

双向可控硅的设计及应用分析

作者：徐长军 王峰 青岛鼎新电子科技有限公司，苏艳岩 张西华 海尔数字化家电国家重点实验室

中心议题：

- 双向可控硅特点
- 双向可控硅应用
- 双向可控硅的安装

解决方案：

- 双向可控硅门极加正、负触发脉冲都能使管子触发导通，有四种触发方式
- 应用：需定量掌握其主要参数，对其进行适当选用并采取相应措施以达到各参数的要求
- 双向可控硅安装方法有夹子压接和螺栓固定两种

引言

1958年，从美国通用电气公司研制成功第一个工业用可控硅开始，电能的变换和控制从旋转的变流机组、静止的离子变流器进入以电力半导体器件组成的变流器时代。可控硅分单向可控硅与双向可控硅。单向可控硅一般用于彩电的过流、过压保护电路。双向可控硅一般用于交流调节电路，如调光台灯及全自动洗衣机中的交流电源控制。

双向可控硅是在普通可控硅的基础上发展而成的，它不仅能代替两只反极性并联的可控硅，而且仅需一个触发电路，是目前比较理想的交流开关器件，一直为家电行业中主要的功率控制器件。近几年，随着半导体技术的发展，大功率双向可控硅不断涌现，并广泛应用在变流、变频领域，可控硅应用技术日益成熟。本文主要探讨广泛应用于家电行业的双向可控硅的设计及应用。

双向可控硅特点

双向可控硅可被认为是一对反并联连接的普通可控硅的集成,工作原理与普通单向可控硅相同。图 1 为双向可控硅的基本结构及其等效电路,它有两个主电极 **T1** 和 **T2**,一个门极 **G**,门极使器件在主电极的正反两个方向均可触发导通,所以双向可控硅在第 1 和第 3 象限有对称的伏安特性。双向可控硅门极加正、负触发脉冲都能使管子触发导通,因此有四种触发方式。

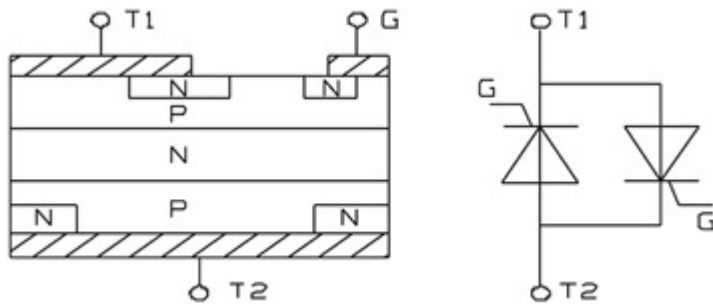


图 1 双向可控硅结构及等效电路

双向可控硅应用

为正常使用双向可控硅,需定量掌握其主要参数,对双向可控硅进行适当选用并采取相应措施以达到各参数的要求。

耐压级别的选择: 通常把 **VDRM** (断态重复峰值电压) 和 **VRRM** (反向重复峰值电压) 中较小的值标作该器件的额定电压。选用时,额定电压应为正常工作峰值电压的 2~3 倍,作为允许的操作过电压裕量。

电流的确定: 由于双向可控硅通常用在交流电路中,因此不用平均值而用有效值来表示它的额定电流值。由于可控硅的过载能力比一般电磁器件小,因而一般家电中选用可控硅的电流值为实际工作电流值的 2~3 倍。同时,可控硅承受断态重复峰值电压 **VDRM** 和反向重复峰值电压 **VRRM** 时的峰值电流应小于器件规定的 **IDRM** 和 **IRRM**。

通态(峰值)电压 V_{TM} 的选择: 它是可控硅通以规定倍数额定电流时的瞬态峰值压降。为减少可控硅的热损耗,应尽可能选择 V_{TM} 小的可控硅。

维持电流: I_H 是维持可控硅维持通态所必需的最小主电流,它与结温有关,结温越高,则 I_H 越小。

电压上升率的抵制： dv/dt 指的是在关断状态下电压的上升斜率，这是防止误触发的一个关键参数。此值超限将可能导致可控硅出现误导通的现象。由于可控硅的制造工艺决定了 A2 与 G 之间会存在寄生电容，如图 2 所示。我们知道 dv/dt 的变化在电容的两端会出现等效电流，这个电流就会成为 I_g ，也就是出现了触发电流，导致误触发。

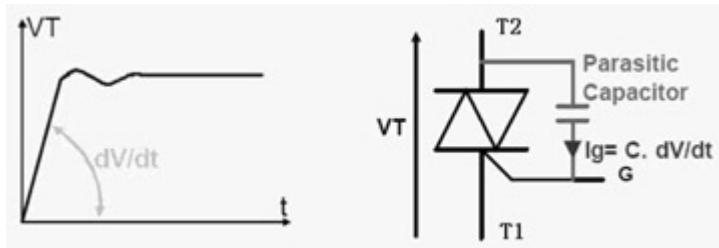


图 2 双向可控硅等效示意图

切换电压上升率 dV_{COM}/dt 。驱动高电抗性的负载时，负载电压和电流的波形间通常发生实质性的相位移。当负载电流过零时双向可控硅发生切换，由于相位差电压并不为零。这时双向可控硅须立即阻断该电压。产生的切换电压上升率（ dV_{COM}/dt ）若超过允许值，会迫使双向可控硅回复导通状态，因为载流子没有充分的时间自结上撤出，如图 3 所示。



图 3 切换时的电流及电压变化

高 dV_{COM}/dt 承受能力受二个条件影响：

dI_{COM}/dt —切换时负载电流下降率。 dI_{COM}/dt 高, 则 dV_{COM}/dt 承受能力下降。

结面温度 T_j 越高, dV_{COM}/dt 承受能力越下降。假如双向可控硅的 dV_{COM}/dt 的允许值有可能被超过, 为避免发生假触发, 可在 T_1 和 T_2 间装置 RC 缓冲电路, 以此限制电压上升率。通常选用 $47\sim 100\Omega$ 的能承受浪涌电流的碳膜电阻, $0.01\mu F\sim 0.47\mu F$ 的电容, 晶闸管关断过程中主电流过零反向后迅速由反向峰值恢复至零电流, 此过程可在元件两端产生达正常工作峰值电压 5-6 倍的尖峰电压。一般建议在尽可能靠近元件本身的地方接上阻容吸收回路。

断开状态下电压变化率 dvD/dt 。若截止的双向可控硅上(或门极灵敏的闸流管)作用很高的电压变化率, 尽管不超过 V_{DRM} , 电容性内部电流能产生足够大的门极电流, 并触发器件导通。门极灵敏度随温度而升高。假如发生这样的问题, T_1 和 T_2 间(或阳极和阴极间)应该加上 RC 缓冲电路, 以限制 dvD/dt 。

电流上升率的抑制: 电流上升率的影响主要表现在以下两个方面:

① dI_T/dt (导通时的电流上升率)——当双向可控硅或闸流管在门极电流触发下导通, 门极临近处立即导通, 然后迅速扩展至整个有效面积。这迟后的时间有一个极限, 即负载电流上升率的许可值。过高的 dI_T/dt 可能导致局部烧毁, 并使 T_1 - T_2 短路。假如过程中限制 dI_T/dt 到一较低的值, 双向可控硅可能可以幸存。因此, 假如双向可控硅的 V_{DRM} 在严重的、异常电源瞬间过程中有可能被超出或导通时的 dI_T/dt 有可能被超出, 可在负载上串联一个几 μH 的不饱和(空心)电感。

② dI_{COM}/dt (切换电流变化率)——导致高 dI_{COM}/dt 值的因素是: 高负载电流、高电网频率(假设正弦波电流)或者非正弦波负载电流, 它们引起的切换电流变化率超出最大的允许值, 使双向可控硅甚至不能支持 50Hz 波形由零上升时不大的 dV/dt , 加入一几 mH 的电感和负载串联, 可以限制 dI_{COM}/dt 。

为了解决高 dv/dt 及 di/dt 引起的问题, 还可以使用 Hi-Com 双向可控硅, 它和传统的双向可控硅的内部结构有差别。差别之一是内部的二个“闸流管”分隔得更好, 减少了互相的影响。这带来下列好处:

① 高 dV_{COM}/dt 。能控制电抗性负载, 在很多场合下不需要缓冲电路, 保证无故障切换。这降低了元器件数量、底板尺寸和成本, 还免去了缓冲电路的功率耗散。

② 高 dI_{COM}/dt 。切换高频电流或非正弦波电流的性能大为改善, 而不需要在负载上串联电感, 以限制 dI_{COM}/dt 。

③ 高 dvD/dt (断开状态下电压变化率)。双向可控硅在高温下更为灵敏。高温下, 处于截止状态时, 容易因高 dv/dt 下的假触发而导通。Hi-Com 双向可控硅减少了这种倾向。从而可以用在高温电器, 控制电阻性负载, 例如厨房和取暖电器, 而传统的双向可控硅则不能用。

门极参数的选用:

门极触发电流—为了使可控硅可靠触发,触发电流 I_{gt} 选择 25 度时 $\max$ 值的 α 倍, α 为门极触发电流—结温特性系数,查数据手册可得,取特性曲线中最低工作温度时的系数。若对器件工作环境温度无特殊需要,通常 α 取大于 1.5 倍即可。

门极压降—可以选择 V_{gt} 25 度时 $\max$ 值的 β 倍。 β 为门极触发电压—结温特性系数,查数据手册可得,取特性曲线中最低工作温度时的系数。若对器件工作环境温度无特殊需要,通常 β 取 1~1.2 倍即可。

触发电阻— $R_g = (V_{cc} - V_{gt}) / I_{gt}$

触发脉冲宽度—为了导通闸流管(或双向可控硅),除了要门极电流 $\geq I_{GT}$,还要使负载电流达到 $\geq I_L$ (擎住电流),并按可能遇到的最低温度考虑。因此,可取 25 度下可靠触发可控硅的脉冲宽度 T_{gw} 的 2 倍以上。

在电子噪声充斥的环境中,若干扰电压超过触发电压 V_{GT} ,并有足够的门极电流,就会发生假触发,导致双向可控硅切换。第一条防线是降低临近空间的杂波。门极接线越短越好,并确保门极驱动电路的共用返回线直接连接到 T_1 管脚(对闸流管是阴极)。若门极接线是硬线,可采用螺旋双线,或干脆用屏蔽线,这些必要的措施都是为了降低杂波的吸收。为增加对电子噪声的抵抗力,可在门极和 T_1 之间串入 $1k\Omega$ 或更小的电阻,以此降低门极的灵敏度。假如已采用高频旁路电容,建议在该电容和门极间加入电阻,以降低通过门极的电容电流的峰值,减少双向可控硅门极区域为过电流烧毁的可能。

结温 T_j 的控制:为了长期可靠工作,应保证 $R_{th j-a}$ 足够低,维持 T_j 不高于 $80\%T_{jmax}$,其值相应于可能的最高环境温度。

双向可控硅的安装

对负载小,或电流持续时间短(小于 1 秒钟)的双向可控硅,可在自由空间工作。但大部分情况下,需要安装在散热器或散热的支架上,为了减小热阻,可控硅与散热器间要涂上导热硅脂。

双向可控硅固定到散热器的主要方法有三种,夹子压接、螺栓固定和铆接。前二种方法的安装工具很容易取得。很多场合下,铆接不是一种推荐的方法,本文不做介绍。

夹子压接

这是推荐的方法,热阻最小。夹子对器件的塑封施加压力。这同样适用于非绝缘封装(SOT82 和 SOT78)和绝缘封装(SOT186 F-pack 和更新的 SOT186A X-pack)。注意, SOT78 就是 TO220AB。

螺栓固定

SOT78 组件带有 M3 成套安装零件，包括矩形垫圈，垫圈放在螺栓头和接头片之间。应该不对器件的塑料体施加任何力量。

安装过程中，螺丝刀决不能对器件塑料体施加任何力量。

和接头片接触的散热器表面应处理，保证平坦，10mm 上允许偏差 0.02mm。

安装力矩（带垫圈）应在 0.55Nm 和 0.8Nm 之间。

应避免使用自攻丝螺钉，因为挤压可能导致安装孔周围的隆起，影响器件和散热器之间的热接触。安装力矩无法控制，也是这种安装方法的缺点。

器件应首先机械固定，然后焊接引线。这可减少引线的不适当应力。

结语

在可控硅设计中，选用合适的参数以及与之相对应的软硬件设计，用可控硅构成的变流装置具有节约能源、成本低廉等特点，目前在工业中得到飞速的发展。

参考文献：

- [1] 傅永涛. 可控硅控制电路的设计保护[J]. 中国高新技术企业: 46-56
- [2] 陈振春. 双向可控硅在电动机控制电路中的应用[J]. 南昌工程学院学报, 2005,24 (2): 73-76
- [3] 芮长颖. 可控硅触发电路的设计[J]. 巢湖学院学报, 2007,9 (3): 79-82
- [4] 黄俊, 王兆安编. 电力电子变流技术 (第 3 版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005
- [5] 瑞萨科技公司. 硅可控开关元件与三端双向可控硅开关元件 (Rev.1) . 2004
- [6] Nick Ham. 闸流管和双向可控硅-成功应用的十条黄金规则. 2002