



高职高专“十二五”规划教材——机械电子系列

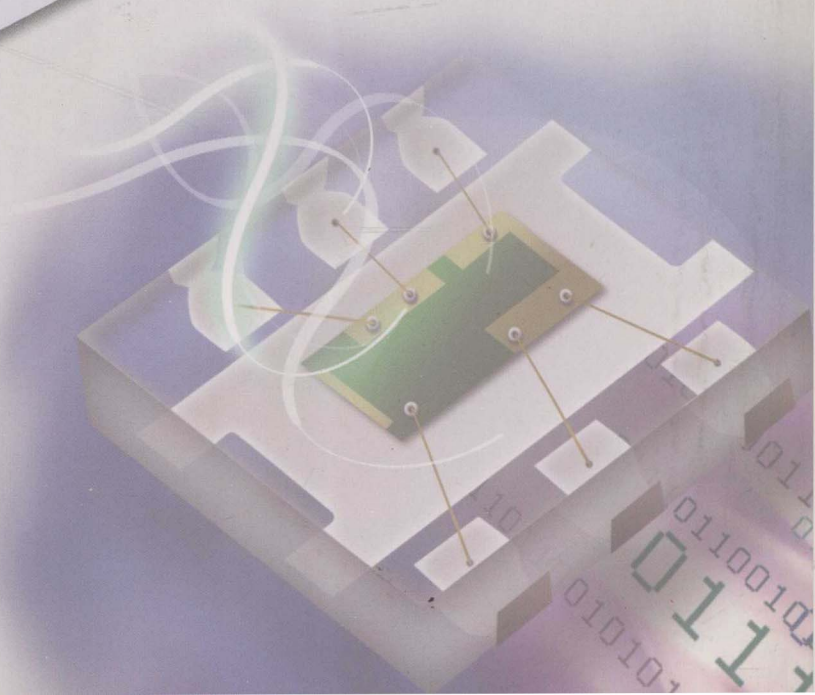
DIAN LI DIAN ZI JI SHU

电力电子技术

李一龙 李景福 ©主编



西苑出版社



高职高专“十二五”规划教材·机械电子系列

电力电子技术

（CIP）图例式编

主 编 李一龙 李景福
 副主编 刘艳华 陈 洁
 佟海霞 赖国兴
 李超娜

常州大学图书馆
 藏书章

地址：常州大学图书馆
 电话：0519-8893150

2011年5月第1次印刷
 ISBN 978-7-80210-921-6
 29.00元



西苑出版社
 XI YUAN PUBLISHING HOUSE

内容简介

全书力求以电力电子技术职业能力需求和毕业生就业岗位的工作特点确定课程目标,根据电力电子技术工作岗位职业能力的形成和认识认知的规律,采用项目或任务驱动、实际操作案例为基本训练素材,结合职业院校的教学实际,分模块组织课程教学内容和进行技能训练,施行“教、学、做”一体化安排,逐步形成高职《电力电子技术》课程的内容体系。本书在编写过程中力求全面体现高职教育的特点。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术 / 李一龙, 李景福主编. -- 北京 :
西苑出版社, 2011.2

ISBN 978-7-80210-921-6

I. ①电… II. ①李…②李… III. ①电力电子学
IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第021873号

电力电子技术

主 编 李一龙 李景福

出版发行 西苑出版社

通讯地址 北京市海淀区阜石路15号 邮政编码: 100143

电 话: 010-88624971 传 真: 010-88637120

网 址 www.xycbs.com E-mail: xycbs8@126.com

印 刷 廊坊市圣轩印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

字 数 320千字

印 张 11.75

版 次 2011年2月第1版

印 次 2011年2月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-80210-921-6

定 价 29.00元

(凡西苑版图书如有缺漏页、残破等质量问题,本社邮购部负责调换)

版权所有 翻印必究

前言

本书遵照教育部关于《加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神,总结多年的课程教学改革研究与实践经验,特别是在基于工作过程的“教、学、做”一体化教学改革与实践的基础上编写而成。全书力求以电力电子技术职业能力需求和毕业生就业岗位的工作特点确定课程目标,根据电力电子技术工作岗位职业能力的形成和认识认知的规律,采用项目或任务驱动、实际操作案例为基本训练素材,结合职业院校的教学实际,分模块组织课程教学内容和进行技能训练,施行“教、学、做”一体化安排,逐步形成高职《电力电子技术》课程的内容体系。本书在编写过程中力求全面体现高职教育的特点。

(1)每一模块前,根据实际工作岗位职业能力需求,提出了教学应达到的能力目标、知识目标,确定了训练项目和训练素材,并在模块后附有知识与技能训练,教师在使用本教材时也可根据实际,另行选择训练项目和素材。

(2)注重技能性和实用性。本书无论是理论部分还是实践操作部分的内容,都是根据实际工作岗位对知识、技能和素质的要求,结合职业资格考证、专业基础知识和解决实际技术问题的需要进行设计安排。内容力求教学与实践的“零距离”,学与做的“零间隙”,技能与上岗的“零过渡”。学生通过学习与实际操作能得到职业能力的锻炼与提高。

(3)不拘形式。教材编写时,打破传统学科知识体系,以电力电子技术职业活动为导向,以电力电子技术工作岗位职业能力为中心整合课程教学内容、构建课程体系。符合教育部有关高职教育教学改革精神,体现了职业技术教育的职业性和应用性的特点。

(4)教学内容以“必需、够用”为原则,不过多追求知识体系的完整性,把编写的侧重点定位在突出实际应用,立足于解决实际问题。

本书由渝州科技学院李一龙院长、郴州职业技术学院李景福副教授主编;由刘艳华、陈洁、佟海霞、赖国兴任副主编;周新梅、陈经艳作了部分项目电路图的修改与绘制。送审稿承蒙郴电国际现场专家、教授级高级工程师张文华同志仔细审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书可作高职和中职院校电类专业、电气自动化类专业及相近专业的教材,也可作为相关专业的工程技术人员及维修电工技能鉴定人员的参考书。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,望读者批评指正。

编者

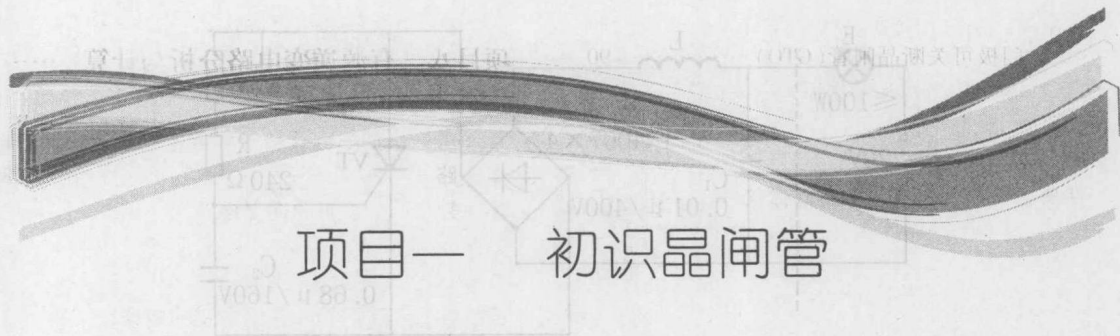
2011年1月

Contents

目 录

项目一 初识晶闸管	1	三、三相半波共阳极整流电路	43
任务一 认识晶闸管的结构和工作原理	2	任务二 认识三相桥式全控整流电路	44
一、晶闸管的结构	2	一、电阻性负载	44
二、晶闸管的工作原理	3	二、电感性负载	48
任务二 掌握晶闸管的特性和主要参数	4	任务三 认识变压器漏电感对整流电路的影响	50
一、晶闸管的特性	4	一、换相期间的输出电压	50
二、晶闸管的主要参数	6	二、换相重叠角 γ	51
任务三 晶闸管的型号、选择原则和简单测试	10	三、可控整流电路的外特性	52
一、普通晶闸管的型号	10	四、变压器漏抗对整流电路的其他影响	53
二、普通晶闸管的选择原则	10	任务四 高压直流输电	53
三、用万用表进行晶闸管的简单测试方法	11	项目四 GTO 斩波电路分析	58
四、晶闸管使用注意事项	11	任务一 了解直流电压变换电路的工作原理及分类	59
任务四 晶闸管的保护与容量扩展	12	一、直流电压变换电路的工作原理	59
一、晶闸管保护电路	12	二、直流电压变换电路的分类	60
二、电流上升率、电压上升率的抑制保护	14	任务二 认识降压式和升压式直流变换电路	61
三、晶闸管的容量扩展	14	一、降压直流变换电路	61
任务五 晶闸管的派生器件	15	二、升压直流变换电路	64
一、逆导晶闸管	15	任务三 认识升降压直流变换电路	66
二、快速晶闸管	16	项目五 单结晶体管及其应用	73
三、光控晶闸管	16	任务一 了解对触发电路的要求	74
项目二 晶闸管在单相整流电路中的应用	19	任务二 认识单结晶体管触发电路	75
任务一 单相半波可控整流电路	21	一、单结晶体管	75
一、电阻性负载	21	任务三 认识同步电压为锯齿波的触发电路	77
二、电感性负载	22	任务四 了解数字触发电路	80
任务二 认识单相桥式全控整流电路	25	项目六 电力二极管及其应用	84
一、电阻性负载	25	任务一 认识电力晶体管(GTR)	87
二、电感性负载	27	一、电力晶体管概述	87
三、带反电动势负载	30	二、电力晶体管结构和工作原理	87
任务三 认识单相桥式半控整流电路	31	三、GTR 的基本特性	88
项目三 晶闸管三相整流电路	37	四、GTR 的主要参数	89
任务一 认识三相半波整流	38	五、GTR 的二次击穿现象与安全工作区	89
一、电阻性负载	38		
二、电感性负载	41		

任务二 认识门极可关断晶闸管	90	五、PWM 变频电路的优点	125
一、门极可关断晶闸管(GTO)	90	项目八 有源逆变电路分析与计算	128
二、GTO 的结构和工作原理	90	任务一 初识绕线转子异步电动机串级调速电	130
三、GTO 的特性	92	路	130
四、GTO 的主要参数	92	任务二 认识有源逆变电路	132
任务三 认识电力场效应晶体管	93	一、有源逆变电路	132
一、功率场效应晶体管(Power MOSFET)	93	二、实现有源逆变的条件	134
二、功率 MOSFET 的结构	93	任务三 认识三相有源逆变的电路	134
三、功率 MOSFET 的工作原理	93	一、三相半波有源逆变电路	135
四、电力 MOSFET 的基本特性	94	二、三相全控桥有源逆变电路	136
五、功率 MOSFET 的主要参数	95	任务四 了解逆变失败与逆变角的限制	137
任务四 认识绝缘栅双极型晶体管	96	一、逆变失败的原因	137
一、IGBT 的结构和工作原理	96	二、最小逆变角 β 的限制	138
二、IGBT 的基本特性	97	任务五 了解脉宽调制技术	138
三、IGBT 的主要参数	97	一、PWM 控制的概念	138
任务五 其它新型电力电子器件	98	二、PWM 控制的基本原理	138
一、静电感应晶体管(SIT)	98	三、PWM 逆变电路及其控制方法	139
二、静电感应晶闸管(SITH)	99	项目九 电子变压器	146
任务六 典型全控电力电子器件的驱动	100	任务一 了解交流开关及其应用电路	148
一、GTO 的门极驱动电路	100	一、晶闸管交流开关的结构及触发形式	148
二、GTR 的基极驱动电路及其保护电路	100	二、由过零触发开关电路组成的单相交流调	149
三、P-MOSFET 的栅极驱动电路	102	功器	149
四、IGBT 的栅极驱动电路及其保护	103	三、固态开关	149
项目七 变频电路分析与应用	107	任务二 认识单相交流调压电路	151
任务一 了解变频电路的工作原理	108	一、电阻性负载单相交流调压	151
一、变频电路的作用	108	二、电感性负载单相交流调压	152
二、变频电路基本原理	109	三、相位控制器调压电路	155
三、变频电路的换流方式	111	任务三 认识三相交流调压电路	156
任务二 认识常用变频电路	112	一、三相全波相位控制 Y 连接的交流调压电	156
一、电流型变频电路	112	路	156
二、电压型变频电路	114	二、晶闸管与负载连接成内三角形的三相交	159
任务三 认识单相无源逆变电路	115	流调压电路	159
一、逆变器的工作原理	115	项目十 电力电子技术的典型应用	164
二、电压型单相半桥逆变电路	115	任务一 软开关技术应用	165
三、电流型单相全桥逆变电路	116	一、软开关的基本概念	165
任务四 认识三相无源逆变电路	118	二、软开关电路的分类	166
一、电压型三相桥式逆变电路	118	三、典型的软开关电路	168
二、电流型三相桥式逆变电路	120	任务二 晶闸管直流调速系统应用	174
任务五 脉宽调制(PWM)型变频电路	122	任务三 开关稳压电源的应用	176
一、脉宽调制变频电路的工作原理	122	一、开关稳压电源的工作原理	176
二、脉宽调制的控制方式	123	二、隔离式高频变换电路	176
三、单相 PWM 变频电路	124		
四、三相桥式 PWM 变频电路	125		



项目一 初识晶闸管

【能力目标】

1. 能绘制小功率白炽灯调光电路简图
2. 能用万用电表判断晶闸管极性和进行简单的测试
3. 能认识和安装各种外形结构的晶闸管
4. 能根据实际电路要求正确选择晶闸管
5. 能选择恰当的晶闸管电路保护方式和方法

【知识目标】

1. 掌握晶闸管的结构、型号和主要参数
2. 掌握晶闸管的工作原理和主要工作特点
3. 知道晶闸管保护电路的工作原理与扩容方法

【训练素材】

各种外形结构的晶闸管、二极管、电容器、电阻器、电感器、白炽灯、万用表、电工常用工具、电路安装板。

学习导航

晶闸管在白炽灯调光电路中的应用案例

一、白炽灯调光电路简介

图 1-1 所示是一种简单的小功率白炽灯调光电路图。电路采用 220V 交流电源供电, E 为白炽灯, L 为电感线圈, VD1 ~ VD4 是整流二极管, C_1 、 C_2 为电容器, R_p 为电位器, VT 为晶闸管。

电路的调光功能。将电位器 R_p 的阻值调小时, 晶闸管 (VT) 的导通角增大, 灯光亮度增强; 阻值调大时, 晶闸管 (VT) 的导通角减小, 灯光亮度减弱。

二、安装步骤

- (1) 根据图 1-1 小功率白炽灯调光电路, 列出所需原器件名称及其参数;
- (2) 以小组为单位, 分别领取制作本电路所需器材及其工具;

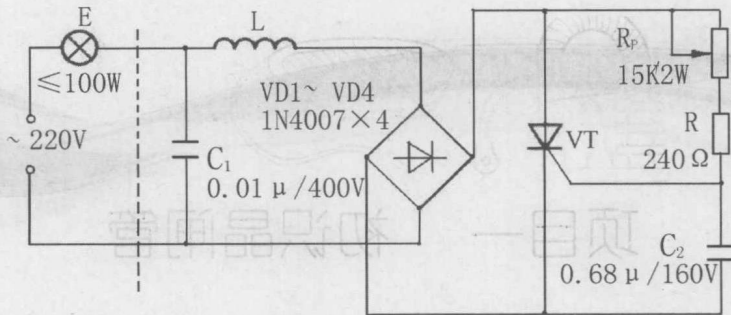


图 1-1 小功率白炽灯调光电路

- (3) 各小组用万用电表对原器件进行简单的质量测试，并做好测试记录（表格自拟）；
- (4) 根据实验电路图，在电路安装板上接好实验电路；
- (5) 在教师的指导下，检查电路连接情况，观察白炽灯发光的情况；
- (6) 将 R_p 调到最大值，逐步调节 R_p 观察白炽灯发光的情况，并作好记录。

三、安装小功率白炽灯调光电路注意事项

- (1) 本实验采用工频 220 伏电源供电，电路连接与操作应遵守用电安全规程。
- (2) 电路连接时，应注意二极管和晶闸管的极性。

任务一 认识晶闸管的结构和工作原理

为什么电位器的调节就直接影响了灯光的亮度呢？其实这与晶闸管的特性有密切的关系。晶闸管被广泛应用于各种电子设备和电子产品中，多用来作可控整流、逆变、变频、调压、无触点开关等。家用电器中的调光灯、调速风扇、空调机、电视机、电冰箱、洗衣机、照相机、组合音响、声光电路、定时控制器、玩具装置、无线电遥控、摄像机及工业控制等都大量使用了晶闸管（可控硅）。下面我们一起来认识一下晶闸管。

一、晶闸管的结构

晶闸管是一种大功率半导体器件，它分为半控型（SCR）和全控型（GTO）。上述电路所用晶闸管属于半控型晶闸管（SCR）。它的内部是 PNP 的四层结构，形成了三个 PN 结（ J_1 、 J_2 、 J_3 ），并对外引出三个电极。其外形、结构和图形符号如图 1-2 所示。

由最外部的 P_1 层和 N_2 层引出的两个电极，分别为阳极 A 和阴极 K。由中间 P_2 层引出的电极是门极 G，也称控制极。

晶闸管的外形有塑封式、螺栓式、平板式等，如图 1-2 所示。常用的螺栓式、平板式两种外形。晶闸管在工作过程中会因损耗而发热，因此必须安装散热器。螺栓式晶闸管是靠阳极（螺栓）拧紧在铝制散热器上，可自然冷却；平板式晶闸管由两个相互绝缘的散热器夹紧晶闸管，靠冷风冷却。额定电流大于 200A 的晶闸管采用平板式外形结构。此外，晶闸管的冷却方式还有水冷、油冷等。

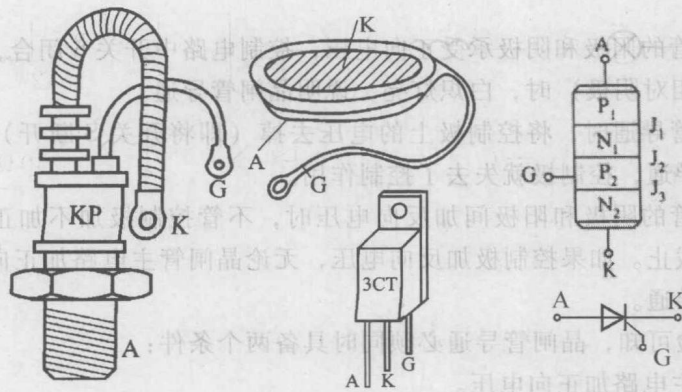


图 1-2 晶闸管的外形、结构和图形符号

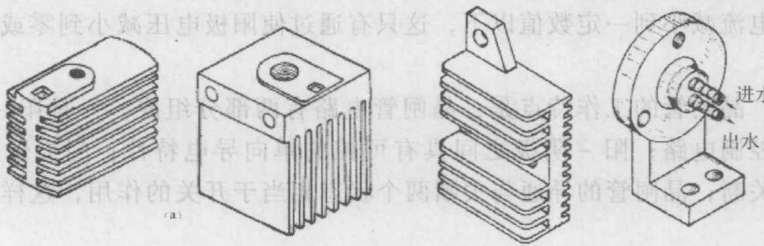


图 1-3 晶闸管的外形、结构和图形符号

晶闸管的常用封装形式有 TO-92、TO-126、TO-202AB、TO-220、TO-220AB、TO-3P、SOT-89、TO-251、TO-252 等。

二、晶闸管的工作原理

下面通过图 1-4 所示的电路来说明晶闸管的工作原理。在该电路中，由电源 E_a 、晶闸管的阳极和阴极、白炽灯组成晶闸管主电路；由电源 E_g 、开关 S，晶闸管的门极和阴极组成控制电路（触发电路）。

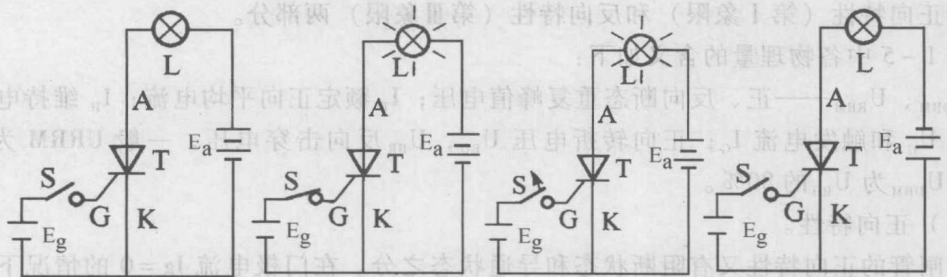


图 1-4 晶闸管导通实验电路图

实验步骤及结果说明如下：
 (1) 将晶闸管的阳极 A 接电源 E_a 的正极，阴极 K 经白炽灯接电源的负极，此时晶闸管承受正向电压。当控制电路中的开关 S 断开时，白炽灯不亮，说明晶闸管不导通。如图

1-4 所示。

(2) 当晶闸管的阳极和阴极承受正向电压，控制电路中开关 S 闭合，使控制极也加正向电压（控制极相对阴极）时，白炽灯亮，说明晶闸管导通。

(3) 当晶闸管导通时，将控制极上的电压去掉（即将开关 S 断开），白炽灯依然亮，说明一旦晶闸管导通，控制极就失去了控制作用。

(4) 当晶闸管的阴极和阳极间加反向电压时，不管控制极加不加正向电压，灯都不亮，说明晶闸管截止。如果控制极加反向电压，无论晶闸管主电路加正向电压还是反向电压，晶闸管都不导通。

通过上述实验可知，晶闸管导通必须同时具备两个条件：

- (1) 晶闸管主电路加正向电压。
- (2) 晶闸管控制电路加合适的正向电压。

晶闸管一旦导通，门极即失去控制作用，故晶闸管为半控型器件。为使晶闸管关断，必须使其阳极电流减小到一定数值以下，这只有通过使阳极电压减小到零或反向的方法来实现。

综上所述，晶闸管的工作特点是：晶闸管电路有两部分组成，一是阳 - 阴极主电路，二是门 - 阴极控制电路；阳 - 阴极之间具有可控的单向导电特性；门极仅起触发导通作用，不能控制关断；晶闸管的导通与关断两个状态相当于开关的作用，这样的开关又称为无触点开关。

任务二 掌握晶闸管的特性和主要参数

一、晶闸管的特性

1. 晶闸管的伏安特性

晶闸管的伏安特性是指晶闸管阳极与阴极间电压 U_a 晶闸管阳极电流 I_a 之间的关系特性。正确使用晶闸管必须要了解其伏安特性。图 1-5 所示即为晶闸管阳极伏安特性曲线，它包括正向特性（第 I 象限）和反向特性（第 III 象限）两部分。

图 1-5 中各物理量的含义如下：

U_{DRM} 、 U_{RRM} ——正、反向断态重复峰值电压； I_T 额定正向平均电流； I_H 维持电流；触发电压 U_C 和触发电流 I_C ；正向转折电压 U_{BO} ， U_{BR} 反向击穿电压，一般 $URRM$ 为 U_{BR} 的 80%， U_{DRM} 为 U_{BO} 的 80%。

(1) 正向特性。

晶闸管的正向特性又有阻断状态和导通状态之分。在门极电流 $I_g = 0$ 的情况下，逐渐增大晶闸管的正向阳极电压，这时晶闸管处于断态，只有很小的正向漏电流；随着正向阳极电压的增加，当达到正向转折电压 U_{BO} 时，漏电流突然剧增，特性从正向阻断状态突变为正向导通状态。导通状态时的晶闸管状态和二极管的正向特性相似，即流过较大的阳极电流，而晶闸管本身的压降却很小。正常工作时，不允许把正向阳极电压加到转折值 U_{BO} ，而是从门极输入触发电流 I_g ，使晶闸管导通。门极电流愈大，阳极电压转折点愈低。晶闸

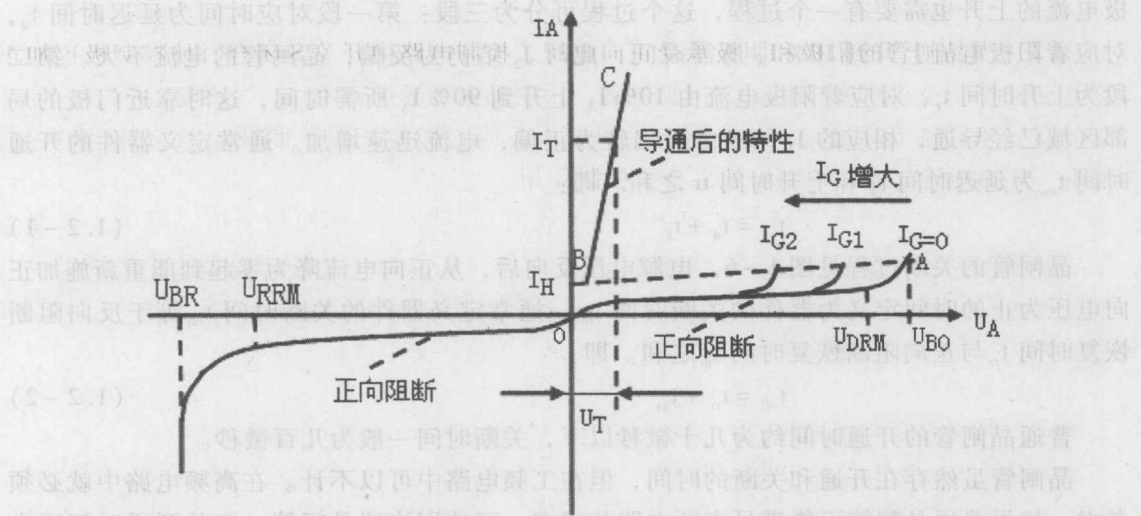


图 1-5 晶闸管阳极伏安特性曲线

管正向导通后，要使晶闸管恢复阻断，只有逐步减少阳极电流。当 I_A 小到等于维持电流 I_H 时，晶闸管由导通变为阻断。维持电流 I_H 是维持晶闸管导通所需的最小电流。

(2) 反向特性。

晶闸管的反向特性是指晶闸管的反向阳极电压（阳极相对阴极为负电位）与阳极漏电流的伏安特性。当晶闸管承受反向阳极电压时，晶闸管总是处于阻断状态。当反向电压增加到一定数值时，反向漏电流增加较快；在继续增大反向阳极电压，会导致晶闸管反向击穿，造成晶闸管的损坏。

2. 晶闸管的开关特性

晶闸管的开关特性如图 1-6 所示。

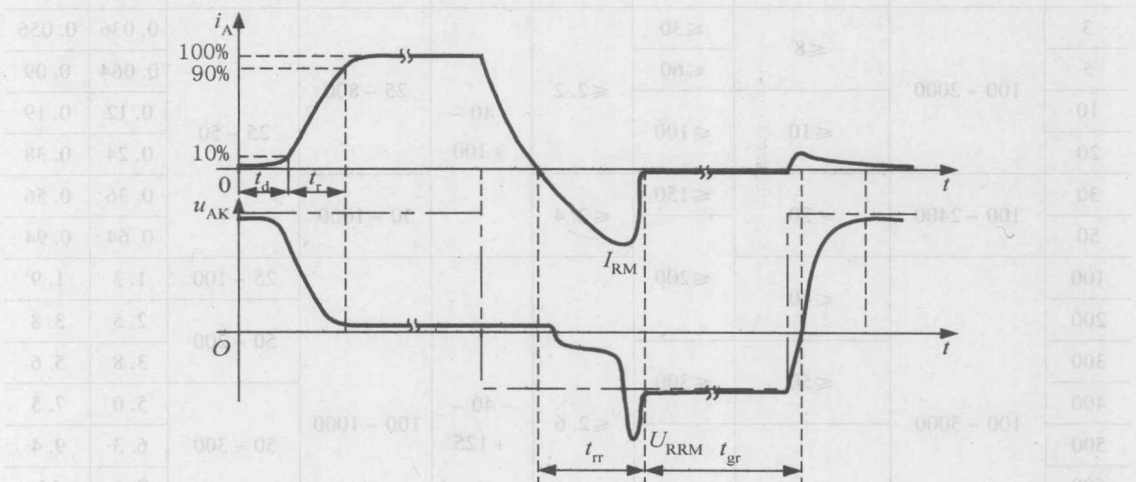


图 1-6 晶闸管的开关特性

晶闸管的开通不是瞬间完成的，开通时阳极与阴极两端的电压有一个下降过程，而阳

极电流的上升也需要有一个过程，这个过程可分为三段：第一段对应时间为延迟时间 t_d ，对应着阳极电流上升到 $10\% I_A$ 所需时间，此时 J_2 结仍为反偏，晶闸管的电流不大。第二段为上升时间 t_r ，对应着阳极电流由 $10\% I_A$ 上升到 $90\% I_A$ 所需时间，这时靠近门极的局部区域已经导通，相应的 J_2 结已由反偏转为正偏，电流迅速增加。通常定义器件的开通时间 t_{on} 为延迟时间 t_d 和上升时间 t_r 之和。即：

$$t_{on} = t_d + t_r \quad (1.2-1)$$

晶闸管的关断过程见图 1-6。电源电压反向后，从正向电流降为零起到能重新施加正向电压为止的时间定义为器件的关断时间 t_{off} 。通常定义器件的关断时间 t_{off} 等于反向阻断恢复时间 t_{rr} 与正向阻断恢复时间 t_{gr} 之和。即：

$$t_{off} = t_{rr} + t_{gr} \quad (1.2-2)$$

普通晶闸管的开通时间约为几十微秒以下，关断时间一般为几百微秒。

晶闸管虽然存在开通和关断的时间，但在工频电路中可以不计。在高频电路中就必须考虑，如果普通晶闸管不能满足高频电路的要求，可选用快速晶闸管，它的开通时间通常在 $1\mu s$ 左右。

二、晶闸管的主要参数

表 1-1 晶闸管的主要参数

通态平均电流 $I_T(AV)$	断态正反向 重复峰值电压		断态正反向 重复峰值电流		维持 电流 I_H	通态峰 值电压 U_{Tm}	工作 结温 T_j	断态电压 临界上升率 du/dt	通态电流 临界上升率 di/dt	浪涌电流 I_{Tsm}			
	U_{DRM}	U_{RRM}	I_{DRM}	I_{RRM}						L 级	H 级		
A	V		mA		mA	V	℃	V/ μs	A/ μs	kA			
1	50 ~ 1600		≤ 3		≤ 1	≤ 2.0	-40 ~ +100	25 ~ 800	25 ~ 50	L 级	H 级		
3	100 ~ 2000		≤ 8		≤ 30	≤ 2.2				50 ~ 1000	25 ~ 100	0.12	0.20
5			≤ 10		≤ 60							0.036	0.056
10			≤ 10		≤ 100							0.064	0.09
20	100 ~ 2400		≤ 20		≤ 150	≤ 2.4	100 ~ 1000	25 ~ 100	0.12			0.19	
30			≤ 20		≤ 150				0.24	0.38			
50			≤ 20		≤ 150				0.36	0.56			
100	100 ~ 3000		≤ 40		≤ 200	≤ 2.6			-40 ~ +125	100 ~ 1000	50 ~ 100	1.3	1.9
200			≤ 40		≤ 200		50 ~ 200	2.5			3.8		
300			≤ 50		≤ 300		50 ~ 200	3.8			5.6		
400			≤ 50		≤ 300		50 ~ 300	5.0			7.5		
500			≤ 50		≤ 300		50 ~ 300	6.3			9.4		
600			≤ 50		≤ 300		50 ~ 300	7.6			11		
800			≤ 50		≤ 300		50 ~ 300	10			15		
1000	≤ 50		≤ 300	50 ~ 300	13	18							

表 1-2 晶闸管的断态正反向重复峰值电压标准等级

级别	断态正反向 重复峰值电压/V	级别	断态正反向 重复峰值电压/V	级别	断态正反向 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		

1. 额定电压 U_{tn}

(1) 正向重复峰值电压 UDRM。

在门极断路和晶闸管正向阻断的条件下，可重复加在晶闸管两端的正向峰值电压称为正向重复峰值电压 UDRM。一般规定此电压为正向不重复峰值电压 UDSM 的 80%。

(2) 反向重复峰值电压 URRM。

在门极断路时，可以重复加在晶闸管两端的反向峰值电压称为反向重复峰值电压 URRM。此电压取反向不重复峰值电压 URSM 的 80%。

(3) 额定电压 U_{tn} 。

晶闸管的额定电压则取 UDRM 和 URRM 的较小值，且靠近标准电压等级所对应的电压值。例如，某晶闸管实测 UDRM = 734V，URRM = 810V，取两者其中小的数值 734V，按表 1-2 只能取 700V，作为该晶闸管的额定电压 700V 即 7 级。

2. 额定电流 $I_{T(AV)}$

晶闸管的额定电流 $I_{T(AV)}$ 是指在环境温度为 +40℃ 和规定的散热条件下，晶闸管在电阻性负载的单相、工频（50Hz）、正弦半波（导通角不小于 170°）的电路中，结温稳定在额定值 125℃ 时所允许的通态平均电流。

值得注意的是，晶闸管是以电流的平均值而非有效值作为它的电流定额，这是因为晶闸管较多用于可控整流电路，而整流电路往往按直流平均值来计算。

然而，在实际应用中，限制晶闸管最大电流的是晶闸管的工作温度。而晶闸管的工作温度主要由电流的有效值决定，因此需将额定电流 $I_{T(AV)}$ 换算成额定电流有效值 I_{Tn} 。

根据晶闸管额定电流 $I_{T(AV)}$ 的定义，设流过管子的正弦半波电流的最大值为 I_m 。依据电流平均值、有效值的定义（导通角不小于 170°），则：

$$\text{额定电流} \quad I_{T(AV)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi} \quad (1.2-3)$$

$$\text{电流有效值} \quad I_{Tn} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{2} \quad (1.2-4)$$

现定义电流有效值与电流平均值之比为电流的波形系数。则管子的电流的波形系数为

$$K_f = \frac{I_{Tn}}{I_{T(AV)}} = \frac{\pi}{2} = 1.57 \quad (1.2-5)$$

式中, K_f 为波形系数。不同的电流波形有不同的平均值与有效值, 波形系数 K_f 也不同。

该式表明, 额定电流为 $I_{T(AV)}$ 的晶闸管可以流过 $1.57 I_{T(AV)}$ 的正弦半波有效值电流。在实际应用中, 不论流过晶闸管的电流波形如何, 导通角有多大, 只要流过元件的实际电流最大有效值小于或等于管子的额定有效值, 且散热条件符合规定, 管芯的发热就能限制在允许范围内。

3. 通态平均电压 $U_{T(AV)}$

指在额定通态平均电流和稳定结温下, 晶闸管阳极和阴极间电压的平均值, 一般称为管压降。其范围为 $0.4 \sim 1.2V$ 之间。

表 1-3 晶闸管通态平均电压组别

通态平均电压	$U_{T(AV)} \leq 0.4V$	$0.4V < U_{T(AV)} \leq 0.5V$	$0.5V < U_{T(AV)} \leq 0.6V$	$0.6V < U_{T(AV)} \leq 0.7V$	$0.7V < U_{T(AV)} \leq 0.8V$
组别代号	A	B	C	D	E
通态平均电压	$0.8V < U_{T(AV)} \leq 0.9V$	$0.9V < U_{T(AV)} \leq 1.0V$	$1.0V < U_{T(AV)} \leq 1.1V$	$1.1V < U_{T(AV)} \leq 1.2V$	
组别代号	F	G	H	I	

4. 维持电流 I_H

在室温且门极断开时, 晶闸管从较大的通态电流降至刚好能保持元件导通所必须的最小通态电流称为维持电流 I_H 。

维持电流与晶闸管容量、结温等因素有关, 晶闸管的额定电流愈大, 维持电流也愈大。结温低, 维持电流就大。维持电流大的晶闸管容易关断。通常在晶闸管的铭牌上标明了常温下 I_H 的实测值。

5. 擎住电流 I_L

给晶闸管门极加上触发电压, 当元件刚从阻断状态转为导通状态时就撤除触发电压, 此时元件维持导通所需要的最小阳极电流称为擎住电流 I_L 。对同一晶闸管来说, 擎住电流 I_L 比维持电流 I_H 大 $2 \sim 4$ 倍。

6. 通态电流临界上升率 di/dt

门极流入触发电流后, 晶闸管开始只在靠近门极附近的小区域内导通, 随着时间的推移导通区逐渐扩大到 PN 结的全部面积。如果阳极电流上升的太快, 则会导致门极附近的 PN 结因电流密度过大而烧毁, 使晶闸管损坏。

在规定条件下, 由门极触发晶闸管使其导通时, 晶闸管能够承受而不致使损坏的通态电流的最大上升率称为通态通态电流临界上升率 di/dt 。

限制电流上升率的有效办法是串接空芯电感。

表 1-4 通态电流临界上升率 (di/dt) 的级别

$di/dt / (A \cdot \mu s^{-1})$	25	50	100	150	200	300	500
级别	A	B	C	D	E	F	G

7. 断态正向电压临界上升率 du/dt

晶闸管的结面在阻断状态下相当于一个电容，若突然加一正向阳极电压，便会有一个充电电流流过结面，该充电电流流经靠近阴极的PN结时，产生相当于触发电流的作用，如果这个电流过大，将会使元件误触发导通。

把在额定结温和门极断路条件下，使器件从断态转入通态的最低电压上升率称为断态正向电压临界上升率 du/dt 。

为了限制断态电压上升率，可以与元件并联一个阻容支路，利用电容两端电压不能突变的特点来限制电压上升率。另外利用门极的反向偏置也会达到同样的效果。

表 1-5 断态正向电压临界上升率 (du/dt) 的级别

$du/dt / (V \mu s^{-1})$	25	50	100	200	500	800	1000
级别	A	B	C	D	E	F	G

8. 门极触发电流 I_G 和触发电压 U_G

指在室温且阳极电压为 6V 直流电压时，使晶闸管从阻断到完全开通所必须的最小门极直流电流。对应于触发电流的门极电压，称门极触发电压。

同一工厂制造的同一型号晶闸管，其 I_{GT} 和 U_G 也会相差很大。触发电流、电压太大会造成触发困难。晶闸管的门极参数标准值见表 1-6。

表 1-6 晶闸管的门极参数标准值

通态平均 电流 $I_{T(AV)}/A$	门极触发 电流 I_G/mA	门极触发 电压 U_G/V	门极不触发 电压 U_{GD}/V	门极正向 峰值电流 I_{Gm}/A	门极反向 峰值电压 U_{GDm}/V	门极正向 峰值电压 U_{Gm}/V	门极平均 功率 $P_{G(AV)}/W$	门极峰值 功率 P_{Gm}/W			
1	≤ 20	≤ 2.5	≥ 0.2	—	5	6	—	—			
3	≤ 60	≤ 3.0									
5						10					
10	≤ 100	≤ 3.0									
20											
30	≤ 150	≤ 3.5							1	0.5	4
50	≤ 200					2					
100	≤ 250	≤ 3.5				3			2	8	
200											
300	≤ 350	≤ 4.0				4			3	15	
400											
500											
600	≤ 450	≤ 4.0				4			16	4	20
800											
1000											

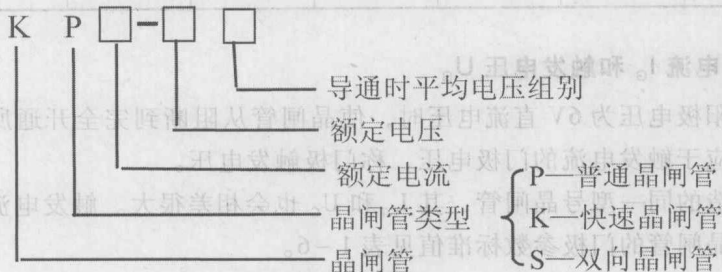
例如，100A 的晶闸管标准规定 U_c 、 I_c 不超过 3.5V、250mA；门极正向峰值电压、电流不大于 10V、2A。使用时为了保证晶闸管可靠触发，应使触发电路输送给门极的电流和电压适当大于标准值，但不应超过标准的峰值。

任务三 晶闸管的型号、选择原则和简单测试

一、普通晶闸管的型号

国产普通晶闸管的型号规定如下：

按国家 JB1144-75 规定，普通晶闸管型号中各部分的含义如下：



如：KP100-12G 表示额定电流为 100A，额定电压为 1200V，管压降为 1V 的普通晶闸管。

二、普通晶闸管的选择原则

1. 选择额定电流 $I_{T(AV)}$ 的原则

在规定的室温和冷却条件下，只要所选管子的额定电流有效值大于等于管子在电路中实际可能通过的最大电流有效值 I_T 即可。考虑元件的过载能力，实际选择时应有 1.5~2 倍的安全与裕量。计算公式为

$$I_{T(AV)} \geq (1.5 \sim 2) \frac{I_T}{1.57} \quad (1.3-1)$$

式中， I_T 为电路中实际可能流过的最大电流有效值。

然后取相应标准系列值。

2. 选择额定电压 U_{Tn} 的原则

选择普通晶闸管额定电压的原则应为管子在所工作的电路中可能承受的最大正反向瞬时值电压 U_{TM} 的 2~3 倍，即

$$U_{Tn} = (2 \sim 3) U_{TM} \quad (1.3-2)$$

例 1-1 一晶闸管接在 220V 交流回路中，通过器件的电流有效值为 100A，问选择什么型号的晶闸管

解：选择晶闸管额定电压

$$U_{Tn} = (2 \sim 3) U_{TM} = (2 \sim 3) \times 220V = 622 \sim 933V$$

按晶闸管参数系列取 800V，即 8 级

选择晶闸管的额定电流

$$I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) I_T / 1.57 = (1.5 \sim 2) \times 100 / 1.57 = 95 \sim 127A$$

按晶闸管参数系列取 100A，所以选取晶闸管型号 KP100-8E

三、用万用表进行晶闸管的简单测试方法

(1) 若从外观上判断，小功率晶闸管的门极比阴极细，大功率晶闸管的门极则用金属编织套引出，像一根辫子。

由晶闸管的结构可知，阴极与门极之间有一个 PN 结，而阳极与门极之间有两个反极性串联的 PN 结。用 $R \times 100$ 档可先判定门极 G。负表笔接某一电极，正表笔依次碰触另外两个电极，假如有一次阻值很小，约几百欧，另一次阻值很大，约几千欧，说明负表笔接的是门极。在阻值小的那次测量中，接正表笔的是阴极 K；阻值大的那一次，正表笔接的是阳极 A。若两次测出的阻值都很大，说明负表笔接的不是门极，应改测其他电极。

(2) 晶闸管好坏的简单判别方法。

根据 PN 结的单向导电原理，对于晶闸管的三个电极，用万用表欧姆档测试器件的三个电极之间的阻值，可初步判断管子是否完好。

① 由于晶闸管在其门极未加触发电压时是关断的，如用万用表 $R \times 1k$ 档测量阳极 A 和阴极 K 之间的电阻，其正、反向电阻应该都很大，在几百欧以上，且正、反向电阻相差很小。

② 用万用表的黑表笔（该端接内部电池的正端）接到阳极，红表笔接到阴极，在这种情况下，将黑表笔移动一点，使其刚好碰到门极上（操作要点是黑表笔固定接在阳极，同时触碰一下门极）。这样，晶闸管将成为导通状态，万用表的表针应该摆动。

③ 用 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 档测量门极 G 和阴极 K 之间的阻值，其正向电阻应小于或接近于反向电阻，这样的晶闸管是好的。

如果阳极与阴极或阳极与门极间有短路，阴极与门极间为短路或断路，则晶闸管是坏的。

四、晶闸管使用注意事项

选用可控硅的额定电压时，应参考实际工作条件下的峰值电压的大小，并留出一定的余量。

(1) 选用可控硅的额定电流时，除了考虑通过元件的平均电流外，还应注意正常工作时导通角的大小、散热通风条件等因素。在工作中还应注意管壳温度不超过相应电流下的允许值。

(2) 使用可控硅之前，应该用万用表检查可控硅是否良好。发现有短路或断路现象时，应立即更换。

(3) 严禁用兆欧表（即摇表）检查元件的绝缘情况。

(4) 电流为 5A 以上的可控硅要装散热器，并且保证所规定的冷却条件。为保证散热器与可控硅管心接触良好，它们之间应涂上一薄层有机硅油或硅脂，以帮于良好的散热。

(5) 按规定对主电路中的可控硅采用过压及过流保护装置。