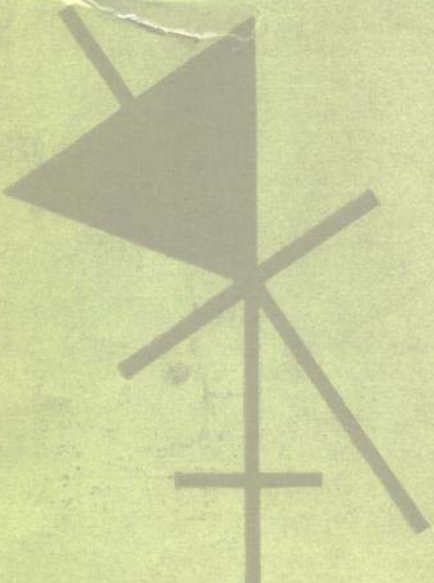




可关断可控硅 及其应用

王 编著 · 人民邮电出版社

可关断可控硅及其应用

张 立 编 著

人民邮电出版社

内 容 提 要

可关断可控硅是可控硅的一种派生器件，它可用门极正讯号触发导通，并可用门极负讯号关断，是一种比较理想的直流开关。

本书比较系统地介绍可关断可控硅的原理、结构、特性及其应用，在介绍这种新技术的同时，力求结合我国实际情况，以便于推广应用。

本书适合于从事电子设备电源工作的技术人员和工人阅读，也可供有关院校教学参考。

可关断可控硅及其应用

张 立 编著

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京市邮政局印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1982年6月第一版

印张：8 28/32页数：142 1982年6月北京第一次印刷

字数：200千字 印数：1——7,700册

统一书号：15045·总2577-有5244

定价：0.92元

前 言

普通可控硅加上门极正信号能使它导通，但门极负信号却不能使它关断。在直流电路中，要想关断可控硅必须设置比较复杂的控制电路，为此，增加了整机的体积、重量，而且提高了成本，降低了效率。

为了改进可控硅的这一缺点，人们又研制成功可用门极负信号关断阳极电流的可关断可控硅。可关断可控硅是可控硅的一种派生器件，它既具有可控硅耐压高、电流大和浪涌能力强的特性；又具有用门极正负信号分别控制阳极电流导通与关断的独特优点。就其控制方式来说，可关断可控硅与功率晶体管非常相似，所以，它是可控硅与晶体管之间的一种过渡器件，是一种比较理想的直流开关。在中小容量的逆变器、斩波器、变频器以及各种开关电路中，可关断可控硅将得到广泛应用。

由于国内外尚无专著比较系统地介绍可关断可控硅的原理、特性及其应用技术，因而使应用这种器件的技术人员和工人常常感到非常困难。为了弥补这种不足，特编写了这本书。

此书在写作过程中得到一机部西安整流器研究所、天津大学和其它单位有关同志的大力协助及热情支持。特别是，一机部西安整流器研究所主任工程师徐瑗同志，对本书的写作提过许多指导性的意见，初稿写成之后，她又进行了审稿工作；还承中国人民解放军有线电通信技术学校王鸿麟同志校阅。本书

的问世，完全是上述有关同志支持与帮助的结果，在此一并表示感谢！

由于水平所限，书中的缺点、错误在所难免，欢迎来自各方面的批评指正意见。

张 立

1981年2月于天津大学

目 录

第一章 绪论	1
1-1 可控硅与可关断可控硅	1
1-1-1 可控硅工作原理	1
1-1-2 可控硅分类	5
1-1-3 可关断可控硅	6
1-2 可控硅、晶体管和可关断可控硅比较	8
1-2-1 可控硅和可关断可控硅比较	8
1-2-2 可控硅和功率晶体管比较	10
1-2-3 可关断可控硅和功率晶体管比较	12
1-3 可关断可控硅发展概况	14
第二章 GTO的基本工作原理	21
2-1 导通原理	21
2-1-1 GTO 的等效结构	21
2-1-2 导通原理	24
2-2 关断原理	26
2-2-1 SCR的关断原理	26
2-2-2 GTO的关断原理	27
2-3 关断过程	29
2-3-1 二维关断过程	30
2-3-2 一维关断过程	32
2-4 关断特性	34
2-4-1 关断时门极特性	34
2-4-2 关断时阳极特性	38

2-5	关断时间	40
2-6	失效原理	43
第三章	参数与结构	47
3-1	关断增益与最大可关断阳极电流	47
3-1-1	P_2 基区横向电阻 R_b 对 I_{ATO}^{**} 的影响	48
3-1-2	α_1 和 α_2 对 I_{ATO}^* 的影响	49
3-1-3	重加 dv/dt 对 I_{ATO} 的影响	52
3-1-4	阳极电压对 I_{ATO} 的影响	55
3-1-5	结温对 I_{ATO} 的影响	56
3-1-6	频率对 I_{ATO} 的影响	57
3-2	其它参数	57
3-2-1	掣住电流 I_L	58
3-2-2	GTO的 dv/dt 与 di/dt	59
3-2-3	其它参数	61
3-3	功率损耗	68
3-3-1	导通期的平均功耗 P_F	69
3-3-2	阳极开通功耗 P_{on}	70
3-3-3	阳极关断功耗 P_{off}	71
3-3-4	GTO的总功耗	72
3-4	结构特点	73
3-4-1	最大可关断阳极电流 I_{ATO} 与器件结构的关系	73
3-4-2	GTO快速性能与器件结构的关系	78
第四章	门极控制技术	81
4-1	门极控制的一般问题	81
4-2	门极导通讯号的四度特性	85
4-3	门极关断讯号的四度特性	88
4-4	门极关断供电方式	95
4-4-1	恒压源供电方式	95

4-4-2	变压源供电方式	98
4-4-3	脉冲变压器供电方式	99
4-5	门极关断电量概念	100
4-5-1	门极关断电量概念	100
4-5-2	变压源供电电路中 E_G 和 C 值的估算法	103
4-6	门极驱动实用电路	105
4-6-1	恒压源供电门极驱动电路	106
4-6-2	变压源供电门极驱动电路	107
4-6-3	采用脉冲变压器的门极驱动电路	112
第五章	阳极控制技术	116
5-1	过流保护及限制 di/dt 的方法	116
5-1-1	过流保护基本原理	116
5-1-2	电子开关过电流保护实际电路	119
5-1-3	限制 di/dt 的方法	120
5-2	过压保护及限制 dv/dt 的方法	120
5-2-1	过压保护基本原理	120
5-2-2	限制 dv/dt 的方法	128
5-3	散热问题	133
5-3-1	散热的重要性	133
5-3-2	GTO 的散热过程	135
5-3-3	GTO 的冷却措施	137
第六章	功率步进电机驱动电源	139
6-1	概 述	139
6-1-1	功率步进电机	139
6-1-2	驱动电源特点	141
6-1-3	晶体管高低压驱动电源	142
6-2	GTO 驱动电源	145
6-2-1	GTO 高低压串联驱动电路	145
6-2-2	GTO 高低压并联驱动电路	153

6-3 串联驱动电路分析计算	157
6-3-1 概述	157
6-3-2 前沿计算	157
6-3-3 波顶计算	160
6-3-4 后沿计算	161
6-3-5 电容电压换向电路计算	164
6-4 控制电路设计	165
6-4-1 控制逻辑	165
6-4-2 控制电路	170
6-4-3 抗干扰措施	170
第七章 GTO直流斩波器	175
7-1 概述	175
7-2 GTO降压斩波电路	177
7-2-1 电路工作原理	177
7-2-2 无阻尼斩波器超调电压	180
7-2-3 缓冲器电阻的能量损耗	181
7-2-4 超调电压的限制	184
7-2-5 有阻尼斩波器电阻的能量损耗	187
7-3 GTO升压斩波器	191
7-4 GTO升压—降压斩波电路	194
第八章 GTO逆变器	198
8-1 逆变器概述	198
8-2 GTO并联逆变器	202
8-3 GTO桥式逆变器	206
8-4 GTO直流变换器	209
8-5 三相小型高速电机的变频电源	211
8-5-1 GTO三相逆变器原理	212
8-5-2 三相逆变器控制电路	214

8-6	三千赫电缆外护层火花检验机	215
8-7	GTO不停电电源装置	218
8-8	三相交流电机变频调速装置	221
第九章	静态开关与相位控制器	227
9-1	静态开关	227
9-1-1	静态交流断路器的结构	228
9-1-2	GTO交流断路器门极控制方法	232
9-1-3	GTO交流断路器实例	235
9-2	相位控制器	240
9-2-1	直流输出相控器	241
9-2-2	交流输出相控器	246
第十章	GTO在电视机及其它领域中的应用	248
10-1	电视机行扫描电路	248
10-1-1	GTO行扫描电路原理	249
10-1-2	对GTO参数的要求	253
10-1-3	GTO行扫描电路设计	257
10-2	汽油机点火电路	259
10-3	激发极化找水仪	264
10-4	交流斩波器	266
10-5	功率开关电路	268
主要参考文献		271

第一章 绪 论

1-1 可控硅与可关断可控硅

1-1-1 可控硅工作原理

为适应整流和逆变技术发展的需要,从五十年代开始,逐步发展了硅整流管、可控硅和大功率晶体管等器件。可控硅一出现,很快就在变流装置中得到广泛应用,后来,可控硅装置又逐渐代替了发电机组和水银整流器。

可控硅是在晶体管的基础上发展起来的。晶体管由三层P型和N型半导体材料构成,有两个PN结。若在NPN型晶体管上再加一层P型半导体,即构成有三个PN结的PNPN四层结构。这就是可控硅的基本结构,如图1-1所示。由图可知,PNPN四

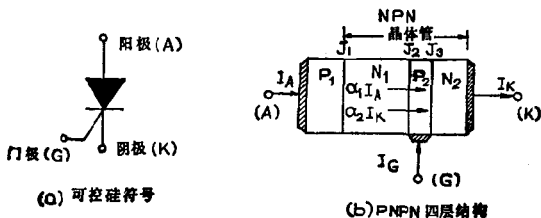


图 1-1 可控硅的符号及PNPN四层结构

层结构可以等效为两个晶体管 $P_1N_1P_2$ 和 $N_1P_2N_2$ 的组合。P型半导体为带正电荷的空穴半导体, N型半导体为带负电荷的电

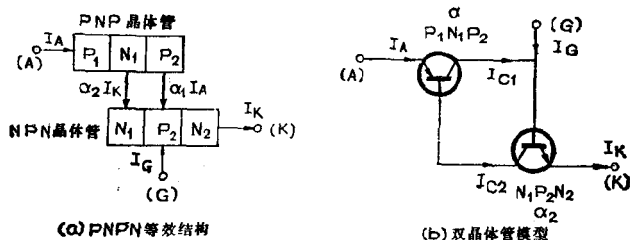


图 1-2 PNPN等效结构及双晶体管模型

子半导体。从图1-2可知，对于 $P_1N_1P_2$ 晶体管来说，由可控硅的阳极（即晶体管的发射极 P_1 区）发射空穴，形成流向可控硅阴极的电流 I_{C1} ，其值为：

$$I_{C1} = \alpha_1 I_A \quad (1-1)$$

式中：

α_1 为 $P_1N_1P_2$ 晶体管共基极电流放大系数。

I_A 为可控硅阳极电流。

对于 $N_1P_2N_2$ 晶体管来说，由可控硅阴极 N_2 区向阳极方向发射电子形成流向可控硅阴极的电流 I_{C2} ，其值为：

$$I_{C2} = \alpha_2 I_K \quad (1-2)$$

式中：

α_2 为 $N_1P_2N_2$ 晶体管共基极电流放大系数，

I_K 为可控硅阴极电流。

可控硅的总电流是 I_{C1} 与 I_{C2} 之和。两个晶体管的公共集电极是可控硅的中心结 J_2 。每个晶体管的集电极电流为另一晶体管的基极电流，因而构成正反馈回路。回路总增益为：

$$G = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (1-3)$$

当 $\alpha_1 + \alpha_2 > 1$ 时, 回路产生正反馈作用, 两个晶体管均处于饱和和导通状态, 因而可控硅导通。当 $\alpha_1 + \alpha_2 < 1$, 正反馈作用停止, 两个晶体管均截止, 因而可控硅关断。由此可知, 可控硅是一种具有导通和关断两个稳定状态的开关器件, 两种状态转换的关键是 α_1 和 α_2 的变化。

图1-3为NPN晶体管共基极电路。该电路中

$$\alpha = \frac{I_c}{I_e} \quad (1-4)$$

因为集电极电流 I_c 总小于发射极电流 I_e , 所以 α 总是小于 1。 α 随发射极电流 I_e 增加而增大, 如图1-4所示。在电流密度较小时, PNP 晶体管的共基极电流放大系数与 I_e 的关系和 NPN 管趋势相同。

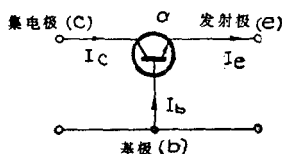


图 1-3 NPN晶体管共基极电路

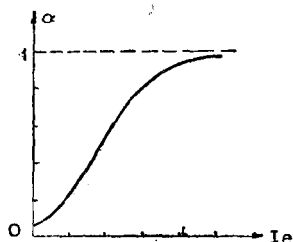


图 1-4 晶体管发射极电流与 α 的关系

控制可控硅导通和关断的实质就是改变 α_1 和 α_2 的数值。为使可控硅导通, 可在门极 (即控制极) 和阴极之间加入正脉冲讯号, 使可控硅阴极电流 (即晶体管 $N_1P_2N_2$ 发射极电流) 增加, 因而 α_2 增大。由于回路具有正反馈作用, 晶体管 $P_1N_1P_2$ 的发射极电流增加, 因而 α_1 也增大。 α_1 增大又促使 α_2 增大。当 $\alpha_1 + \alpha_2 > 1$ 时, 两个晶体管均处于饱和状态。此时可控硅触发导通, 阳极电流只受外电路限制。

可控硅一旦导通, 门极就失去控制作用。由此可知, 门极

加正脉冲能使可控硅导通，但门极加负脉冲却不能使可控硅关断。

关断可控硅的常用方法有两种。如图1-5所示。图(a)为电流过零关断，图(b)为电流反向关断。电流过零关断常用于交流电路中。当阳极电流下降至维持电流(I_H)以下时，可

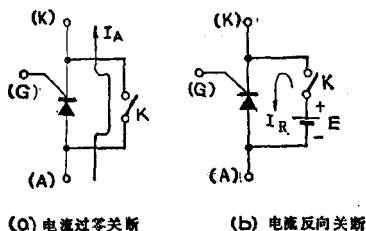


图 1-5 可控硅的关断方法

控硅等效正反馈回路增益 $\alpha_1 + \alpha_2 < 1$ ，正反馈作用停止，阳极电流关断。图1-5(a)中，合上开关 K ，把正向导通的可控硅加以旁路，使流经可控硅的电流变为零，可控硅也随之关断。

在直流电路中，必须改变阳极电压极性，使阳极电流反向，可控硅才能关断。图1-5(b)中，合上开关 K ，阴极和阳极之间加一反向电压 E 。由于可控硅阳极电压反向，逼使阳极电流关断。

总之，由于可控硅是PNPN四层结构，在任一方向上都至少有一个反向偏置的PN结。所以在正反两个方向都具有阻断能力。可控硅可用双晶体管模型组成等效正反馈回路。当 $\alpha_1 + \alpha_2 > 1$ 时，可控硅导通；当 $\alpha_1 + \alpha_2 < 1$ 时，可控硅关断。可控硅是一种大功率开关器件，它能够承受很大的电流和很高的电压。

1-1-2 可控硅分类

自1957年发明可控硅之后，在PNPN四层结构的基础上，又不断派生出许多开关器件。目前，各种新型电力半导体器件已发展到三十余种。常见的有：双向可控硅、可关断可控硅、高频可控硅、逆导可控硅、快速可控硅、门极辅助关断可控硅、光控可控硅、温控可控硅、场控可控硅等。此外还有硅可控开关、肖克莱二极管等。上述器件中，有单向的，也有双向的；有两个极的（阳极和阴极），三个极的（阳极、阴极和门极），也有四个极的（阳极、阴极和两个门极）。尽管各种可控硅派生器件的结构和用途不完全相同，但它们都是PNPN四层结构，都具有正反馈作用。因而，它们以普通可控硅为主体



图 1-6 可控硅及其派生器件

形成一个大家族。如图1-6所示。

由于可控硅及其派生器件都具有体积小、重量轻、效率高、寿命长、维护简单、使用方便、售价便宜等优点，所以近期都有很大发展。应用范围已渗透到电气应用的各个领域。比如交直流传动、静止变频、直流输电以及其它电力变换系统。因此，七十年代逐步形成了一门新的学科——电力电子学。目前，尽管功率晶体管已有很大发展，但可控硅及其派生器件在电力电子学中仍占有统治地位。

应该指出，可控硅及其派生器件的总称叫晶闸管（THYRISTOR）。可控硅是其中发明最早、发展最快、使用最广的一种逆阻器件。所以，可控硅也叫逆阻晶闸管。其它可控硅派生器件也应称为晶闸管。如可关断可控硅应称为可关断晶闸管。但是，为适应习惯说法，本书仍用可控硅（SCR）这个名称。

1-1-3 可关断可控硅

如前所述，只能用门极（又称控制极）正讯号使普通可控硅导通，而不能用门极讯号使其关断。只有设置专门的换流电路，改变阳极电压极性才能关断普通可控硅。这样，可控硅装置的体积和重量增加、效率降低、而且换流回路还将产生较强的电噪音。

长期以来，人们希望既可用门极正讯号控制可控硅导通，又可用门极负讯号控制其关断。根据这一设想，终于研制成功了门极可关断可控硅，简称可关断可控硅。

可关断可控硅是一种比较先进的可控硅派生器件，近年来有很大发展。国外所用名称有：

门极关断晶闸管（GTO）GATE TURN-OFF THYRISTOR，

门极控制晶闸管 (GCT) GATE CONTROLLED THYRISTOR,

门极控制开关 (GCS) GATE CONTROLLED SWITCH,

门极关断开关 (GTS) GATE TURN-OFF SWITCH,

门极关断可控硅 (GTO) GATE TURN-OFF SILLI-
CON CONTROLLED RECTIFIER.

常用名称为GTO, 符号如图1-7所示。常用符号如图1-7
(a) 所示。

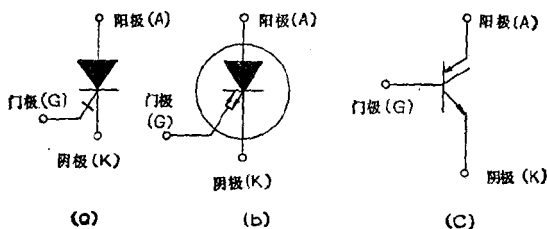


图 1-7 可关断可控硅的符号

可关断可控硅具有可控硅的全部特点。如耐压高、电流大、承受浪涌能力强、造价便宜等。同时,它又有自己独特的优点,即用门极讯号既可控制其导通,又可控制其关断。图1-8

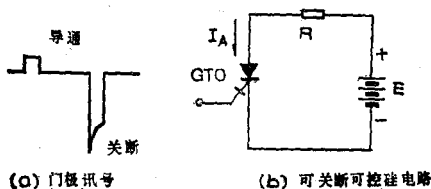


图 1-8 可关断可控硅的导通与关断