



高职高专电气及电子信息专业技能型规划教材

电力电子技术

李高建 王 尧 主 编
王正德 赵 静 副主编



赠送
电子课件

清华大学出版社

高职高专电气及电子信息专业技能型规划教材

电力电子技术

李高建 王 尧 主 编

王正德 赵 静 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书共分为6个教学项目,系统地讲述了目前研究比较热门的6种电力电子设备:调光电路、开关电源、中频感应加热电源、有源电力滤波器、直流斩波电路、交流变换电路。

本书针对高职高专的教学要求,注重理论联系实际,对实用性不大的内容进行了删减,对复杂的计算及推导进行了简化,增加了具有实用价值的内容,对实践教学具有指导性和可操作性。每个教学项目后均有小结及习题。

本书可作为高职高专院校电气工程领域及工业自动化领域等工科专业学生的教材,也可作为电力系统自动化相关领域工程技术人员的自学和培训用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/李高建,王尧主编;王正德,赵静副主编. —北京:清华大学出版社,2012.6
(高职高专电气及电子信息专业技能型规划教材)

ISBN 978-7-302-28437-6

I. ①电… II. ①李… ②王… ③王… ④赵… III. ①电力电子技术—高等职业教育—教材
IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 062258 号

责任编辑:桑任松 郑期彤

封面设计:刘孝琼

责任校对:李玉萍

责任印制:张雪娇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15

字 数:365千字

版 次:2012年6月第1版

印 次:2012年6月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00元

产品编号:040617-01

前 言

电力电子技术是电气工程学科的基础课程，由电力电子器件、电力电子电路、电力电子系统及其控制三部分组成，是电力电子装置、开关电源技术、自动控制系统、变频调速应用、柔性输电系统等课程的先行课程，同时也是电力自动化类其他相关专业的重要基础课之一。

本书依据应用型人才培养目标，遵循“面向就业，突出应用”的原则，注重教材的科学性、实用性、通用性、新颖性，力求做到学科体系完整、理论联系实际、夯实基础知识、突出时代气息，并强调知识的渐进性，兼顾知识的系统性，注重培养学生的实践能力。本书着重讲授各种电能变换电路的基本工作原理、电路结构、电气性能、波形分析方法和参数计算等。通过对本课程的学习，学生能理解并掌握电力电子技术领域的相关基础知识，培养分析问题、解决问题的能力，了解电力电子学科领域的发展方向。

本书采用项目式教学法，根据当前电力电子技术的发展现状，充分结合研究热点，对教学内容及所编章节顺序进行了合理调整与规划，将全部内容分为6个项目。其中，项目1系统介绍了常用电力电子器件的工作原理和特性，并通过调光电路实例详细分析了整流电路的种类、结构及参数计算；项目2通过开关电源实例详细分析了各种开关变换器的拓扑结构及设计方法；项目3通过中频感应加热电源实例详细分析了三相整流及有源逆变电路和参数计算；项目4通过有源电力滤波器实例详细分析了谐波检测及抑制技术，并通过建立数学模型分析了其有效性；项目5通过直流斩波电路实例详细分析了直流变换电路的各种结构及参数计算；项目6通过交流变换电路实例，详细分析了各种交直流变频装置的结构及参数计算。

淄博职业学院李高建对本书的课程标准与编写思路进行了总体策划，指导了全书的编写，并负责全书的统稿。具体分工为：项目1、项目3由王尧编写，项目2、项目4由王正德编写，项目5、项目6由赵静编写。

由于编者学识有限，书中难免有错误和遗漏，敬请广大读者在使用过程中提出宝贵意见。

编 者

目 录

项目 1 调光电路.....1	2.2.4 二极管.....61
1.1 晶闸管.....2	2.2.5 自动恢复开关.....62
1.1.1 晶闸管的结构.....2	2.2.6 热敏电阻.....63
1.1.2 晶闸管的工作原理.....2	2.3 开关电源的设计基础.....64
1.1.3 晶闸管的特性.....3	2.3.1 开关电源的控制方式.....64
1.1.4 晶闸管的主要参数.....5	2.3.2 各类拓扑结构电源分析.....66
1.2 晶闸管的驱动与保护电路.....10	2.3.3 谐振式电源与软开关技术.....70
1.2.1 晶闸管的触发电路.....10	2.4 开关电源设计.....80
1.2.2 晶闸管的串、并联与保护.....20	2.4.1 开关电源集成控制芯片.....80
1.3 单相半波可控整流电路.....29	2.4.2 开关电源电路分析.....88
1.3.1 电阻性负载.....29	小结.....93
1.3.2 电感性负载.....35	习题.....94
1.4 单结晶体管触发电路.....38	项目 3 中频感应加热电源.....96
1.4.1 单结晶体管.....39	3.1 电力晶体管.....97
1.4.2 单结晶体管自激振荡电路.....42	3.1.1 结构.....97
1.4.3 具有同步环节的单结晶体管触发电路.....43	3.1.2 工作特性.....97
小结.....46	3.1.3 主要参数.....99
习题.....47	3.1.4 二次击穿现象与安全工作区..100
项目 2 开关电源.....51	3.1.5 电力晶体管的驱动.....101
2.1 绪论.....52	3.1.6 电力晶体管的保护.....103
2.1.1 开关电源的概念和分类.....52	3.2 整流主电路.....106
2.1.2 开关电源设计中存在的问题与未来发展.....54	3.2.1 三相半波相控整流电路.....106
2.2 开关电源元器件的选用.....55	3.2.2 三相桥式全控整流电路.....109
2.2.1 开关晶体管.....55	3.2.3 整流触发电路.....115
2.2.2 软磁铁氧体磁芯.....57	3.2.4 触发电路与主电路电压的同步.....121
2.2.3 光电耦合器.....59	3.2.5 整流电路的保护.....123
	3.3 逆变主电路.....125

3.3.1 有源逆变的工作原理	125
3.3.2 三相有源逆变电路	128
3.3.3 有源逆变最小逆变角 $\beta_{\min}$ 的限制与逆变失败	130
3.3.4 有源逆变电路的应用	132
3.4 中频感应加热电源的组成	138
小结	140
习题	141

项目4 有源电力滤波器 143

4.1 绪论	144
4.1.1 谐波的概念	144
4.1.2 电力系统谐波的产生及其 危害	144
4.1.3 谐波畸变的量度及限制电网 谐波的标准	145
4.1.4 谐波抑制技术	146
4.1.5 有源电力滤波器的国内外 研究现状	148
4.1.6 本项目的研究内容	150
4.2 混合型有源电力滤波器的工作原理 与数学建模	150
4.2.1 混合型有源电力滤波器的 基本工作原理	150
4.2.2 混合型有源电力滤波器的 结构	151
4.2.3 混合型有源电力滤波器的 数学建模	153
4.3 谐波检测技术	159
4.3.1 谐波电流的实时检测技术	160
4.3.2 i_p-i_q 算法	161
4.4 并联混合型有源电力滤波器的研究	165
4.4.1 并联混合型有源电力滤波器 的结构和原理	165
4.4.2 LC 无源滤波器的研究	166

4.4.3 并联混合型拓扑分析	169
4.4.4 并联混合滤波器的仿真	171
4.5 并联混合型有源电力滤波系统数字 控制器的设计与实验研究	174
4.5.1 TMS320F240 DSP 芯片的 基本特征	174
4.5.2 硬件方案的实现	175
小结	182
习题	183

项目5 直流斩波电路 184

5.1 斩波电路的基本原理	184
5.2 降压斩波电路	185
5.2.1 电路结构与基本原理图	185
5.2.2 连续导电模式	186
5.2.3 断续导电模式	187
5.2.4 输出电压纹波	189
5.3 升压斩波电路	190
5.3.1 连续导电模式	191
5.3.2 断续导电模式	192
5.3.3 输出电压纹波	193
5.4 升降压斩波电路	194
5.4.1 电路结构	194
5.4.2 连续导电模式	195
5.4.3 断续导电模式	196
5.5 Cuk 斩波电路	197
5.5.1 电路结构	197
5.5.2 连续导电模式	197
5.5.3 断续导电模式	199
5.6 其他形式的斩波电路	199
5.6.1 Sepic 斩波电路	199
5.6.2 Zeta 斩波电路	200
小结	201

习题	201	6.3.1 单相交流调压电路	210
项目 6 交流变换电路	202	6.3.2 三相交流调压电路	215
6.1 交流变换器的类型	202	6.4 交-交变频电路	219
6.2 晶闸管交流开关	203	6.4.1 交-交变频电路的用途	219
6.2.1 简单交流开关及其应用	203	6.4.2 单相交-交变频电路	221
6.2.2 由过零触发开关电路组成的单相 交流调功器	205	6.4.3 三相交-交变频电路	226
6.2.3 固态开关	208	小结	230
6.3 交流调压电路	210	习题	230
		参考文献	232

项目1 调光电路

学习目标

1. 掌握晶闸管工作原理以及晶闸管主要参数的计算和选择方法。
2. 学会用万用表测试晶闸管和单结晶体管的好坏。
3. 掌握单相半波可控整流电路的工作原理。
4. 了解单结晶体管触发电路的工作原理。
5. 熟悉触发电路与主电路电压同步的基本概念。

项目描述

调光灯在日常生活中的应用非常广泛，其种类也很多。图 1-1(a)所示为常见的调光灯，旋动调光旋钮便可以调节灯泡的亮度。图 1-1(b)所示为调光灯电路原理图。

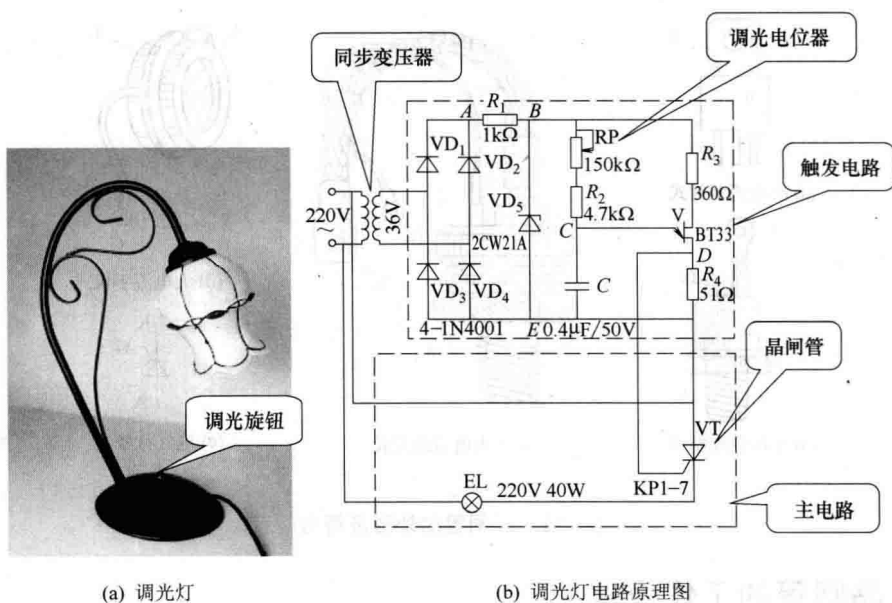


图 1-1 调光灯及其电路原理图

如图 1-1(b)所示，调光灯电路由主电路和触发电路两部分构成。通过对主电路及触发电路的分析，能使学生理解电路的工作原理，进而掌握分析电路的方法。下面具体分析与该电路有关的知识，包括晶闸管、单相半波可控整流电路、单结晶体管触发电路等内容。

1.1 晶 闸 管

普通晶闸管也称可控硅(可控硅整流器),简称 SCR,属于半控型功率半导体器件。由于晶闸管具有体积小、重量轻、损耗小、控制特性好等优点,能承受的电压、电流在功率半导体器件中均为最高,且价格便宜,工作可靠,因此,尽管其开关频率较低,但在大功率、低频的电力电子装置中仍占主导地位。

晶闸管的派生器件有双向晶闸管(TRIAC)、可关断晶闸管(GTO)、快速晶闸管(FST)、逆导晶闸管(RCT)、光控晶闸管(LTT)等。在无特别说明的情况下,本书所说的晶闸管均为普通晶闸管。

1.1.1 晶闸管的结构

晶闸管的外形封装形式可分为小电流塑封式、小电流螺旋式、大电流螺旋式和大电流平板式(额定电流在 200A 以上),分别如图 1-2(a)~(d)所示。晶闸管有三个电极,它们是阳极 A、阴极 K 和门极(或称栅极)G,它的电气符号如图 1-2 (e)所示。

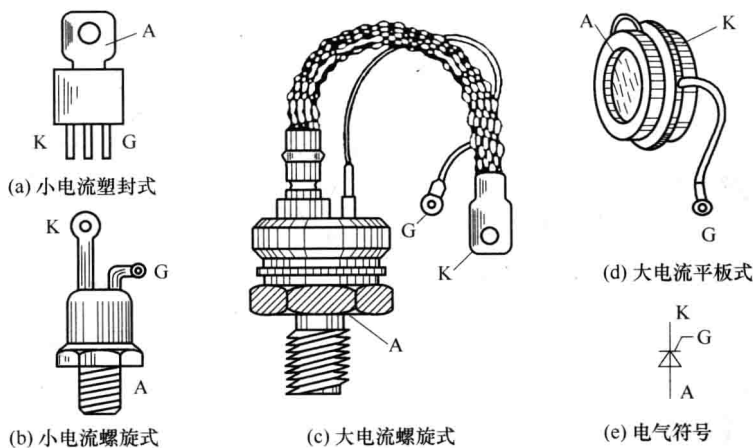


图 1-2 晶闸管的外形及符号

1.1.2 晶闸管的工作原理

由晶闸管的内部结构可知,它的管芯是由四层半导体(P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2)组成,形成三个 PN 结,即 J_1 、 J_2 、 J_3 ,并分别从 P_1 、 P_2 、 N_2 引出 A、G、K,如图 1-3(a)、(b)所示。

具有三结四层结构的晶闸管可以等效成由图 1-3(c)所示的两个三极管 $VT_1(P_1-N_1-P_2)$ 和 $VT_2(N_1-P_2-N_2)$ 组成的等效电路。

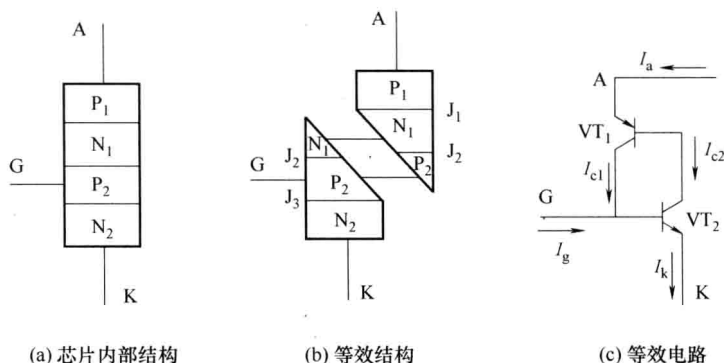


图 1-3 晶闸管的内部结构及等效电路

当晶闸管阳极施加正向电压时,若给门极 G 也加正向电压 U_g 时,则有门极电流 I_g 经三极管 VT_2 放大后成为集电极电流 I_{c2} , I_{c2} 又是三极管 VT_1 的基极电流,放大后的集电极电流 I_{c1} 进一步使 I_g 增大且又作为 VT_2 的基极电流流入。如此循环,产生强烈的正反馈过程,使两个三极管 VT_1 、 VT_2 都快速进入饱和状态,使晶闸管阳极 A 与阴极 K 之间导通。此时若撤除 U_g , VT_1 、 VT_2 内部电流仍维持原来的方向,只要满足阳极正偏的条件,晶闸管就一直导通。导通后晶闸管两端的压降一般为 $1.5V$ 左右,流过晶闸管的电流将取决于外加电源电压和主回路的阻抗。

晶闸管一旦导通,即使 $I_g=0$,但因 I_{c1} 的电流在内部直接流入 VT_2 管的基极,晶闸管仍将保持导通状态。若要晶闸管关断,只有降低阳极电压到零或对晶闸管加上反向阳极电压,使 I_{c1} 的电流减少至 VT_2 管接近截止状态,即流过晶闸管的阳极电流小于维持电流,晶闸管方可恢复阻断状态。

综上所述,可以得到以下结论。

- (1) 晶闸管导通条件: 阳极加正向电压, 门极加适当正向电压。
- (2) 晶闸管一旦导通将维持阳极电压不变, 将触发电压撤除后管子依然处于导通状态, 即门极失去了控制作用。
- (3) 晶闸管关断条件: 使流过晶闸管的阳极电流 I_a 小于维持电流 I_H , 维持电流是保持晶闸管导通的最小电流。

1.1.3 晶闸管的特性

1. 晶闸管的伏安特性

晶闸管的阳极与阴极间电压 U_a 和阳极电流 I_a 之间的关系, 称为伏安特性。其伏安特性曲线如图 1-4 所示, 包括正向特性(第 I 象限)和反向特性(第 III 象限)两部分。图中各物理量的定义如下:

- U_{DRM} 、 U_{RRM} ——正、反向断态重复峰值电压;
- U_{DSM} 、 U_{RSM} ——正、反向断态不重复峰值电压;
- U_{BO} ——正向转折电压;

U_{RO} ——反向击穿电压。

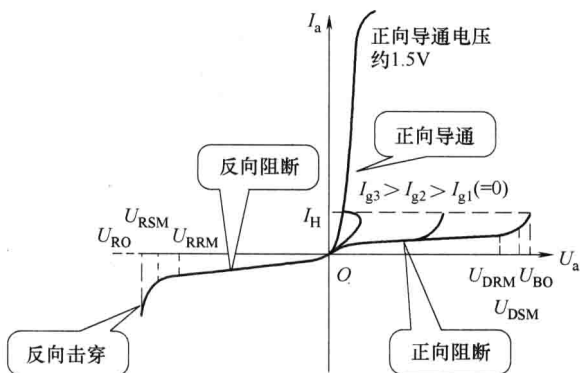


图 1-4 晶闸管伏安特性曲线

晶闸管的正向伏安特性如图 1-4 中第 I 象限所示，又有阻断状态和导通状态之分。在正向阻断状态，晶闸管的伏安特性是一组随门极电流 I_g 的增加而不同的曲线族。 $I_g=0$ 时，逐渐增大阳极电压 U_a ，只有很小的正向漏电流流过，晶闸管正向阻断。随着正向电压超过临界极限即 U_a 增到 U_{BO} 时，则漏电流急剧增大，晶闸管导通，正向电压降低，称为正向转折或“硬开通”。多次“硬开通”会损坏管子，晶闸管通常不允许这样工作。一般采用对晶闸管的门极加足够大的触发电流的方法使其导通，门极触发电流越大，正向转折电压越低。

晶闸管的反向伏安特性如图 1-4 中第 III 象限所示，它与整流二极管的反向伏安特性相似。处于反向阻断状态时，只有很小的反向漏电流，当反向电压超过反向击穿电压 U_{RO} 时，反向漏电流急剧增大，造成晶闸管反向击穿而损坏。

2. 晶闸管的开关特性

晶闸管的开关特性是指晶闸管在通态和断态的转换过程中器件电压和电流变化的情况。由于晶闸管内部结构的特点，它的开通和关断并不是瞬时完成的，而是需要一定的时间，即存在瞬态(过渡)过程。当元件的导通和关断频率较高时，就必须考虑这种时间的影响。图 1-5 给出了晶闸管的开关特性波形图。

1) 开通特性

晶闸管开通方式一般有以下几种。

- (1) 主电压开通：门极开路，将阳极电压 U_a 加到正向转折电压 U_{BO} ，使晶闸管导通。这也称为硬导通。这种开通方式会损坏晶闸管，在正常工作时不能使用。
- (2) 门极电流开通：在加入正向阳极电压的条件下，加入正向门极电压，使晶闸管导通，一般情况下，晶闸管都采用这种方式开通。
- (3) du/dt 开通：门极开路，晶闸管阳极正向电压变化率过大而导致器件开通，这种开通属于误动作，应该避免。

另外还有场控、光控、温控等开通方式，分别适用于场控晶闸管、光控晶闸管和温控晶闸管。

晶闸管由截止转为导通的过程称为开通过程。在晶闸管处在正向阻断的条件下突加门

极触发电流时,由于晶闸管内部正反馈过程及外电路电感的影响,阳极电流的增长需要一定的时间。从突加门极电流时刻到阳极电流上升到稳定值的 10%所需的时间称为延迟时间 t_d ,而阳极电流从 10%上升到 90%所需的时间称为上升时间 t_r ,延迟时间与上升时间之和称为晶闸管的开通时间 $t_{gt}=t_d+t_r$ 。普通晶闸管的延迟时间为 $0.5\sim 1.5\mu\text{s}$,上升时间为 $0.5\sim 3\mu\text{s}$ 。延迟时间随门极电流的增大而减少,延迟时间和上升时间均随阳极电压的增大而减少。

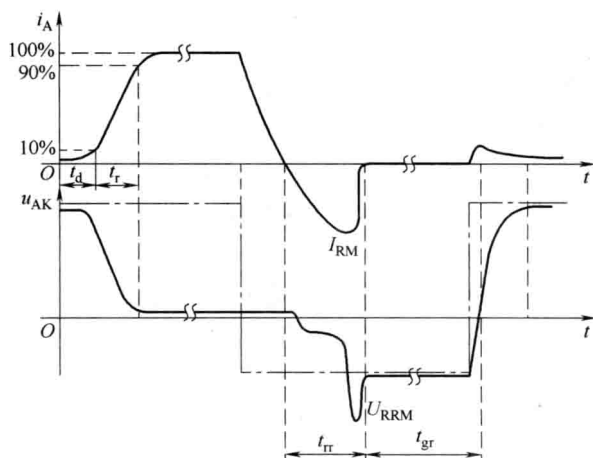


图 1-5 晶闸管的开关特性波形图

2) 关断特性

通常采用外加反压的方法将已导通的晶闸管关断。反压可利用电源、负载和辅助换流电路来提供。

要关断已导通的晶闸管,通常给晶闸管加反向阳极电压。晶闸管的关断,就是要使各层区内载流子消失,使元件对正向阳极电压恢复阻断能力。突加反向阳极电压后,由于外电路电感的存在,晶闸管阳极电流的下降会有一个过程,当阳极电流过零时,也会出现反向恢复电流,反向电流达最大值 I_{RM} 后,再朝反方向快速衰减至接近于零,此时晶闸管恢复对反向电压的阻断能力。正向电流过零到反向电流衰减至接近于零所经历的时间称为反向阻断恢复时间 t_{rr} 。由于载流子复合仍需一定的时间,从反向电流接近于零到晶闸管恢复正向电压阻断能力所需的时间称为正向阻断恢复时间 t_{gr} 。晶闸管的关断时间 $t_q=t_{rr}+t_{gr}$ 。普通晶闸管的关断时间为几百微秒。要使已导通的晶闸管完全恢复正向阻断能力,为晶闸管施加反向阳极电压的时间必须大于 t_q ,否则晶闸管将无法可靠关断。为缩短关断时间应适当加大反压,并保持一段时间,以使载流子充分复合而消失。

1.1.4 晶闸管的主要参数

在实际使用的过程中,我们往往要根据实际的工作条件进行管子的合理选择,以达到满意的技术经济效益。怎样才能正确地选择管子呢?这主要包括两个方面:一方面要根据实际情况确定所需晶闸管的额定值;另一方面要根据额定值确定晶闸管的型号。

晶闸管的各项额定参数在晶闸管生产后,由厂家经过严格测试而确定。作为使用者来

说,只需要能够正确地选择管子就可以了。现对经常使用的几个晶闸管的参数作一介绍。

1. 晶闸管的电压参数

1) 正向断态重复峰值电压 U_{DRM}

在图 1-4 所示的晶闸管伏安特性曲线中,我们规定,当门极断开,晶闸管处在额定结温时,允许重复加在管子上的正向峰值电压为晶闸管的正向断态重复峰值电压,用 U_{DRM} 表示。它是由伏安特性曲线中的正向转折电压 U_{BO} 减去一定裕量,成为晶闸管的正向断态不重复峰值电压 U_{DSM} ,然后再乘以 90%而得到的。至于正向断态不重复峰值电压 U_{DSM} 与正向转折电压 U_{BO} 的差值,则由生产厂家自定。这里需要说明的是,晶闸管正向工作时有两种工作状态:阻断状态简称断态;导通状态简称通态。参数中提到的断态和通态一定是正向的,因此,参数名中的“正向”两字可以省去,即称为断态重复峰值电压。

2) 反向断态重复峰值电压 U_{RRM}

类似的,我们规定当门极断开,晶闸管处在额定结温时,允许重复加在管子上的反向峰值电压为晶闸管的反向断态重复峰值电压,用 U_{RRM} 表示。它是由伏安特性中的反向击穿电压 U_{RO} 减去一定裕量,成为晶闸管的反向断态不重复峰值电压 U_{RSM} ,然后再乘以 90%而得到的。至于反向断态不重复峰值电压 U_{RSM} 与反向转折电压 U_{RO} 的差值,则由生产厂家自定。一般晶闸管若承受反向电压,它一定是阻断的,因此,参数名中的“断态”两字可以省去,即称为反向重复峰值电压。

3) 额定电压 U_{Te}

将 U_{DRM} 和 U_{RRM} 中的较小值按百位取整后作为该晶闸管的额定值。例如:一晶闸管实测 $U_{\text{DRM}}=812\text{V}$, $U_{\text{RRM}}=756\text{V}$,将两者较小的 756V 按表 1-1 百位取整得 700V,因此该晶闸管的额定电压为 700V。

在晶闸管的铭牌上,额定电压是以电压等级的形式给出的,通常标准电压等级规定为:电压在 1000V 以下时,每 100V 为一级;电压在 1000~3000V 时,每 200V 为一级,用百位数或千位和百位数表示级数。晶闸管正、反向电压等级如表 1-1 所示。

表 1-1 晶闸管正、反向电压等级

级 别	正、反向重复峰值电压 /V	级 别	正、反向重复峰值电压 /V	级 别	正、反向重复峰值电压 /V
1	100	8	800	20	2000
2	200	9	900	22	2200
3	300	10	1000	24	2400
4	400	12	1200	26	2600
5	500	14	1400	28	2800
6	600	16	1600	30	3000
7	700	18	1800		

在使用过程中,环境温度的变化、散热条件以及出现的各种过电压都会对晶闸管产生影响,因此在选择管子的时候,应当使晶闸管的额定电压为实际工作时可能承受的最大电

压 U_{TM} 的 2~3 倍, 即

$$U_{Te} \geq (2 \sim 3) U_{TM} \quad (1-1)$$

4) 通态平均电压 $U_{T(AV)}$

在规定环境温度、标准散热条件下, 元件通以额定电流时, 阳极和阴极间电压降的平均值, 称为通态平均电压(一般称管压降), 其数值按表 1-2 所示进行分组。从减小损耗和元件发热来看, 应选择 $U_{T(AV)}$ 较小的管子。实际当晶闸管流过较大的恒定直流电流时, 其通态平均电压比元件出厂时定义的值(见表 1-2)要大, 约为 1.5V。

表 1-2 晶闸管通态平均电压分组

组 别	A	B	C	D	E
通态平均电压 /V	$U_T \leq 0.4$	$0.4 < U_T \leq 0.5$	$0.5 < U_T \leq 0.6$	$0.6 < U_T \leq 0.7$	$0.7 < U_T \leq 0.8$
组 别	F	G	H	I	
通态平均电压 /V	$0.8 < U_T \leq 0.9$	$0.9 < U_T \leq 1.0$	$1.0 < U_T \leq 1.1$	$1.1 < U_T \leq 1.2$	

2. 晶闸管的电流参数

1) 额定电流 $I_{T(AV)}$

由于整流设备的输出端所接负载常用平均电流来表示, 所以晶闸管额定电流的标定与其他电器设备不同, 采用的是平均电流, 而不是有效值, 又称为通态平均电流。所谓通态平均电流是指在环境温度为 40°C 和规定的冷却条件下, 晶闸管在导通角不小于 170° 的电阻性负载电路中, 当不超过额定结温且稳定时, 所允许通过的工频正弦半波电流的平均值。将该电流按晶闸管标准电流系列取值(见表 1-3), 称为晶闸管的额定电流, 用 $I_{T(AV)}$ 表示。

但是决定晶闸管结温的是管子损耗的发热效应, 表征热效应的电流是以有效值 I_T 表示的, 两者的关系为

$$I_T = 1.57 I_{T(AV)} \quad (1-2)$$

如额定电流为 100A 的晶闸管, 其允许通过的电流有效值为 157A。

由于电路不同、负载不同、导通角不同, 流过晶闸管的电流波形不一样, 从而它的电流平均值和有效值的关系也不一样。在实际选择晶闸管时, 额定电流的确定一般遵循以下原则: 管子在额定电流时的电流有效值大于其所在电路中可能流过的最大电流的有效值, 同时取 1.5~2 倍的余量, 即

$$1.57 I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) I_T \quad (1-3)$$

所以

$$I_{T(AV)} \geq (1.5 \sim 2) \frac{I_T}{1.57} \quad (1-4)$$

例 1-1 一晶闸管接在 220V 交流电路中, 通过晶闸管的电流有效值为 50A, 问如何选择晶闸管的额定电压和额定电流?

解: 晶闸管额定电压为

$$U_{Te} \geq (2 \sim 3)U_{TM} = (2 \sim 3)\sqrt{2} \times 220 = 622 \sim 933(\text{V})$$

按晶闸管参数系列取 800V, 即 8 级。

晶闸管的额定电流为

$$I_{T(AV)} \geq (1.5 \sim 2) \frac{I_T}{1.57} = (1.5 \sim 2) \times \frac{50}{1.57} = 48 \sim 64(\text{A})$$

按晶闸管参数系列取 50A。

2) 维持电流 I_H

在室温下, 门极断开时, 元件从较大的通态电流降到刚好能保持导通的最小阳极电流称为维持电流 I_H 。维持电流与元件容量、结温等因素有关, 额定电流大的管子, 其维持电流也大, 同一管子结温低时维持电流增大, 维持电流大的管子容易关断。同一型号的管子, 其维持电流也各不相同。

3) 擎住电流 I_L

给晶闸管加上触发电压, 当元件从阻断状态刚转为导通状态时就会去除触发电压, 此时要保持元件持续导通所需要的最小阳极电流称为擎住电流 I_L 。对同一个晶闸管来说, 通常擎住电流比维持电流大数倍。

4) 断态重复峰值电流 I_{DRM} 和反向重复峰值电流 I_{RRM}

I_{DRM} 和 I_{RRM} 分别是对应于晶闸管断态重复峰值电压 U_{DRM} 和反向重复峰值电压 U_{RRM} 时的峰值电流。它们都应不大于表 1-3 中所规定的数值。

5) 浪涌电流 I_{TSM}

I_{TSM} 是一种由于电路异常情况(如故障)引起的并使结温超过额定结温的不重复性最大正向过载电流。其用峰值表示。

3. 门极参数

1) 门极触发电流 I_{GT}

室温下, 在晶闸管的阳极-阴极加上 6V 的正向阳极电压, 管子由断态转为通态所必需的最小门极电流, 称为门极触发电流 I_{GT} 。

2) 门极触发电压 U_{GT}

产生门极触发电流 I_{GT} 所必需的最小门极电压, 称为门极触发电压 U_{GT} 。

为了保证晶闸管的可靠导通, 通常采用实际的触发电流比规定的触发电流大。

4. 动态参数

1) 断态电压临界上升率 du/dt

du/dt 是在额定结温和门极开路的情况下, 不导致晶闸管从断态到通态转换的最大阳极电压上升率。实际使用时的电压上升率必须低于此规定值(见表 1-3)。

限制元件正向电压上升率的原因是: 在正向阻断状态下, 反偏的 J_2 结相当于一个结电容, 如果阳极电压突然增大, 便会有一充电电流流过 J_2 结, 相当于有触发电流。若 du/dt 过大, 即充电电流过大, 就会造成晶闸管的误导通。所以在使用时, 须采取保护措施, 使它不超过规定值。

2) 通态电流临界上升率 di/dt

di/dt 是在规定条件下, 晶闸管能承受而无有害影响的最大通态电流上升率。

如果阳极电流上升太快, 则晶闸管刚一开通时, 会有很大的电流集中在门极附近的小区域内, 造成 J_2 结局部过热而使晶闸管损坏。因此, 在实际使用时要采取保护措施, 使其被限制在允许值内。

5. 晶闸管的型号

根据国家的有关规定, 普通晶闸管的型号含义如图 1-6 所示。

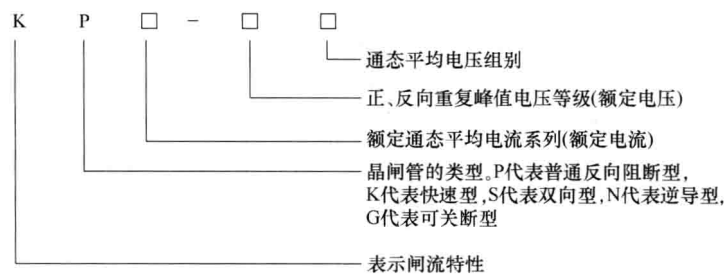


图 1-6 普通晶闸管的型号含义

晶闸管的型号种类繁多, 了解其特性与参数是正确使用晶闸管的前提。表 1-3 中列出了几种晶闸管的特性与参数。

表 1-3 晶闸管的主要参数

型 号	通态平均 电流 /A	通态 峰值 电压 /V	断态 正、反 向重复 峰值电 流/mA	断态正、反 向重复峰 值电压/V	门级 触发 电流 /mA	门级 触发 电压 /V	断态电压临 界上升率 /(V/ μ s)	推荐 用散 热器	安装力 /kN	冷却方式
KP5	5	≤ 2.2	≤ 8	100~2000	<60	<3	—	SZ14	—	自然冷却
KP10	10	≤ 2.2	≤ 10	100~2000	<100	<3	250~800	SZ15	—	自然冷却
KP20	20	≤ 2.2	≤ 10	100~2000	<150	<3	—	SZ16	—	自然冷却
KP30	30	≤ 2.4	≤ 20	100~2400	<200	<3	50~1000	SZ16	—	强迫风冷 水冷
KP50	50	≤ 2.4	≤ 20	100~2400	<250	<3	—	SZ17	—	强迫风冷 水冷
KP100	100	≤ 2.6	≤ 40	100~3000	<250	<3	—	SZ17	—	强迫风冷 水冷
KP200	200	≤ 2.6	≤ 0	100~3000	<350	<3	—	L18	11	强迫风冷 水冷
KP300	300	≤ 2.6	≤ 50	100~3000	<350	<3	—	L18B	15	强迫风冷 水冷
KP500	500	≤ 2.6	≤ 60	100~3000	<350	<3	100~1000	SF15	19	强迫风冷 水冷
KP800	800	≤ 2.6	≤ 80	100~3000	<350	<3	—	SF16	24	强迫风冷 水冷
KP1000	1000	≤ 2.6	≤ 80	100~3000	<350	<4	—	SF16	30	强迫风冷 水冷
KP1500	1500	≤ 2.6	≤ 80	100~3000	<350	<4	—	SS14	43	强迫风冷 水冷
KP2000	2000	≤ 2.6	≤ 80	100~3000	<350	<4	—	SS14	50	强迫风冷 水冷

例 1-2 根据图 1-1(b)所示调光灯电路中的参数, 确定本项目中晶闸管的型号。

解: 第一步: 单相半波可控整流调光灯电路晶闸管可能承受的最大电压为

$$U_{\text{TM}} = \sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \times 220 \approx 311(\text{V})$$

第二步: 考虑 2~3 倍的余量, 有

$$(2 \sim 3)U_{\text{TM}} = (2 \sim 3) \times 311 = 622 \sim 933(\text{V})$$

第三步: 确定所需晶闸管的额定电压等级。

由于电路无储能元器件, 因此选择电压等级为 7 的晶闸管就可以满足正常工作的需要了。

第四步: 根据白炽灯的额定值计算出其阻值的大小, 有

$$R_d = \frac{220^2}{40} = 1210(\Omega)$$

第五步: 确定流过晶闸管电流的有效值。

在单相半波可控整流调光灯电路中, 当 $\alpha=0^\circ$ 时, 流过晶闸管的电流最大, 且电流的有效值为平均值的 1.57 倍。由前面的分析可以得到流过晶闸管的平均电流为

$$\begin{aligned} I_d &= \frac{U_d}{R_d} = 0.45 \frac{U_2(1 + \cos \alpha)}{2R_d} \\ &= 0.45 \times \frac{220}{1210} \\ &= 0.08(\text{A}) \end{aligned}$$

由此可得, 当 $\alpha=0^\circ$ 时流过晶闸管电流的最大有效值为

$$I_{\text{TM}} = 1.57I_d = 1.57 \times 0.08 = 0.126(\text{A})$$

第六步: 确定晶闸管的额定电流 $I_{\text{T(AV)}}$ 。由式(1-4)可知

$$\begin{aligned} I_{\text{T(AV)}} &\geq (1.5 \sim 2) \frac{I_{\text{T}}}{1.57} \\ &= (1.5 \sim 2) \times \frac{0.126}{1.57} \\ &\approx 0.12 \sim 0.16(\text{A}) \end{aligned}$$

由于电路无储能元器件, 因此选择额定电流为 1A 的晶闸管就可以满足正常工作的需要了。

由以上分析可以确定晶闸管应选用的型号为 KP1-7。以上内容及公式请参照本项目“1.3 节单相半波可控整流电路”。

1.2 晶闸管的驱动与保护电路

1.2.1 晶闸管的触发电路

晶闸管触发电路的作用是将控制信号 U_k 转变成延迟角 α (或 β) 信号, 向晶闸管提供门极电流, 决定各个晶闸管的导通时刻。因此, 触发电路与主电路一样是晶闸管装置中的重要