秒
维持电流	≤ 180 毫安 (25°C)			≤ 400 毫安 (25°C)
反向漏电流	≤ 10 毫安 (在 V_{RO} 下)			≤ 30 毫安 (在 V_{RO} 下)
正向漏电流	≤ 10 毫安 (在 V_{FO} 下)			≤ 30 毫安 (在 V_{FO} 下)
容许结温	$-40^{\circ}\text{C} \sim +120^{\circ}\text{C}$			$-40^{\circ}\text{C} \sim +115^{\circ}\text{C}$
结与外壳间的热阻	≤ 0.15 度/瓦			≤ 0.04 度/瓦
开通时间	≤ 3.0 微秒 (25°C)			≤ 5.0 微秒 (25°C)
关断时间	≤ 50 微秒 (120°C)			≤ 50 微秒 (115°C)
控制极触发电流	≤ 300 毫安 (25°C)			≤ 300 毫安 (25°C)
控制极触发电压	≤ 2.0 伏 (25°C)			≤ 2.0 伏 (25°C)
控制极不触发电压	≤ 0.2 伏 (125°C)			≤ 0.2 伏 (115°C)
控制极额定平均耗散功率	2.0瓦			4.0瓦
控制极额定峰值耗散功率	20瓦 (脉冲宽度 ≤ 100 微秒)			70瓦 (脉冲宽度 ≤ 100 微秒)
控制极额定反向电压值	2.0伏			5.0伏
螺旋力矩及压力	5.5公斤-米 (有涂敷)			1000^{+200}_{-100} 公斤

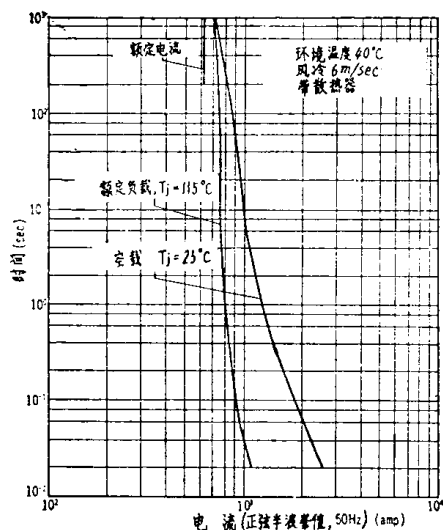


图12 过电流能力 (GTN02)

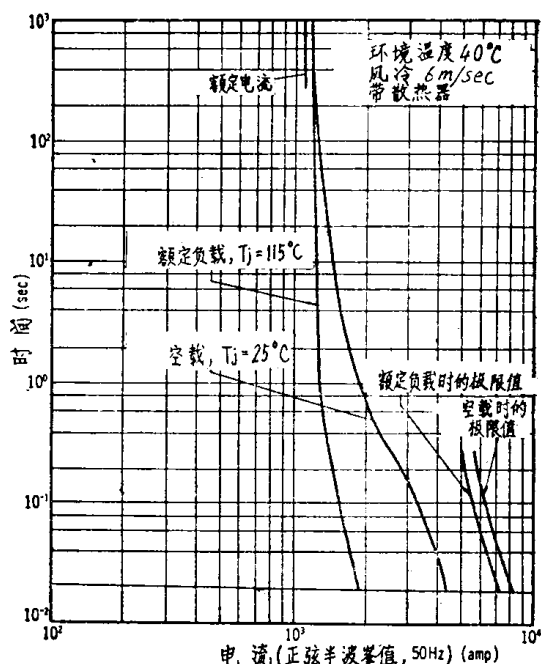


图13 过电流能力 (KCP02)

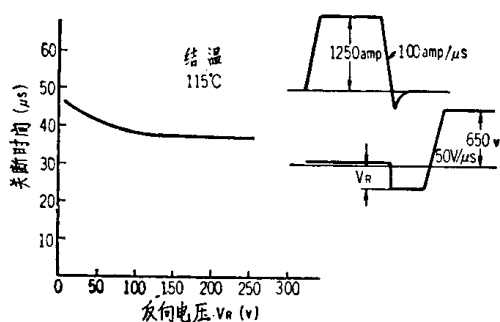


图14 反向电压与关断时间的关系

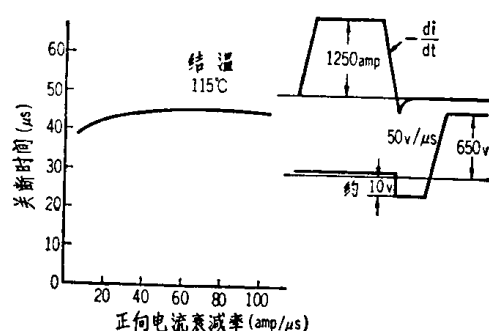


图15 正向电流衰减率与关断时间的关系

(2) 可控硅元件的动态特性

可控硅元件在变流电路中使用受到动态应力, 所以可控硅元件的初态性能十分重要。

1) dv/dt 特性

dv/dt 值指正向阻断状态时的电压临界上升率。此值随着结的温升及关断终值电压的增加而降低。当有起始电压时, dv/dt 值高。GTN01 可控硅元件的 dv/dt 特性如图 16 所示。

2) di/dt 特性

di/dt 是指正向电流的极限上升率。 di/dt 值受变流器中换向电流 di/dt 的限制。如图 17 所示, 可控硅元件并联 $R-C$ 滤波器时, di/dt 值亦受电容器放电电流的限制。

3) 反向恢复电流

当正向电流刚一停止后, 在反向由于无反向阻断能力, 暂时流过反向恢复电流。当反向恢复电流减小时, 在可控硅上出现反向电压。如果反向恢复电流迅速地减小, 则在电路的电感中感应出一个较高的电压。当换流完毕, 产生一个瞬变电压, 称之为初始反向电压。为了使初始反向电压较低, 如图 17 所示, 可控硅元件上并联一个电容。图 18 表示关断时的阳极电

流和阳极电压。反向恢复电流由阳极电流 (I_r) 和阳极电流下降率 (di/dt) 决定。图19表示反向恢复电流(I_o)的峰值。

4) 开通时间

开通时间系指开通过程所需的时间, 由延迟时间和上升时间所组成。当有串、并联时, 各个可控硅元件之间开通时间的差别必须保持最小, 以便使各个可控硅元件能均匀地分担负荷。为此, 控制极的触发电流较大。在变流电路中, 一个可控硅桥臂的上升时间影响其它桥臂的 dv/dt 强度。

5) 关断时间

关断时间是指正向阻断能力恢复所需的时间。此时间决定了在外换流(电网电源换流)的变流器中超前的相位控制角。在自换流(整流电源换流)的变流器中则由换流元件的能力决定。变流器的最高工作频率由关断时间来限制。

当变流器工作时, 可控硅元件的动态负荷情况将在第四节中叙述。

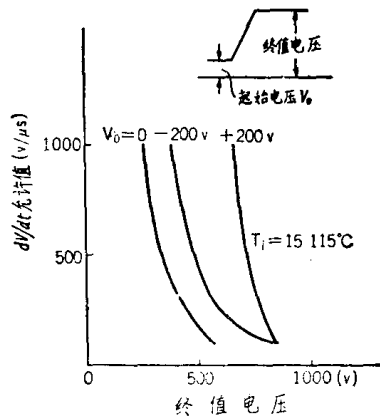


图16 典型的 dv/dt 能力

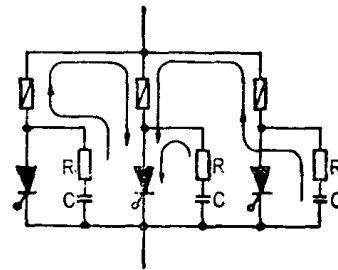


图17 $R-C$ 滤波器的连接图

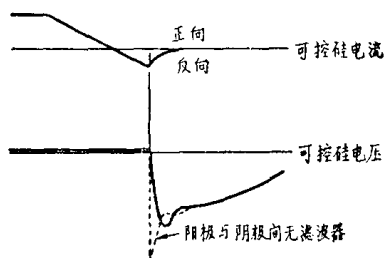


图18 关断时, 可控硅元件的电流和电压的瞬变波形

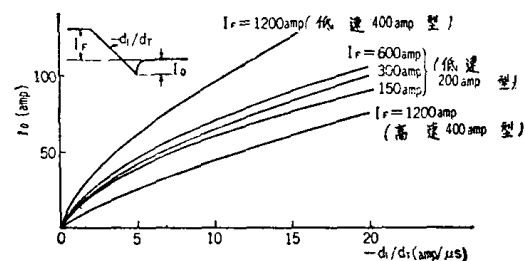


图19 典型的可控硅元件反向恢复电流

三、可控硅装置的结构

1. 风冷式可控硅单元

在变流装置中, 可控硅元件需与散热器、熔断器、 $R-C$ 滤波器以及控制极触发脉冲 变 送 电路一起配合使用。可控硅元件与这些附件预先进行机械与电气的安装。图20为其接线图。可控硅单元的外形则见图21和22。根据变流器容量, 将需用的可控硅单元, 插入装有冷却风扇的标准柜中。

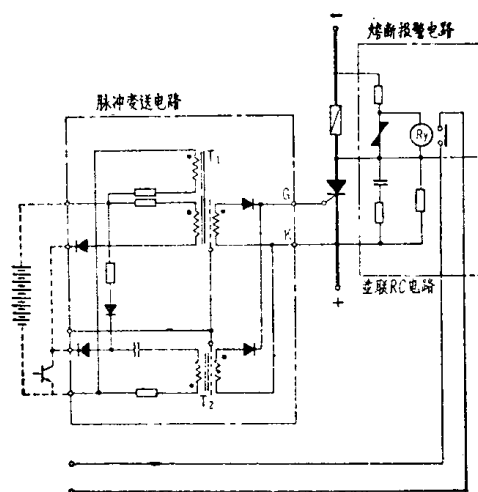


图20 可控硅单元接线图

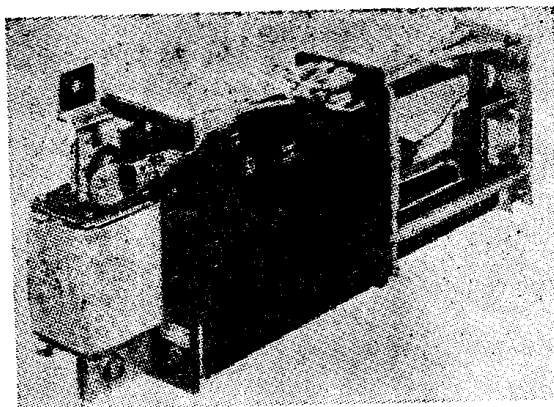


图21 (BAS-GN02型) 可控硅单元

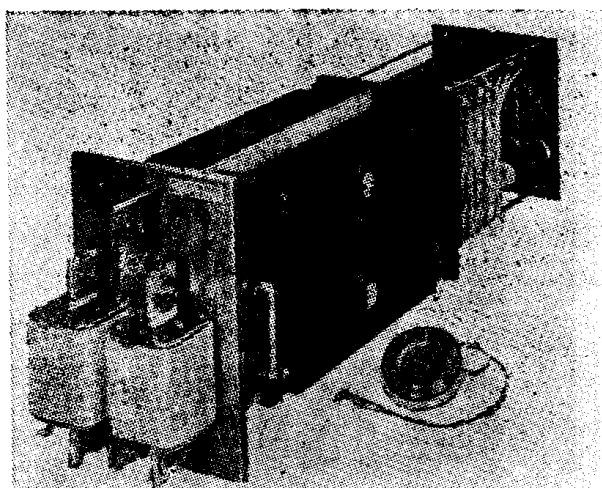


图22 可控硅单元与KGP02平板型可控硅

这样，不同定额的变流器就能标准化。表4为可控硅单元的规格。从图20可看出，控制极触发脉冲变流电路包括两个脉冲变压器 T_1 和 T_2 。 T_2 产生快速上升的尖脉冲， T_1 用来传送宽脉冲。 $R-C$ 滤波器用来吸收载流子贮存效应所引起的过电压。当熔断器熔断时，由继电器在外部给出一个报警信号。

2. 可控硅单元的标准柜

图23为由 GTN01 和 GTN02 螺栓型可控硅元件组装的标准柜。一个柜能安装36个单元。其尺寸为600毫米(宽)×800毫米(深)×2350毫米(高)。在柜的后部连接变流器的线路。冷却空气从下而上流通。图24为 KGP01 和 KGP02 平板型可控硅元件组装的标准柜。一个柜能安装18个单元。大容量的整流装置则用几个柜组合而成。

在特殊情况下，循环的冷却空气需经空气-水热交换装置冷却，如图25所示。当变流器容量较小时，可控硅单元与控制极控制设备及调节器等可装在一个柜中，如图26所示。

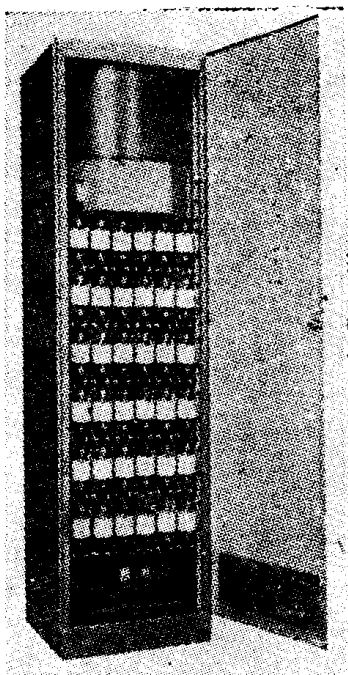


图23 螺栓型元件标准柜

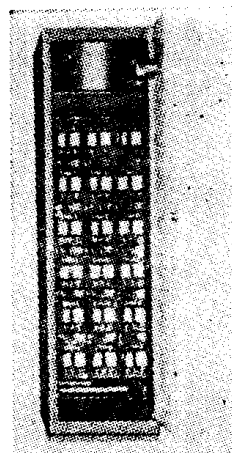


图24 平板型元件的标准柜

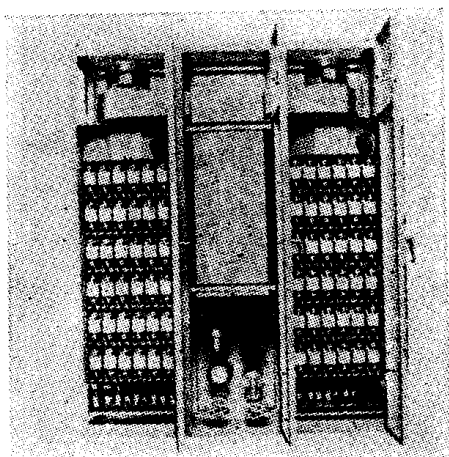


图25 密封防尘柜

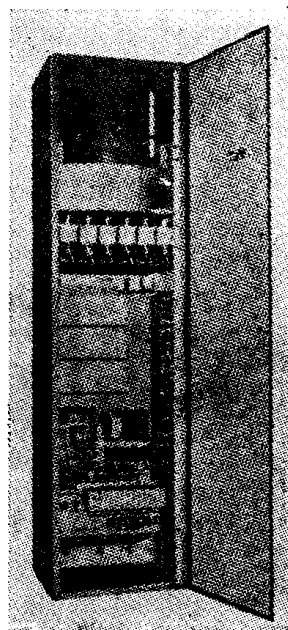


图26 安装在一个柜中的变流装置

3. 带液体冷却系统的可控硅装置的结构

液体冷却的冷却效应比空气冷却要好，但是它需要热交换装置及附属设备。通常冷却介质为水、变压器油等液体。当可控硅装置用水冷时则需采用一种冷却铜排，图27(a)所示的用于螺栓型元件，图27(b)所示的用于平板型元件。水冷可控硅整流装置的应用实例另在文献[1][2]中有详细介绍。油冷用冷却排由铝制成，其形状如图28。此型整流装置的构造也在文献[3]中另有介绍。当使用油冷时，可控硅元件能直接浸在油中，平板型可控硅元件在堆装式结构中可与散热器装成一体。如图29，将其插在有油循环的油桶中。图30为供铁道使用的油浸整流器单元的外形。理想的化学冷却剂，具有与水相同的传热系数，与油相同的绝缘强度，但其价格昂贵。而只借液体流动来实现热传导的普通方法是难以得到好的效果。所以用气化液体潜热来起热传导作用的方法是有效果的，其热传导系数能提高2~3倍。氟里昂气化冷却整流元件已在600伏，2000安可控硅整流装置上应用（见文献[4][5]）。

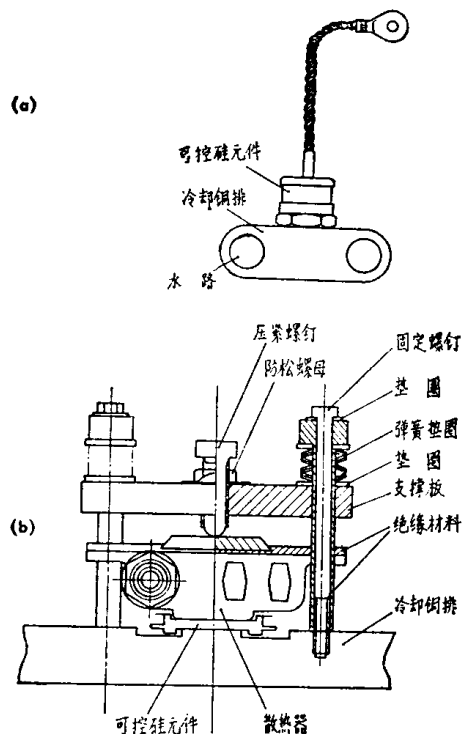


图27 水冷整流器的冷却单元

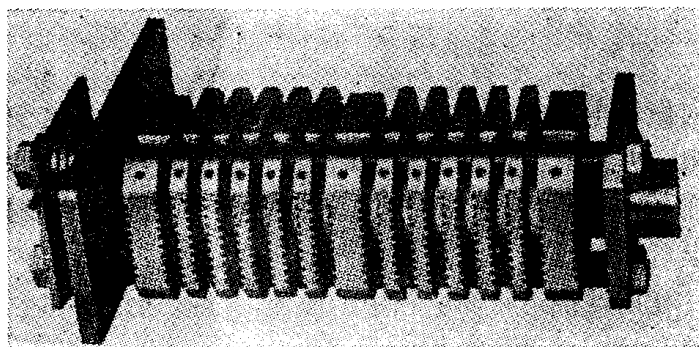


图29 油浸整流器堆的外形

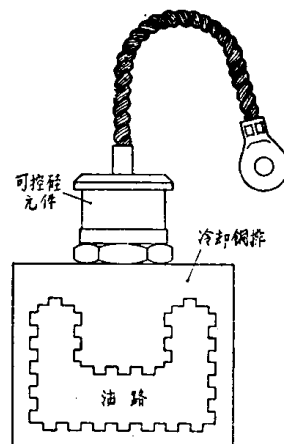


图28 油冷整流器的冷却单元



图30 油浸整流器单元的外形

采用哪一种冷却系统，应仔细考虑设备安装位置，容量和负载波动情况。

四、可控硅变流器的保护

与其他电气设备相比，普通半导体装置的工作电压十分接近于允许的极限电压，因其热容量小，过电流能力也小。对可控硅动特性 dv/dt 及 di/dt 来说，也有一个限制值。随着变流设备的电压和容量增加，在各个可控硅元件上的应力增加。本节叙述在外换流的变流器中出现的过电流、过电压、 dv/dt 强度和 di/dt 强度，并说明所采用的保护方法。

在大容量变流装置中，一般采用三相桥式接线。此种接法与其他变流器接法相比，使可控硅元件承受较大的动态负荷。此种接线产生下列现象。

1. 可控硅导通时出现的现象

图31表示三相桥式接线时一个桥臂的电压波形，其典型控制角为：滞后角 $\alpha = 90^\circ$ ，超前

角 $\gamma = 60^\circ$ 。如前所述，流入已触发可控硅的阳极电流包括换流电流和电容器的放电电流。当 $\alpha = 90^\circ$ 时，两种电流均为最大。为了阻止这个冲击电流，如图32所示，在每个桥臂中接入阳极电抗器，而电阻(R)与电容(C)相串联。

如图31所示，桥臂电压因其它桥臂的关断和导通而迅速改变，在正向阻断期内，加于可控硅的 dv/dt 过大时，会发生转折。当 $\gamma = 60^\circ$ 时， dv/dt 应力最严重，如图31所示， dv/dt 应力是从零初始电压就加到管子上。此时的 dv/dt 值由其他桥臂的可控硅上升时间来决定，但它能用变流器中桥臂电抗器，布线电感以及并联电容器等来抑制。

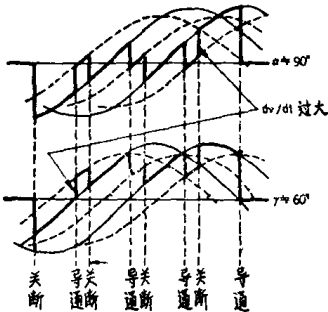


图31 三相桥式接线时关断的可控硅上的电压波形

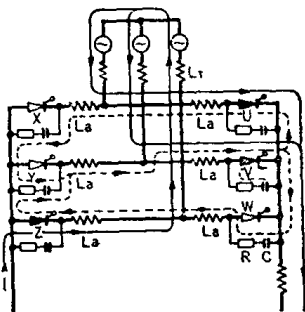


图32 可控硅导通时的电流途径

桥臂V—导通
实线—主负荷换流电流
虚线—流经R-C滤波器的电流(当La大时电流也流到电源)

2. 可控硅关断时出现的现象

可控硅元件刚一关断之后，紧接着反向恢复电流的消失就出现一个初始反向电压。这个初始电压必须不超过可控硅元件的允许极限，并使其他桥臂上处于阻断状态的可控硅元件的阳极电压迅速改变。最严重的情况是发生在 $\alpha = 90^\circ$ 时。图33表示在V桥臂上可控硅元件刚关断后，流过振荡电流的途径。在V桥臂上可控硅元件中流过的反向电流亦通过变压器的V和W相绕组。在可控硅元件刚反向恢复时，变压器绕组V和W相中的电流，继续通过图33中

表 4 可控硅单元和二极管单元的规格

型 号	可 控 硅 单 元					二 极 管 单 元		
	BAS- GN0108	BAS- GN0112	BAS- GN0216	BAK- GP0220	BAK- GP0225	BAS- SN0108	BAS- SN0112	BAS- SN0320
元 件	GTN0108	GTN-0112	GTN-0216	KGP0220	KGP0225	SIN0108	SIN0112	SIN0320
正向峰值电压、反向峰值电压	800伏	1200伏	1600伏	2000伏	2500伏	800伏	1200伏	2000伏
额定电流	200安(空气冷却6米/秒 $T_a=40^{\circ}\text{C}$) 90安(自冷 $T_a=40^{\circ}\text{C}$)			365安(空气冷却6米/秒 $T_a=40^{\circ}\text{C}$) 170安(自冷 $T_a=40^{\circ}\text{C}$)		200安(空气冷却6米/秒 $T_a=40^{\circ}\text{C}$) 90安(自冷 $T_a=40^{\circ}\text{C}$)		
熔 断 器	RF1233f- 350B	RF1244-3/350		RF1244-3/350 (两个并联)		RF1233f- 350B	RF1244-3/350	
散 热 器	AN01			KT01		AN01		
绝缘强度	主电路对地3.5千伏1分钟,触发电路对地1.5千伏1分钟							
允许温度	$-20^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ (工作期间)							

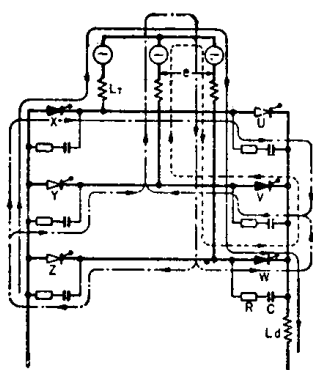


图33 V 桥臂断开时的电流途径

——负载电流
 V 相可控硅的反向电流
 -·-·-反向电流消失后的振荡电流

所示的途径振荡。此时，初始反向电压可按照工作电压，变压器的漏感以及 R 和 C 的数值来确定。

3. 过电压保护

图34为可控硅变流器的典型过电压保护系统。过电压包括从交流电源来的雷击浪涌，开关浪涌，及降压变压器静电感应浪涌。避雷器 A 抑制从交流电源来的浪涌电压。交流侧浪涌吸收器 F_1 吸收开关浪涌能量以及消除外部浪涌。为了防止从交流电源感应来的静电感应电压，在变压器绕组间放一块屏蔽板并在变压器整流绕组与地之间接一电容器。在直流断路器动作时，会有部分过电压加到变流器上，故在直流侧接入滤波器 F_2 。为了防止可控硅导通时，交流侧滤波器中电容器的放电电流冲入可控硅中，接一个二极管电桥即可，如图35所示。

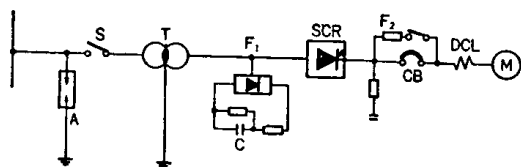


图34 可控硅变流器的过电压保护系统

A —避雷器
 F_1 —交流侧浪涌吸收器
 F_2 —直流侧滤波器
 CB —快速直流断路器
 DCL —直流电抗器

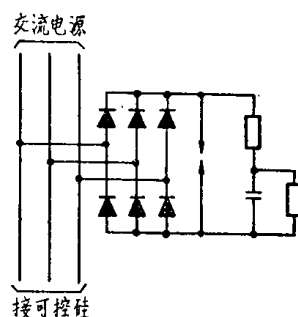


图35 带直流放电器的交流浪涌吸收器接线图

4. 过电流保护

在下列情况下变流器的可控硅元件中出现过电流：反向击穿，正向转折消失 (break-through missing)，穿通，直流侧短路，交流电源电压的减小和消失，负载冲击电流以及不规则的控制极触发。

这些过电流通常采用如下保护

(1) 由控制极来限制负载电流

此法的一个例子是由冲击电流的反馈控制来限制电流，冲击电流是在电动机起动或加速时引起。