

# 实用晶闸管电路大全

(SCR, MOSFET, GTR, IGBT 应用指南)

刘定建 朱丹霞 编著



同济大学出版社

TN 34  
L64

385677

# 实用晶闸管电路大全

(SCR, MOSFET, GTR, IGBT 应用指南)

刘定建 朱丹霞 编著

TN34  
L64

同济大学出版社

## 内容提要

本书集晶闸管电路之大成，不但提供了大量的实用电路，而且更重要的是书中内容几乎涉及到晶闸管应用的各个方面，包括诸如调压、调功、调速、开关、逆变、斩波、自动控制等各个领域具有代表性和实用价值的电路。同时，对 SCR、特别是对领导电力电子技术新潮流的 IGBT 的应用基础作了系统的介绍。本书适用于技术工人和初、中级技术人员，对高级技术人员，也有一定的参考价值。

DV16/24

责任编辑 王建中

封面设计 李志云

## 实用晶闸管电路大全

(SCR, MOSFET, GTR, IGBT 应用指南)

刘定建 朱丹霞 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

望亭电厂印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 30.25 字数: 770 千字

1996 年 2 月第 1 版 1996 年 2 月第 1 次印刷

印数: 1-5000 定价: 40.00 元

ISBN 7-5608-1576-6 / TN·1

## 序

《实用晶闸管电路大全》是刘定建高级工程师继《可控硅实用电路集》之后又一本实用性较强、电路范围很广、且增添了 GTR, IGBT 以及功率 MOSFET 等新型器件内容的一本好书。《可控硅实用电路集》一书, 由于其实用性强, 通俗易懂, 曾获得我国电力电子技术界, 特别是初、中级工程技术人员和技术工人们的欢迎, 一度成为畅销书之一。这次出版的《实用晶闸管电路大全》在原书的基础上, 使晶闸管在调压、调功、调速、开关、逆变、斩波、自动控制等等方面的应用更全面, 特别是新增补的“商品化的电机控制电路”一章, 由于其电路大多选自全国联合设计的电路和一些生产厂的产品电路, 所以更具有通用性、广泛性和先进性。更为可喜的是, 作者为适应我国电力电子技术发展趋势和读者要求, 除增添了新型电力半导体器件 GTR, IGBT 和功率 MOSFET 的工作原理、特性曲线及其应用内容外, 还把晶闸管的参数定义、测试方法和其特性曲线以及散热器的选用、配择等亦列入《大全》之内, 这对推动我国电力电子技术的更广泛应用将具有重要意义。

众所周知, 要使电能的生产, 输送和利用达到最佳状态, 必须对电能的五项参数(电压、电流、频率、相位和相数)进行调节、变换和控制。而电力电子技术正是利用电力半导体器件把电能的各项参数, 根据用户需要进行变换的技术。由于采用了这种技术, 提高了劳动生产率、产品质量和产品性能, 为大幅度节约电能、降低原材料消耗提供重要手段, 亦为机电一体化开辟了新途径。根据我国有关专家预测, 若能在风机、水泵、电焊机、轧机以及铁道机车等机电设备内进一步采用先进的电力电子技术, 每年可为国家节约电能近 200 亿度, 由此可见电力电子技术在国民经济中的重要作用。

回顾我国电力电子技术发展过程, 基本可分为两个阶段, 60 年代初到 80 年代中是第一阶段, 即“半控型器件”阶段, 其主要器件是晶闸管、快速晶闸管、光控晶闸管、双向晶闸管、逆导晶闸管、非对称晶闸管以及各种电力整流管等, 由于上述器件只能用正门极脉冲进行触发, 但不能用负门极脉冲关断, 所以需要有一个繁琐、复杂的辅助关断电路来关断器件, 又加工作频率低, 使由这种器件制成的变流装置的体积大, 结构复杂。但这些器件制造工艺简单, 应用电路简单、成熟, 又加过载能力强、电压高、电流大, 所以得到迅速发展, 目前已广泛用于直流电机调速、高压直流输电、交流风机和水泵的变压调速以及调光、调温、电解、电镀等领域。而且传统的相控变流器、周波变流器、电流源型逆变器、电压源型逆变器以及直流/直流斩波器拓扑结构电路已基本定型和标准化, 使用者只需根据需要选用, 而不必再进行开发。目前我国晶闸管已达  $2500\text{A}/6000\text{V}$   $\phi 100\text{mm}$ , 光控晶闸管  $1500\text{A}/4500\text{V}$   $\phi 77\text{mm}$ ; 快速晶闸管  $1500\text{A}/2200\text{V}$   $\phi 77\text{mm}$ , 双向晶闸管  $800\text{A}/1600\text{V}$   $\phi 63.5\text{mm}$  的水平。而相应的变流装置的单机容量  $1600\text{V}$ , 直流相控装置达  $6000\text{kW}$ ,  $1450\text{V}$ ; 中频电源  $3000\text{kW}$   $1\text{kHz}$ , 交-交变频装置  $5000\text{kW}$ ; 串级调速装置  $2500\text{kW}$ , 直流电解电源  $160\text{kA}$ ,  $920\text{V}$  以及静止无功补偿装置达  $42.5\text{MVar}$  等, 质量和产量都基本能满足国民经济的需求。第二阶段从 80 年代中期至今, 称作“全控型器件”阶段, 即器件既能用正门极信号导通, 又可用负门极信号使其关断, 主要器件是 GTO, GTR 和功率 MOSFET, 由于这类器件能用负门极脉冲关断, 又加频率要比晶闸管类器件高, 所以由这些器件制成的变流装置就使积小, 重量轻, 电路结构简单, 目前我

国 GTO 的水平已达 2 500A / 4 500V, GTR 模块 400A / 1 200V, 功率 MOSFET 35A / 1 000V 而相应装置水平为 GTD 斩波器 630kVA, GTR UPS 电源 150kVA GTR PNM 变频器 200kVA, 功率 MOSFET 变频器 5kVA。最近两年我国亦开始研究和开发 SITH, IGBT, MCT 以及 PIC 等新型高频 MOS 器件, 我国电力电子技术已进入高频范畴。而我国广大科技工作者目前正在为改善和提高 IGBT, MCT, 功率 MOSFET, GTO 以及 SITH 等器件的容量和动态特性以及研究这些器件相应的驱动、保护和吸收电路, 开发这些新型器件的应用电路, 为发展我国电力电子技术勤奋工作。

我非常高兴地看到这本内容丰富、具有广泛应用价值的《大全》即将与读者见面, 相信它将在发展我国电力电子事业中起到推动作用。

1995.8.1 吴济钧

## 作者的话

我们原来写的《可控硅应用线路 123 例》(上海科技出版社 1985 年出版)和《实用可控硅电路集》(同济大学出版社 1992 年出版),承蒙读者厚爱,传布迅速。特别是后者,先后两次印刷均很快售罄。广有人士催促再印,我们却认为不甚妥当。原因是那本书虽是 1992 年出版,实际上那份稿子早在 1986 年就定稿了,1995 年原封不动地印刷 10 年前的东西,即使原来的内容不过时,起码日新月异的新内容不能包括进去。于是出版社根据有关出版规定,约我们既保留并完善原书内容,又增加三分之一以上新东西,这样作为一本新书出版。我们虽然除水平和资料来源外,尚受限于时间和精力,但受到社会如此鼓舞,即当作自身使命,写了这本“全”而难全的书。

在工业发达国家里,电力电子技术在国民经济和人们日常生活中起着非常重要的作用。在这方面,我国与国外先进水平相比,差距很大。正因为如此,我们还有大量的、艰苦卓绝的工作要做。第二代电力电子器件的应用我们还刚刚在起步走,就是以普通晶闸管为代表的第一代器件的应用,我们还要进一步开拓,这当中还有巨大的潜力需要挖掘。因此,可以预言,在我国,电力电子技术的应用将会越来越广泛,使用晶闸管的人将会越来越多。不论电机、电器、电力、电气自动化,还是无线电、通讯、仪器仪表、家用电器、微机接口;也不论是工程技术人员、大中专学校师生,还是技术工人,凡是和“电”打交道的人都可以用到晶闸管。如果本书能在进一步开拓电力电子技术应用方面起点抛砖引玉的作用,我们将感到莫大的欣慰!

本书第一章第五节,第二章第一、二节、第五章第三节以及第六章 GTR, MOSFET, IGBT 的原理部分由苗宏高级工程师编写,其余由刘定建、朱丹霞高级工程师编写,全书由刘定建统稿、定稿。本书在编写的过程中,西安电力电子技术研究所等单位提供不少的方便和帮助,尤其是刘定建所在的单位上海海燕电力电子控制设备厂,在晶闸管制造技术不断求精的同时,一向十分注重应用技术的研究与推广,以企业自身基础为作者提供了长期舞台,在此深表感谢!此外,中国电工技术学会电力电子学会理事长、国家电力电子产品质量监督检验中心主任、西安电力电子技术研究所总工程师、教授级高级工程师吴济钧在百忙中为拙作作序,在此表示衷心感谢!

对于本书存在的谬误与不足,敬请行业内外的专家指正,同样,希望广大读者提出宝贵意见!

作者 1995 年仲夏

# 目 录

序

作者的话

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 第一章 普通晶闸管 .....          | (1)  |
| 一、概述 .....               | (1)  |
| 二、工作原理及伏安特性 .....        | (2)  |
| 三、主要特性参数 .....           | (3)  |
| 四、常用参数的测试 .....          | (7)  |
| 五、特性曲线 .....             | (13) |
| 第二章 其他晶闸管 .....          | (20) |
| 一、快速晶闸管 .....            | (20) |
| 二、双向晶闸管 .....            | (23) |
| 三、可关断晶闸管 .....           | (28) |
| 四、逆导晶闸管 .....            | (35) |
| 五、光控晶闸管 .....            | (36) |
| 第三章 触发器件 .....           | (41) |
| 一、单结晶体管 .....            | (41) |
| 二、双向触发二极管 .....          | (44) |
| 三、硅单向开关 .....            | (45) |
| 四、硅双向开关 .....            | (47) |
| 五、程控单结晶体管 .....          | (48) |
| 六、集成块过零触发电路 .....        | (50) |
| 七、集成块移相触发电路 .....        | (52) |
| 第四章 可控整流电路的计算 .....      | (55) |
| 一、单向半波可控整流电路 .....       | (55) |
| 二、单向桥式半控整流电路 .....       | (57) |
| 三、各种可控整流电路计算表 .....      | (59) |
| 四、计算实例 .....             | (65) |
| 第五章 晶闸管的保护、串并联及散热器 ..... | (68) |
| 一、晶闸管的保护 .....           | (68) |
| 二、晶闸管的串并联使用 .....        | (72) |
| 三、散热器 .....              | (74) |
| 第六章 其他电力半导体器件 .....      | (79) |
| 一、大功率晶体管 GTR .....       | (79) |
| (一) 有关的主要参数 .....        | (80) |
| (二) 二次击穿和安全工作区 .....     | (83) |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| (三) GTR 的保护 .....               | (86)  |
| (四) 采用 GTR 的实用斩波电路 .....        | (87)  |
| 二、功率 MOSFET .....               | (89)  |
| (一) 工作原理和图形符号 .....             | (89)  |
| (二) 主要特性参数 .....                | (90)  |
| (三) MOSFET 的应用电路 .....          | (93)  |
| 三、绝缘栅双极晶体管(IGBT) .....          | (100) |
| (一) 工作原理和图形符号 .....             | (100) |
| (二) IGBT 的性能参数 .....            | (101) |
| (三) IGBT 的应用 .....              | (105) |
| 四、MOS 控制晶闸管(MCT) .....          | (114) |
| (一) 结构和工作原理 .....               | (114) |
| (二) 额定值和特性 .....                | (115) |
| (三) 静态特性 .....                  | (116) |
| (四) 开关特性 .....                  | (118) |
| 第七章 调光电路 .....                  | (120) |
| 一、数字调光电路 .....                  | (120) |
| 二、大范围调光电路 .....                 | (121) |
| 三、使用 PA436 集成块触发双向可控的调光电路 ..... | (122) |
| 四、利用光反馈的调光电路 .....              | (122) |
| 五、用光反馈的高压整流调整器 .....            | (123) |
| 六、舞蹈音乐彩灯电路 .....                | (123) |
| 七、四种颜色的彩灯电路 .....               | (125) |
| 八、500W 灯泡软启动电路 .....            | (126) |
| 九、LC 调谐式移相触发晶闸管调光器 .....        | (126) |
| 十、日光灯的亮度控制电路 .....              | (129) |
| 十一、压控变色彩灯 .....                 | (130) |
| 十二、组合装饰彩灯 .....                 | (132) |
| 十三、大功率音乐电平显示器 .....             | (134) |
| 十四、双向流动灯光控制器 .....              | (137) |
| 第八章 电机控制电路 .....                | (139) |
| 一、用 L120AB 控制交流电机的电路 .....      | (139) |
| 二、分马力电动机的速度和方向控制电路 .....        | (142) |
| 三、并激电动机的速度控制电路 .....            | (143) |
| 四、串激电动机的运转方向与速度控制电路 .....       | (144) |
| 五、交流串激电动机的控制电路 .....            | (144) |
| 六、感应电动机的控制电路 .....              | (145) |
| 七、单相感应电动机的速度负反馈电路 .....         | (146) |
| 八、单相交流供电直流机车电动机控制电路 .....       | (147) |
| 九、感应转差调速器的控制电路 .....            | (147) |

|                                                          |              |
|----------------------------------------------------------|--------------|
| 十、采用集成电路的通用电动机控制电路 .....                                 | (148)        |
| 十一、晶闸管攻丝电源 .....                                         | (149)        |
| 十二、用零触发集成电路控制三相异步电动机的电路 .....                            | (150)        |
| 十三、交流电动机通断控制电路 .....                                     | (151)        |
| 十四、直流伺服电动机的调速电路 .....                                    | (152)        |
| 十五、低压小型直流电动机的控制电路 .....                                  | (152)        |
| 十六、消除电容起动电动机噪声的电路 .....                                  | (153)        |
| 十七、小型直流电动机的调速电路 .....                                    | (153)        |
| 十八、大型直流电动机速度控制电路 .....                                   | (154)        |
| 十九、120kW 发电机自动调压电路 .....                                 | (155)        |
| 二十、发电机励磁调节电路 .....                                       | (160)        |
| 二十一、比例式晶闸管控制电路 .....                                     | (162)        |
| 二十二、旁路分相电容来制动可逆交流电动机 .....                               | (162)        |
| 二十三、用双向晶闸管控制和制动交流电动机 .....                               | (164)        |
| 二十四、红外光控制调速装置 .....                                      | (165)        |
| 二十五、功率因数控制器的改进线路 .....                                   | (166)        |
| 二十六、对负载变化快速响应的数字功率因数控制器 .....                            | (167)        |
| 二十七、单相电动机调速及遥控电子开关电路 .....                               | (169)        |
| 二十八、一种小容量直流电动机可逆调速电路 .....                               | (169)        |
| <b>第九章 商品化电机控制电路 .....</b>                               | <b>(174)</b> |
| 一、单相双闭环直流电动机调速电路 .....                                   | (174)        |
| 二、用 KC 系列控制的直流电动机调速电路 .....                              | (176)        |
| 三、ZCC <sub>1</sub> 及 ZCD <sub>1</sub> 双闭环直流电动机调速装置 ..... | (179)        |
| 四、ZCC <sub>1</sub> 及 ZCD <sub>1</sub> 各种控制单元 .....       | (191)        |
| 1. GJ-1 给定积分器 .....                                      | (191)        |
| 2. ST-1 速度调节器 .....                                      | (193)        |
| 3. ST-2 速度调节器 .....                                      | (195)        |
| 4. LT-1 电枢电流调节器 .....                                    | (197)        |
| 5. CSR-2 触发装置输入及保护单元 .....                               | (199)        |
| 6. CF-3 触发脉冲单元 .....                                     | (200)        |
| 7. LB-1 交流电流变换器 .....                                    | (202)        |
| 8. 速度变换器 .....                                           | (204)        |
| 9. YB-1 直流电压变换器 .....                                    | (206)        |
| 10. GZ-2 故障综合单元 .....                                    | (208)        |
| 五、转差离合器控制电路 .....                                        | (209)        |
| 六、TJC1 开环控制的晶闸管串级调速电路 .....                              | (214)        |
| 七、闭环控制的晶闸管串级调速电路 .....                                   | (220)        |
| 八、三相零式串级调速电路 .....                                       | (223)        |
| 九、同步电动机晶闸管励磁装置 .....                                     | (225)        |
| <b>第十章 温控电路 .....</b>                                    | <b>(230)</b> |

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| 一、使用 IC 触发双向晶闸管的调温电路 .....     | (230)        |
| 二、采用 PUT 的零压加热控制器 .....        | (230)        |
| 三、三相加热器控制电路 .....              | (231)        |
| 四、2.4kW 电热器控制电路 .....          | (232)        |
| 五、1.2kW 加热器的 700W 零压控制电路 ..... | (232)        |
| 六、电烙铁调温电路 .....                | (233)        |
| 七、用集成过零触发双向晶闸管的温控电路 .....      | (234)        |
| 八、采用热敏晶闸管的温控电路 .....           | (234)        |
| 九、采用 MCIZ 的时间比例温控电路 .....      | (235)        |
| 十、三相电炉温控电路 .....               | (236)        |
| 十一、比例温控电路 .....                | (237)        |
| 十二、用 PID 调节的温控电路 .....         | (238)        |
| 十三、位式调节温控电路 .....              | (239)        |
| 十四、用 KC-05 集成电路的温控电路 .....     | (240)        |
| 十五、热惯性误差小的调温电路 .....           | (241)        |
| 十六、由定时器 555 构成的温控电路 .....      | (243)        |
| 十七、温度开关电路 .....                | (244)        |
| 十八、晶闸管零压触发调功器 .....            | (245)        |
| 十九、用热电偶检测的温控电路 .....           | (247)        |
| 二十、锯齿波比例控制电路 .....             | (248)        |
| 二十一、大斜波比例控制电路 .....            | (248)        |
| <b>第十一章 时控电路 .....</b>         | <b>(250)</b> |
| 一、由 SCR 检测的定时器电路 .....         | (250)        |
| 二、秒级到小时级的定时电路 .....            | (250)        |
| 三、三级顺序定时器电路 .....              | (251)        |
| 四、搅拌机定时控制电路 .....              | (251)        |
| 五、误动作少的 PUT 振荡电路 .....         | (252)        |
| 六、无触点定时器电路 .....               | (253)        |
| 七、禁止再次接通的定时器电路 .....           | (253)        |
| 八、采用 PUT 的定时器电路 .....          | (254)        |
| 九、高效能的时间继电器 .....              | (254)        |
| 十、双向无触点时间继电器 .....             | (255)        |
| 十一、一种单片机控制的定时打铃器 .....         | (257)        |
| <b>第十二章 开关电路 .....</b>         | <b>(261)</b> |
| 一、三相零压开关电路 .....               | (261)        |
| 二、零点开关电路 .....                 | (261)        |
| 三、理想半波开关电路 .....               | (262)        |
| 四、使用双向晶闸管的通断开关电路 .....         | (262)        |
| 五、采用光电耦合器的交流开关电路 .....         | (263)        |
| 六、感性负载零压开关电路 .....             | (263)        |

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| 七、一种改进的固态继电器电路 .....            | (264)        |
| 八、无触点接近开关电路 .....               | (266)        |
| 九、用几个元件构成的简单固态继电器电路 .....       | (267)        |
| 十、采用光电耦合器的交流固态继电器 .....         | (268)        |
| 十一、数字式无触点继电器 .....              | (269)        |
| 十二、简单的零压开关电路 .....              | (270)        |
| 十三、备用电源开关电路 .....               | (270)        |
| 十四、三相交流电力电子开关电路 .....           | (272)        |
| 十五、用电话机兼作开关电灯的电路 .....          | (280)        |
| <b>第十三章 逆变电路 .....</b>          | <b>(282)</b> |
| 一、采用 25kHz, SCR 逆变器的弧焊机电路 ..... | (282)        |
| 二、2kW, 7kHz 感应加热器逆变电路 .....     | (284)        |
| 三、使用双向晶闸管的消弧电路 .....            | (285)        |
| 四、高频感应加热器(电磁烹调器)电路 .....        | (285)        |
| 五、“RACER”型同步火花点火器 .....         | (286)        |
| 六、CDI 点火电路 .....                | (287)        |
| 七、同步火花点火器 .....                 | (288)        |
| 八、内燃机点火电路 .....                 | (288)        |
| 九、气体点火电路 .....                  | (289)        |
| 十、从低压直流电获得高压脉冲的电路 .....         | (290)        |
| 十一、三相中点控制频率转换电路 .....           | (290)        |
| 十二、新颖的 DC-DC 逆变器电路 .....        | (291)        |
| 十三、家用 UPS .....                 | (292)        |
| 十四、电容贮能缝焊机 .....                | (294)        |
| <b>第十四章 斩波器 .....</b>           | <b>(297)</b> |
| 一、低压直流斩波电路 .....                | (297)        |
| 二、电瓶车斩波调速器 .....                | (297)        |
| 三、TGC-1 型无轨电车晶闸管斩波调速装置 .....    | (304)        |
| <b>第十五章 电源电路 .....</b>          | <b>(311)</b> |
| 一、带有反接显示的电池充电电路 .....           | (311)        |
| 二、电压和速度可控制的充电电路 .....           | (311)        |
| 三、无极性的电池充电电路 .....              | (312)        |
| 四、两个铅酸电池串联充电电路 .....            | (312)        |
| 五、快速高效充电机 .....                 | (313)        |
| 六、用于点焊机的稳压充电电路 .....            | (315)        |
| 七、简易式定电压控制电路 .....              | (316)        |
| 八、交流稳压电路 .....                  | (317)        |
| 九、数字式交流稳压电源 .....               | (317)        |
| 十、晶闸管零触发交流稳压器 .....             | (321)        |
| 十一、高性能交流稳压电路 .....              | (322)        |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 十二、高稳定度的交流稳压电路 .....         | (322)        |
| 十三、正反馈能量控制型自激变换器稳压电源 .....   | (323)        |
| 十四、简易式双路可变直流电源 .....         | (324)        |
| 十五、用晶闸管作调整管的稳压电路 .....       | (324)        |
| 十六、降低调整管功耗的串联稳压电源 .....      | (325)        |
| 十七、改进的可调式稳压电源 .....          | (327)        |
| 十八、混合型开关稳压电源 .....           | (327)        |
| 十九、调频式直流高压稳压电源 .....         | (328)        |
| 二十、佳丽彩牌彩色电视机电源电路 .....       | (330)        |
| 二十一、大容量直流稳压电源 .....          | (331)        |
| 二十二、中容量稳压电源的预稳电路 .....       | (332)        |
| 二十三、自控整流调压电源 .....           | (333)        |
| 二十四、一种软起动的直流电源 .....         | (334)        |
| 二十五、晶闸管电镀电源 .....            | (335)        |
| 二十六、效率高的线性可调直流电源 .....       | (337)        |
| 二十七、恒流定压充电器 .....            | (338)        |
| 二十八、双反星形带平衡电抗器的可控整流电源 .....  | (341)        |
| <b>第十六章 检测电路 .....</b>       | <b>(344)</b> |
| 一、晶闸管控制极电流电压测试仪 .....        | (344)        |
| 二、检测线电压单周变化指示器 .....         | (346)        |
| 三、测量生物电流的电路 .....            | (348)        |
| 四、用比较器检测过电压的电路 .....         | (349)        |
| 五、用 CMOS 斯密特触发器来检测过电压 .....  | (350)        |
| 六、临近检测器 .....                | (351)        |
| 七、水位检测电路 .....               | (351)        |
| 八、液位保持电路 .....               | (352)        |
| 九、用光敏管指示运动物体的方向 .....        | (353)        |
| 十、检测漏电流的简易电路 .....           | (354)        |
| 十一、检测和显示超出一定极限偏差电压的监控器 ..... | (354)        |
| 十二、多点照像测斜仪电路 .....           | (355)        |
| 十三、用干簧管检测过电流的电路 .....        | (357)        |
| <b>第十七章 家用电器电路 .....</b>     | <b>(359)</b> |
| 一、闪光灯电路 .....                | (359)        |
| 二、用两只晶闸管构成双稳态的闪光电路 .....     | (359)        |
| 三、洗衣机控制电路 .....              | (360)        |
| 四、洗衣机无级变速电路 .....            | (361)        |
| 五、家用照明自动开关电路 .....           | (362)        |
| 六、家用照明声控开关电路 .....           | (363)        |
| 七、渐亮渐暗电灯开关电路 .....           | (364)        |
| 八、拨盘式数字门锁 .....              | (364)        |

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| 九、密码电子门锁 .....            | (365)        |
| 十、限时密码电子门锁 .....          | (365)        |
| 十一、万种组合的电子门锁 .....        | (366)        |
| 十二、电子灭蝇器电路 .....          | (367)        |
| 十三、电熨斗自动恒温电路 .....        | (367)        |
| 十四、光电式自动开灯、关灯电路 .....     | (368)        |
| 十五、带颤音的单音阶电子琴 .....       | (369)        |
| 十六、发出鸟鸣声音的电路 .....        | (370)        |
| 十七、采用 PUT 的单音阶电子琴 .....   | (370)        |
| 十八、程序控制节日灯 .....          | (371)        |
| 十九、数字式彩灯电路 .....          | (372)        |
| 二十、声控灯电路 .....            | (373)        |
| 二十一、红外线电扇遥控器 .....        | (374)        |
| 二十二、自动调光电子闪光灯 .....       | (377)        |
| 二十三、电脑程控全自动洗衣机 .....      | (379)        |
| <b>第十八章 保护电路 .....</b>    | <b>(382)</b> |
| 一、直流过压、欠压、过流保护电路 .....    | (382)        |
| 二、交流过压、过流保护电路 .....       | (383)        |
| 三、稳定的过欠压监视器 .....         | (383)        |
| 四、稳压电源的简单过压保护电路 .....     | (384)        |
| 五、过电流保护电路 .....           | (385)        |
| 六、大电流电源的保护电路 .....        | (385)        |
| 七、限流保护电路 .....            | (386)        |
| 八、电源短路保护电路 .....          | (386)        |
| 九、由比较器和 SCR 构成的保护电路 ..... | (386)        |
| 十、采用 PUT 作直流电源保护的电路 ..... | (387)        |
| 十一、适应于任何交流电源的过压保护电路 ..... | (388)        |
| 十二、能精确调整电源消弧的电路 .....     | (389)        |
| 十三、交流电动机的过热保护电路 .....     | (390)        |
| 十四、交流电动机的过电流保护电路 .....    | (391)        |
| 十五、欠压报警电路 .....           | (391)        |
| 十六、采用热敏晶闸管的温度报警电路 .....   | (392)        |
| 十七、不受环境温度影响的热警电路 .....    | (392)        |
| 十八、接触报警电路 .....           | (393)        |
| 十九、延时报警电路 .....           | (393)        |
| 二十、无虚报警电路 .....           | (394)        |
| <b>第十九章 脉冲发生器 .....</b>   | <b>(395)</b> |
| 一、用单只晶闸管构成的脉冲发生器 .....    | (395)        |
| 二、用两只晶闸管组成的脉冲发生器 .....    | (395)        |
| 三、缓慢脉冲发生器 .....           | (396)        |

|                                          |              |
|------------------------------------------|--------------|
| 四、雷达脉冲发生器 .....                          | (397)        |
| 五、斜波发生器 .....                            | (397)        |
| <b>第二十章 用数字集成电路和光电耦合器触发 SCR 电路 .....</b> | <b>(399)</b> |
| 一、用数字集成电路触发高灵敏度晶闸管电路 .....               | (399)        |
| 二、从数字时钟 / 定时器到交流控制的接口电路 .....            | (399)        |
| 三、CMOS 和双向晶闸管的接口电路——AC 控制 .....          | (400)        |
| 四、CMOS 和晶闸管的接口电路——DC 控制 .....            | (401)        |
| 五、光电耦合器与晶闸管的接口电路 .....                   | (401)        |
| <b>第二十一章 一般控制电路 .....</b>                | <b>(404)</b> |
| 一、晶闸管触发器 .....                           | (404)        |
| 二、数码管驱动器 .....                           | (404)        |
| 三、采用 SCR 作开关元件的步进器 .....                 | (405)        |
| 四、采用 SCR 的环形计数器 .....                    | (406)        |
| 五、自动相位控制电路 .....                         | (407)        |
| 六、采用 MCIP 的相位控制电路 .....                  | (407)        |
| 七、相序指示器 .....                            | (408)        |
| 八、间歇式引路灯电路 .....                         | (409)        |
| 九、同时适应 110V 和 220V 的电源电路 .....           | (409)        |
| 十、消除开关瞬态效应的控制电路 .....                    | (410)        |
| 十一、单稳多谐振荡式点焊机 .....                      | (411)        |
| 十二、计数式点焊机 .....                          | (411)        |
| 十三、由 CMOS 构成时间调节器的点焊机 .....              | (412)        |
| 十四、汽车前灯催关器 .....                         | (415)        |
| 十五、有数据输入才能打开电传打字机的电路 .....               | (416)        |
| 十六、用斯密特触发电路控制晶闸管的导通角 .....               | (417)        |
| 十七、路灯节电控制器 .....                         | (417)        |
| 十八、晶闸管式弧焊整流器 .....                       | (419)        |
| <b>第二十二章 用微处理器控制的电路 .....</b>            | <b>(424)</b> |
| 一、用微机进行交流控制的固态继电器 .....                  | (424)        |
| 二、一种带微处理器的交流电动机节电器 .....                 | (424)        |
| 三、用 Z80 微机控制晶闸管触发信号 .....                | (426)        |
| 四、用 TMC-80 微机控制晶闸管 .....                 | (427)        |
| 五、微机控制三相有源逆变器 .....                      | (428)        |
| 六、用 8022 单片机控制异步电动机 .....                | (429)        |
| 七、微机控制的双闭环调速系统 .....                     | (432)        |
| 八、一种新颖的接口电路 .....                        | (438)        |
| <b>附录一 部分国外晶闸管型号及参数 .....</b>            | <b>(440)</b> |
| 附表 1-1 部分国外高灵敏度晶闸管型号及参数表 .....           | (440)        |
| 附表 1-2 部分国外普通晶闸管型号及参数表 .....             | (442)        |
| 附表 1-3 部分国外双向晶闸管型号及参数表 .....             | (448)        |
| <b>附录二 各种型号的散热器 .....</b>                | <b>(453)</b> |

# 第一章 普通可控硅\*

## 一、概 述

可控硅简称 SCR，即 Silicon Controlled Rectifier 的缩写，应该称作晶闸管 (Thyristor)。

晶闸管是一种四层三端半导体器件，过去都是大功率器件，近年来国内外已生产额定电流为几百毫安的小管子。晶闸管既具有整流作用，又可作为开关来使用。它可以用 mA 甚至  $\mu A$  级的电流，几伏甚至数百毫伏的电压控制几百安乃至几千安的电流、几百伏乃至几千伏的电压，而且它体积小，重量轻，今天，它完全取代了真空闸流管，在交流调压、

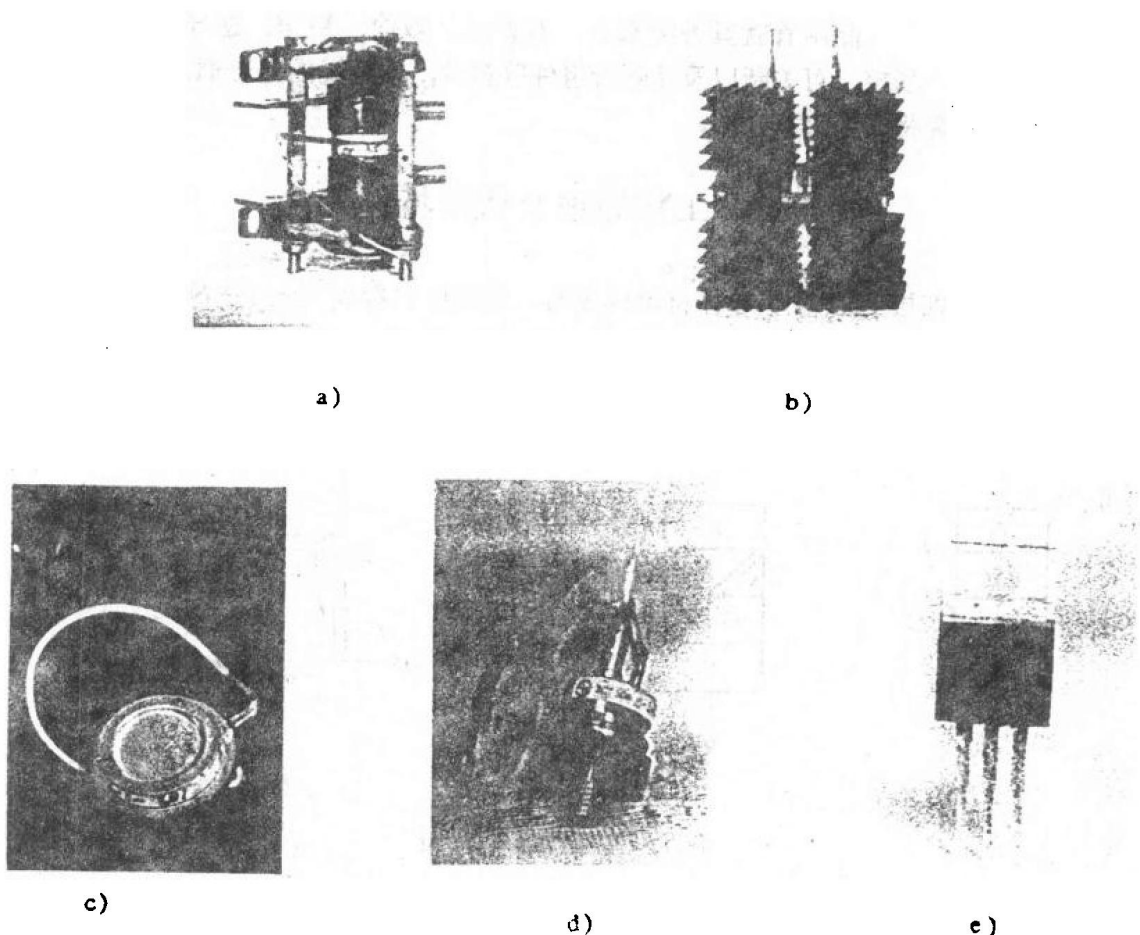


图 1-1 晶闸管外形结构图

(a) 平板水冷式晶闸管(此为 800A) (b) 平板风冷式晶闸管(此为 200A) (c) 不带散热器的平板型管子(此为 200A)  
(d) 螺栓式晶闸管(此为 20A) (e) 塑封式晶闸管(此为 3A)

\* 普通可控硅，即反向阻断型晶闸管，凡未加说明的，都是指这种晶闸管，若是其他晶闸管，则冠以一定的定语，如“双向”晶闸管，“快速”晶闸管，……以示区别。

可控整流、逆变、变频、开关及自动控制等方面获得非常广泛的应用。现在业已形成横跨电力、电子和控制之间的边缘学科——电力电子技术。

晶闸管就其外形结构来分,有平板水冷式、平板风冷式、螺栓式和塑封式几种,如图1-1所示。

零点几安至十几安为塑封式,5~400A为螺栓式,200~500A为平板风冷式(200A,400A的既有平板的,又有螺栓的),500A及以上的为平板水冷式。

普通晶闸管的符号如图1-2所示。



就实物来说,平板晶闸管的管芯引出的小线为控制极G,靠近控制极的为阴极K,离控制极较远的为阳极A。螺栓式晶闸管有螺丝的一端为A,另一主端子为K,引出脚较小的为G。塑封式晶闸管的管脚排列是:将管子正面(印有字为正面)管脚朝下,从右至左分别为G,A,K。

晶闸管就其种类来分,有普通、双向、快速、逆导、光控、温控、场控、可关断以及晶闸管组件等多种,本章说的是普通晶闸管,国内已生产的其他晶闸管将在第二章介绍。

## 二、工作原理及伏安特性

晶闸管是由四层PNPN半导体材料构成的,可以把它看成是一个PNP晶体管和一个NPN晶体管互联的器件,即BG<sub>1</sub>的集电极接至BG<sub>2</sub>的基极,而BG<sub>2</sub>的集电极接BG<sub>1</sub>的基极,如图1-3所示。

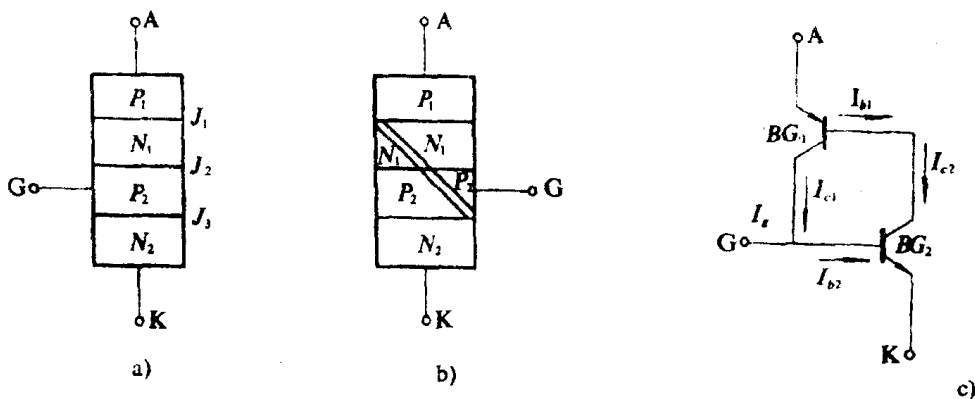


图1-3 晶闸管双晶体管模型

当控制极G开路时,给阳极和阴极加正向电压,即A为正,K为负,这时,由于J<sub>2</sub>反偏,A,K不导通,只有微小的漏电流流过。当A,K之间正向电压足够大时,管子击穿,V<sub>BO</sub>为正向击穿电压。当A,K之间加反向电压,即K为正,A为负,由于J<sub>1</sub>和J<sub>3</sub>反偏,A,K仍然不导通,两者之间仍然只有微小的漏电流通过。当A,K之间的反向电压足够大时,管子反向击穿,V<sub>RO</sub>为反向击穿电压。

在阳极和阴极之间加正向电压的同时,控制极相对阴极加正的触发电压,一旦有足够的控制极电流I<sub>g</sub>流入,根据图1-3,就会形成强烈的正反馈,即:

$$I_g \rightarrow I_{c2} \uparrow \rightarrow I_{b1} \uparrow \rightarrow I_{c1} \uparrow \rightarrow I_{b2} \uparrow$$

这样, 就会使管子饱和导通, 伏安特性曲线如图 1-4 所示。

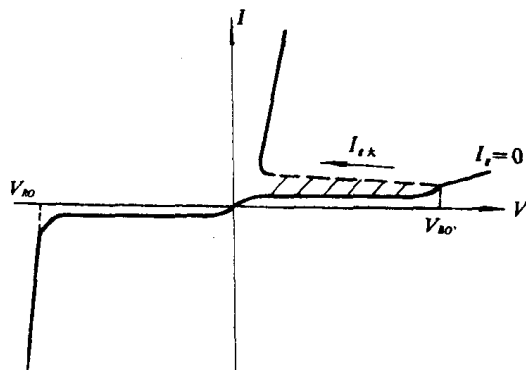


图 1-4 伏安特性曲线

使管子突然导通时的阳极电压叫转折电压。在使用中, 不允许把 A, K 之间的电压加到  $V_{BO}$  或  $V_{RO}$  上。

晶闸管的阳极电流是不随控制极电流大小而变的, 只能控制触发导通的时刻,  $I_x$  大, 可以使管子提早导通, 就是当 A, K 之间只有较小电压时就可导通, 也就是说,  $I_x$  越大, 转折电压越小, 这点可从伏安特性曲线上明显看出。

晶闸管一旦触发导通, 把控制极信号减小甚至完全去掉, 管子仍然导通, 只有当阳极电流减小到维持电流以下, 管子才会截止, 这是晶闸管与一般晶体管根本不同之点。

### 三、主要特性参数

晶闸管的参数有 20 多项, 这里将一些常用的参数加以简单介绍。过去我国对晶闸管都使用机械工业部“KP 型晶闸管整流元件”部标准, 即 JB1144-75 和电子工业部“3CT 型半导体晶闸管”部标准。考虑到某些方面更合理、更先进, 以便与国际 IEC 标准一致, 国家标准局于 1985 年颁布“普通晶闸管”的国家标准。即 GB4940-85。本书使用的是这个新标准, 请读者注意与过去的老标准相区别。

#### 1. 断态及反向重复峰值电压 $V_{DRM}$ 和 $V_{RRM}$

控制极断路, 在一定的温度下, 允许重复加在管子上的正向电压为断态重复峰值电压, 用  $V_{DRM}$  表示。这个数值是不重复峰值电压  $V_{DSM}$  的 90%, 而不重复峰值电压即为正向伏安特性曲线急剧弯曲点所决定的断态峰值电压。反向重复峰值电压用  $V_{RRM}$  表示, 它也是在控制极开路条件下, 规定一定的温度, 允许重复加在管子上的反向电压, 同样,  $V_{RRM}$  为反向不重复峰值电压  $V_{RSM}$  的 90%。

“重复”是指重复率为每秒 50 次, 持续时间不大于 10ms。

$V_{DRM}$  和  $V_{RRM}$  随温度的升高而降低, 在测试条件中, 将对温度作严格的规定。

生产厂把  $V_{DRM}$  和  $V_{RRM}$  中较小的一个数值作为管子的额定电压。

#### 2. 断态漏电流 $I_{DRM}$ 和反向漏电流 $I_{RRM}$

对应  $V_{DRM}$  和  $V_{RRM}$  的漏电流为断态漏电流和反向漏电流, 分别用  $I_{DRM}$  和  $I_{RRM}$  表