

电力电子技术及 应用项目教程



曲昀卿 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电力电子技术及应用 项目教程

主 编 曲昀卿

主 审 刘江水 郝敏钗 王金斗

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子技术及应用项目教程 / 曲昀卿主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 10

ISBN 978 - 7 - 5682 - 2391 - 1

I. ①电… II. ①曲… III. ①电力电子技术 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 111556 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13.25

字 数 / 302 千字

版 次 / 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

电力电子技术是电气类、电子信息类和机电类专业的一门重要的专业基础课。本书根据高等院校培养高素质技术技能型人才的目标，结合课程的教学改革，本着工学结合、项目引导、“教学做”一体化的原则编写而成。

本书由行业的专家、企业的技术骨干和高校的一线教师编写，彻底打破了学科的课程体系，打破了理论与实践教学的界线，将企业的真实产品和工作流程转化为教学内容，更适用于“教学做”一体化的教学。与传统的同类教材相比，本书在教学内容选材、设计、组织上都做了较大的改革与尝试，主要有以下三点：

(1) 从教学内容选材看，教学内容源自企业，全书6个项目均以企业的真实产品为载体，项目即为产品，项目下又分任务，每个任务都配有任务工单，通过完成任务工单的形式，让学生掌握专业知识，达到训练其职业能力的目的。

(2) 从教学内容设计看，全书6个项目由浅入深、由易到难，由单一到复杂，层层递进，符合学生的认知规律，能使学生训练得到的职业能力与企业工作岗位紧密接轨。

(3) 从教学组织形式看，教材编写形式更适合“教学做”一体化的教学模式，有助于拉近教学与市场、教学与企业的距离。

全书设有6个项目，项目一为单相交流电动机调速器；项目二为调光灯的安装与调试；项目三为车载逆变器；项目四为电风扇无级调速器；项目五为开关电源；项目六为变频器。6个项目基本覆盖了电力电子技术 AC/DC、DC/AC、DC/DC 和 AC/AC 四个方面的电能转换电路及应用，涉及的电力电子器件有普通晶闸管、双向晶闸管、电力晶体管、功率场效应晶体管和绝缘栅双极型晶体管。各项目内容相对独立，各院校在教学过程中可根据所处地域和当地行业和企业的特点进行适当的选择和组合。

本书由曲昀卿任主编并负责审核、统稿，李英辉、张永生、王丽佳、梁美丽任副主编，张华、梁红硕、李鑫、戴青云、高晓燕、刘秀丽参编。全书由刘江水、郝敏钗和王金斗教授主审。企业提供了本书的部分图稿，并给予了技术支持，在此表示感谢。

本书的编者参阅了许多同行专家的教材和资料，获得不少启发，在此向这些教材和资料的作者也一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

项目一	单相交流电动机调速器	1
任务一	认识电力二极管	2
任务二	认识晶闸管	5
任务三	调速器主电路设计——单相半波可控整流电路	16
任务四	调速器触发电路设计	28
任务五	单相交流电动机调速器的装配与调试	35
自我检测		39
思考与练习		41
项目二	调光灯的安装与调试	43
任务一	认识单结晶体管	44
任务二	调光灯主电路设计	49
任务三	调光灯控制电路设计	60
任务四	调光灯的装配与调试	72
自我检测		78
思考与练习		80
项目三	车载逆变器	82
任务一	车载逆变器原理分析	82
任务二	车载逆变器电路设计	85
自我检测		115
思考与练习		116
项目四	电风扇无级调速器	117
任务一	认识双向晶闸管	117
任务二	交流调压电路	125
任务三	晶闸管交流开关及应用电路	132
任务四	电风扇无级调速控制器的装配与调试	137
自我检测		140
思考与练习		141
项目五	开关电源	143
任务一	认识电力晶体管	143
任务二	认识电力场效应晶体管	149
任务三	DC/DC 变换电路	157
任务四	开关电源的装配与调试	166
自我检测		171
思考与练习		172
项目六	变频器	174
任务一	认识绝缘栅双极晶体管	174

任务二 认识变频电路	182
任务三 脉宽调制 (PWM) 型变频电路	187
任务四 变频器的调试	195
自我检测	204
思考与练习	205
参考文献	206

学习目标

1. 会用万用表检测电力二极管和晶闸管的引脚。
2. 了解电力二极管的导通关断原理。
3. 了解晶闸管的工作原理。
4. 会分析单相半波整流电路。



项目描述

简易单相交流电动机调速器在我们的日常生活中经常用到，其外形如图 1-1 所示。当电扇、台灯、手电钻等需要调速时，都离不开电动机调速器。之前我们学的用电位器调速是有级调速，受挡位限制。单相交流电动机调速器是无级调速，现在它已广泛地应用在日常生活中。

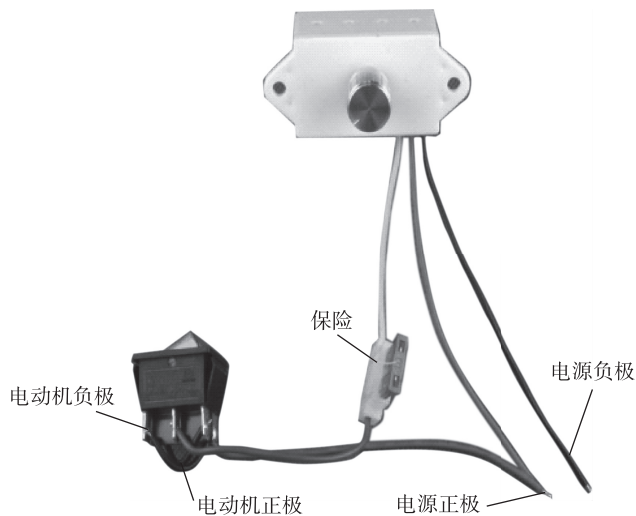


图 1-1 简易单相交流电动机调速器



项目分析

单相交流电动机调速器的电路如图 1-2 所示。若使电动机通电并能调速，需给电路加 220 V 的正弦交流电。当 220 V 正弦交流电为正半波时，经过整流桥电路、可变电阻为电容充电，充电电压经电阻 R_3 、 R_4 分压， R_4 两端的电压满足晶闸管的触发电路后晶闸管导通，电动机通电转动；当 220 V 正弦交流电过零点时，晶闸管两端电压因小于导通维持电压而关断，电动机停转，此时电容放电，一个周期结束。通过调节可变电阻，可改变晶闸管触发导通的时刻，从而对电动机进行调速。

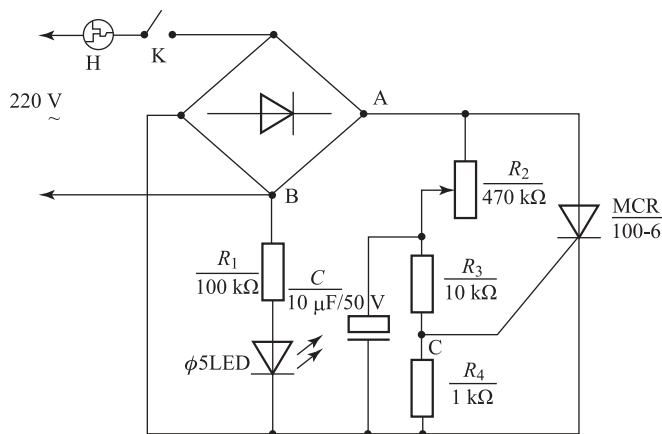


图 1-2 单相交流电动机调速器的电路

知识链接

任务一 认识电力二极管

电力二极管 (Power Diode) 又称为功率二极管或半导体整流器, 如图 1-3 所示, 其在 20 世纪 50 年代初期就获得应用。其由于结构简单、工作可靠, 因此主要用于高电压、大功率及不需要调压的整流场合。

一、电力二极管的结构

电力二极管的基本结构和工作原理与信息电子技术中的二极管一样, 它们都是以半导体 PN 结为基础, 通过扩散工艺制作的, 但是电力二极管功耗较大。电力二极管由一个面积较大的 PN 结和两端引线封装组成。从 PN 结的 P 型端引出的电极称为阳极 A, 从 PN 结的 N 型端引出的电极称为阴极 K。电力二极管的外形、结构和电气图形符号如图 1-4 所示。从外形上看, 电力二极管主要有塑封型、螺栓型和平板型三种封装形式。

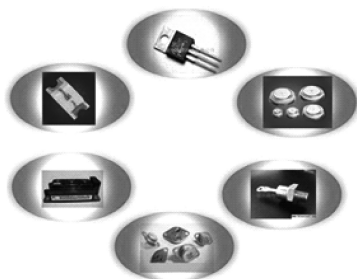


图 1-3 电力二极管

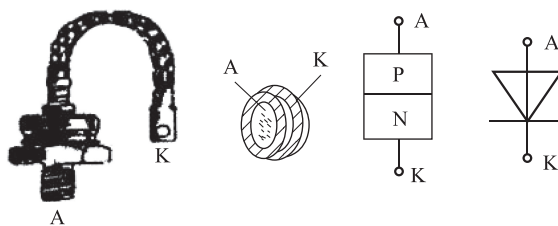


图 1-4 电力二极管的外形、结构和电气图形符号

二、电力二极管的工作原理

当外加电压使电力二极管阳极 A 的电位高于阴极 K 的电位时, 此时的电压称为正向电压, 电力二极管处于正向偏置状态 (简称正偏), PN 结导通。PN 结导通后, PN 结表现

为低阻态，可以流过较大的电流，电力二极管的这种状态称为正向导通状态。

当外加电压使电力二极管阳极 A 的电位低于阴极 K 的电位时，此时的电压称为反向电压，电力二极管处于反向偏置状态（简称反偏），PN 结截止。PN 结截止时，PN 结表现为高阻态，几乎没有电流流过，电力二极管的这种状态称为反向截止状态。电力二极管就是利用单向导电性工作的。

三、电力二极管的伏安特性

电力二极管的阳极和阴极间的电压与流过二极管的电流之间的关系称为伏安特性，其曲线如图 1-5 所示。

正向特性：当外加电压大于门槛电压时，正向电流开始迅速增加，当正向电压大于 1 V 时，二极管开始导通。

反向特性：当电力二极管加上反向电压时，起始段的反向漏电流很小，随着反向电压的增加，反向漏电流略有增大，但当反向电压增加到雪崩击穿电压 U_B 时，PN 结内产生雪崩击穿，反向电流急剧增大，这可导致电力二极管击穿损坏。

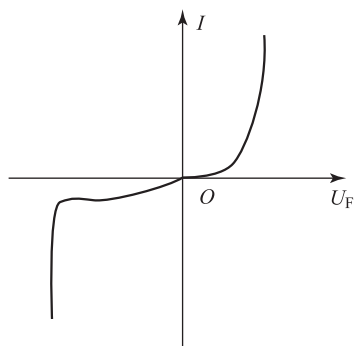


图 1-5 电力二极管的伏安特性曲线

四、电力二极管的主要参数和选用

1. 电力二极管的主要参数

器件参数是定量描述器件性能和安全工作范围的重要数据，是合理选择和正确使用器件的依据。参数一般从产品手册中查到，也可以通过直接测量得到。

(1) 额定电流 I_{Dn} 。指电力二极管长期运行时，在规定的管壳温度和散热条件下，其允许流过的最大工频半波电流的平均值，这也是电力二极管的标称额定电流。在该电流下管子的正向压降造成管子损耗，结温升高不超过最高允许结温。该值是按电流的发热效应定义的，因此，在计算时按有效值相等来选取二极管的电流定额，并留有 1.5 ~ 2 倍的裕量。其计算公式如下：

$$I_{Dn} = (1.5 \sim 2) \frac{I_{Dm}}{1.57}$$

式中 I_{Dm} ——流过电力二极管的最大有效值电流。

(2) 额定电压 U_{Dn} 。指电力二极管在规定温度下，流过某一稳态正向电流时对应的正向压降。有时其参数表中也给出在指定温度下流过某一瞬态正向大电流时功率二极管的最大瞬时正向压降。

(3) 反向重复峰值电压 U_{RRM} 。指对电力二极管所能重复施加的反向最高峰值电压，通常是其雪崩电压的 2/3。使用时，往往按照电路中功率二极管可能承受的反向峰值电压的两倍来选定此参数。

(4) 管压降 U_D 。指二极管在指定温度下，流过某一指定的稳态正向电流时对应的正向压降。有时参数表中也给出在指定温度下流过某一瞬态正向大电流时器件的最大瞬时正向压降。

(5) 反向恢复时间 t_{rr} 。指电力二极管从所施加的反向偏置电流降至零起到恢复反向阻断能力为止的时间。

(6) 浪涌电流 I_{FSM} 。指电力二极管所能承受的最大的连续一个或几个工频周期的过载电流。

2. 电力二极管的选用

(1) 电力二极管的额定电流 I_{Dn} 应满足：

$$I_{Dn} \geq (1.5 \sim 2) \frac{I_{Dm}}{1.57}$$

式中 1.5 ~ 2——安全裕量系数；

I_{Dm} ——流过电力二极管的最大有效值电流，选用时取相应标准系列值。

(2) 电力二极管的反向重复峰值电压应满足：

$$U_{RRM} = (2 \sim 3) U_{Dm}$$

式中 U_{Dm} ——电力二极管可能承受的最大反向电压，选用时取相应标准系列值。

3. 电力二极管的测试

电力二极管的内部结构为 PN 结，因此通过数字万用表的二极管挡就可以判断出电力二极管引脚及其好坏。用红表笔接假设的阳极 A，用黑表笔接假设的阴极 K，若数字显示屏上显示 0.7 V 左右，则表示此接法正确。

4. 电力二极管使用时的注意事项

使用电力二极管时，必须保证规定的冷却条件；若不能满足规定的冷却条件，必须降低容量使用。若规定风冷的器件使用在自冷条件下，则只允许用到额定电流的 1/3 左右。

五、电力二极管的主要类型

电力二极管在转换器电路中常作为整流器件或电路中的续流器件使用，有时还可作为电压隔离或保护器件。使用中根据实际需要，可选择不同的电力二极管。电力二极管的主要类型有以下几种。

1. 普通二极管

普通二极管又称为整流二极管，多用于开关频率不高（1 kHz 以下）的整流电路中。其反向恢复时间较长，一般在 5 s 以上，这在开关频率不高时并不重要，在参数表中甚至不用列出，但其正向电流定额和反向电压定额可以达到很高，分别可达数千安和数千伏以上。

2. 快速恢复二极管

恢复过程很短，特别是反向恢复过程很短（5 μ s 以下）的二极管被称为快速恢复二极管，简称为快速二极管。其在制造工艺上多采用掺金措施，在结构上有的采用 PN 结构类型，也有的采用对此加以改进的 PIN 结构。它可广泛用于开关电源、脉宽调制器（PWM）、不间断电源（UPS）、交流电动机变频调速（VVVF）、高频加热等装置中，作为高频、大电流的续流二极管或整流管，是极有发展前途的电力、电子半导体器件。

3. 肖特基二极管

以金属和半导体接触形成的势垒为基础的二极管称为肖特基势垒二极管 (Schottky Barrier Diode, SBD), 简称为肖特基二极管。其优点是: 反向恢复时间很短 (10 ~ 40 ns), 正向恢复过程中不会有明显的电压过冲; 在反向耐压较低的情况下其正向压降也很小, 明显低于快速二极管。因此, 其开关损耗和正向导通损耗都比快速二极管小, 效率高。其缺点是: 当所承受的反向耐压提高时, 其正向压降也有较大幅度的提高, 因此多用于 200 V 以下和要求较低的正向管压降的变流器电路中。

任务二 认识晶闸管

晶闸管 (Thyristor) 是硅晶体闸流管的简称, 又称为可控硅 (Silicon Controlled Rectifier, SCR)。晶闸管是一种能够通过控制信号来控制其导通, 但不能控制其截止的半控型器件。其由于导通时刻可控, 可满足调压要求, 具有体积小、质量轻、工作迅速、维护简单、操作方便和寿命长等特点, 因而自问世以来在实际生产中获得了广泛应用, 发展非常迅速。自 20 世纪 80 年代以来, 晶闸管的地位逐渐被各种性能更好的全控型器件所代替, 但由于其能够承受的电压和电流仍是目前电力电子器件中最高的, 而且工作可靠, 因此仍被广泛应用于相控整流、逆变、交流调压、直流变换等领域, 成为特大功率低频 (200 Hz 以下) 装置中的主要器件。

一、晶闸管的外形及符号

晶闸管是一种大功率 PNP 四层半导体器件, 其外形结构有塑封型、螺栓型和平板型, 常用的是螺栓型和平板型。晶闸管的外形、结构和电气图形符号如图 1-6 所示。晶闸管有 3 个 PN 结和 3 个引出极, 即阳极 A、阴极 K 和门极 (控制极) G。

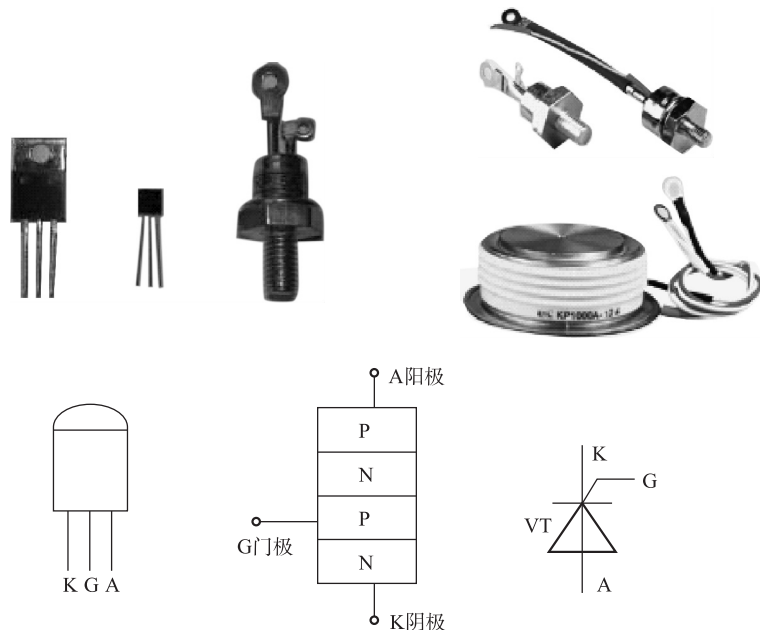


图 1-6 晶闸管的外形、结构和电气图形符号

螺栓型晶闸管的螺栓是阳极 A、粗辫子线是阴极 K、细辫子线是门极 G，螺栓型晶闸管的阳极紧拴在铝制散热器上，其特点是安装和更换方便，但由于依靠阳极散热器自然冷却散热，散热效果较差，一般只适用于额定电流小于 200 A 的晶闸管。

平板型晶闸管的两个平面分别是阳极 A 和阴极 K，细辫子线是门极 G，距离门极较近的一面是阴极 K，距离门极较远的一面是阳极 A，使用时两个互相绝缘的散热器把晶闸管紧紧地夹在一起，依靠冷风冷却。其特点是散热效果好，但更换麻烦，一般适用于额定电流大于 200 A 的晶闸管。

二、晶闸管的工作原理

1. 晶闸管的导通关断条件

为了说明晶闸管的工作原理，先做一个实验，实验电路如图 1-7 所示。阳极电源 E_a 连接负载（白炽灯）接到晶闸管的阳极 A 与阴极 K，组成晶闸管的主电路。流过晶闸管阳极的电流称为阳极电流 I_a ，晶闸管阳极和阴极两端的电压称为阳极电压 U_a 。门极电源 E_g 连接晶闸管的门极 G 与阴极 K，组成控制电路（也称触发电路）。流过门极的电流称为门极电流 I_g ，门极与阴极之间的电压称为门极电压 U_g 。用灯泡来观察晶闸管的通断情况，该实验分 9 个步骤进行。

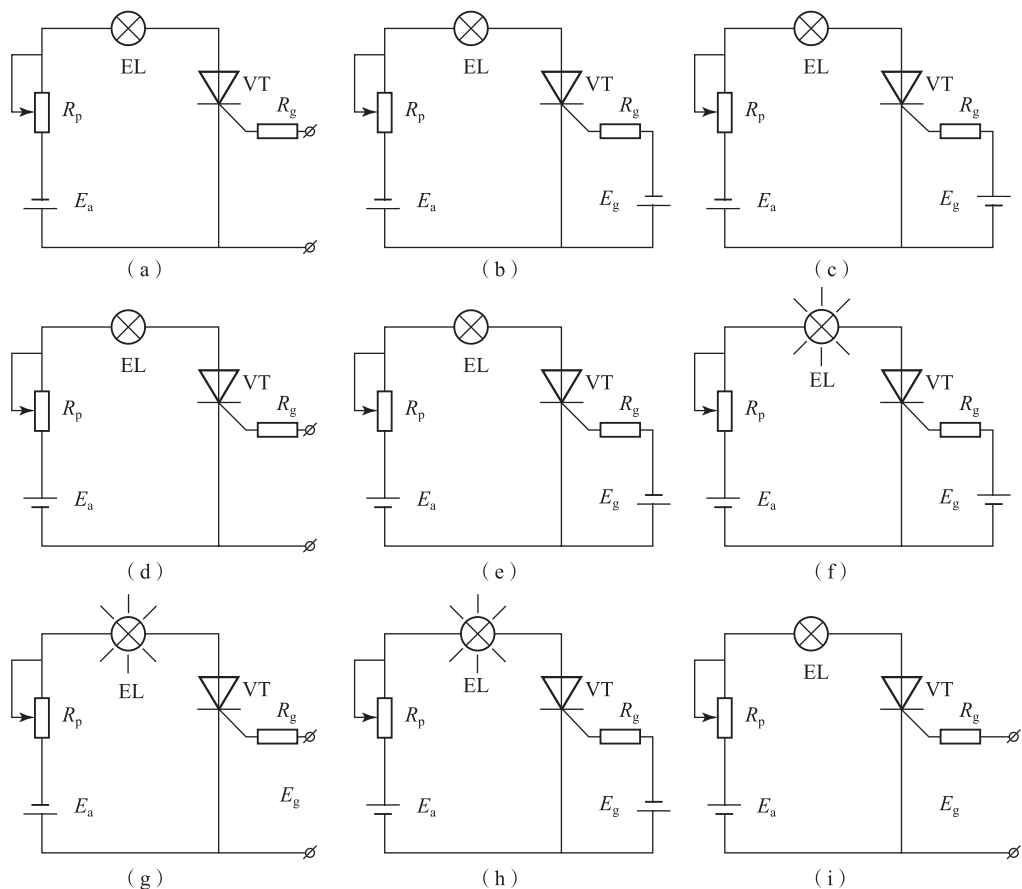


图 1-7 晶闸管导通关断条件实验电路

第一步：按图 1-7 (a) 接线，阳极和阴极之间加反向电压，门极和阴极之间不加电压，指示灯不亮，晶闸管不导通。

第二步：按图 1-7 (b) 接线，阳极和阴极之间加反向电压，门极和阴极之间加反向电压，指示灯不亮，晶闸管不导通。

第三步：按图 1-7 (c) 接线，阳极和阴极之间加反向电压，门极和阴极之间加正向电压，指示灯不亮，晶闸管不导通。

第四步：按图 1-7 (d) 接线，阳极和阴极之间加正向电压，门极和阴极之间不加电压，指示灯不亮，晶闸管不导通。

第五步：按图 1-7 (e) 接线，阳极和阴极之间加正向电压，门极和阴极之间加反向电压，指示灯不亮，晶闸管不导通。

第六步：按图 1-7 (f) 接线，阳极和阴极之间加正向电压，门极和阴极之间也加正向电压，指示灯亮，晶闸管导通。

第七步：按图 1-7 (g) 接线，去掉触发电压，指示灯亮，晶闸管仍导通。

第八步：按图 1-7 (h) 接线，门极和阴极之间加反向电压，指示灯亮，晶闸管仍导通。

第九步：按图 1-7 (i) 接线，去掉触发电压，将电位器阻值加大，晶闸管阳极电流减小，当电流减小到一定值时，指示灯熄灭，晶闸管关断。

晶闸管导通和关断实验现象与结论见表 1-1。

表 1-1 晶闸管导通和关断实验现象与结论

实验顺序	实验前灯的情况	实验时晶闸管条件		实验后灯的情况	结论
		阳极电压 U_a	门极电压 U_g		
导通实验	1	暗	反向	零	晶闸管在反向阳极电压的作用下，不论门极为何种电压，它都处于关断状态
	2	暗	反向	反向	
	3	暗	反向	正向	
	4	暗	正向	零	晶闸管同时在正向阳极电压与正向门极电压的作用下才能导通
	5	暗	正向	反向	
	6	暗	正向	正向	
关断实验	6	亮	正向	正向	已导通的晶闸管在正向阳极的作用下，门极失去控制作用
	7	亮	反向	零	
	8	亮	正向	反向	
	9	亮	正向（逐渐减小到接近于零）	任意	暗

实验说明：

(1) 当晶闸管承受反向阳极电压时，无论门极是否有正向触发电压或承受反向电压，晶闸管均不导通，只有很小的反向漏电流流过管子，这种状态称为反向阻断状态。这说明晶闸管像整流二极管一样，具有单向导电性。

(2) 当晶闸管承受正向阳极电压时，无论门极加上反向电压还是不加电压，晶闸管均

不导通，这种状态称为正向阻断状态。这是二极管所不具备的。

(3) 当晶闸管承受正向阳极电压时，门极加上正向触发电压，晶闸管导通，这种状态称为正向导通状态。这就是晶闸管的闸流特性，即可控特性。

(4) 晶闸管一旦导通后即维持阳极电压不变，将触发电压撤除管子依然处于导通状态，即门极对管子不再具有控制作用。

结论：

- (1) 晶闸管导通条件：加适当的正向阳极电压和正向门极电压。
- (2) 晶闸管关断条件：流过晶闸管的阳极电流小于维持电流。

2. 晶闸管的导通关断原理

由晶闸管的内部结构可知，它是四层 ($P_1N_1P_2N_2$) 三端 (A、K、G) 结构，有三个 PN 结，即 J_1 、 J_2 、 J_3 ，因此可用三个串联的二极管或两个不同类型 (一个 PNP 型三极管和一个 NPN 型三极管) 的三极管来等效，如图 1-8 所示。当阳极 A 和阴极 K 两端加正向电压时， J_2 处于反偏状态， $P_1N_1P_2N_2$ 结构处于阻断状态，只能通过很小的正向漏电流；当阳极 A 和阴极 K 两端加反向电压时， J_1 和 J_3 处于反偏状态， $P_1N_1P_2N_2$ 结构处于阻断状态，只能通过很小的反向漏电流，所以晶闸管具有正反向阻断特性。晶闸管的导通关断原理可以通过等效电路来分析。

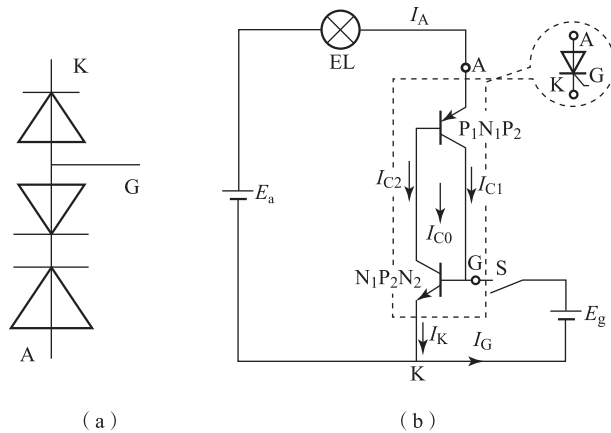


图 1-8 晶闸管工作原理的等效

(a) 以互补三极管等效；(b) 晶闸管工作原理的等效电路

当晶闸管加上正向阳极电压，门极也加上足够的门极电压时，有电流 I_G 从门极流入 $N_1P_2N_2$ 管的基极，经 $N_1P_2N_2$ 管放大后的集电极电流 I_{C2} 又是 $P_1N_1P_2$ 管的基极电流，再经 $P_1N_1P_2$ 管放大，其集电极电流 I_{C1} 又流入 $N_1P_2N_2$ 管的基极，如此循环，产生强烈的正反馈过程，使两个三极管快速饱和和导通，从而使晶闸管由阻断迅速地变为导通。导通后，晶闸管两端的压降很小，一般为 1.5 V 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。正反馈过程如下：

$$I_G \uparrow \longrightarrow I_{B2} \uparrow \longrightarrow I_{C2} (= \beta_2 I_{B2}) \uparrow = I_{B1} \uparrow \longrightarrow I_{C1} (= \beta_1 I_{B1}) \uparrow$$

晶闸管一旦导通，即使 $I_G = 0$ ，因 I_{C1} 的电流在内部直接流入 $N_1P_2N_2$ 管的基极，晶闸管也仍将继续保持导通状态。

在晶闸管导通之后，它的导通状态完全依靠管子本身的正反馈作用来维持，此时，即使控制极电流消失，其仍足够大，晶闸管仍将处于导通状态。因此，控制极的作用仅是触发晶闸管使其导通，导通之后，控制极就失去了控制作用。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 $N_1P_2N_2$ 管接近截止状态时的大小，即流过晶闸管的阳极电流小于维持电流。可采用的方法有：减小阳极电压；将阳极电源断开；改变晶闸管的阳极电压的方向，即在阳极和阴极间加反向电压。

综上所述，晶闸管的工作特点如下：晶闸管电路由阳 - 阴极主电路和门 - 阴极控制电路两部分组成；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，不能控制截止；晶闸管的导通与截止两个状态相当于开关的作用，这样的开关称为无触点开关。

三、晶闸管的特性与主要参数

1. 晶闸管的阳极伏安特性

晶闸管的阳极与阴极间的电压和阳极电流之间的关系，称为阳极伏安特性，其曲线如图 1-9 所示。

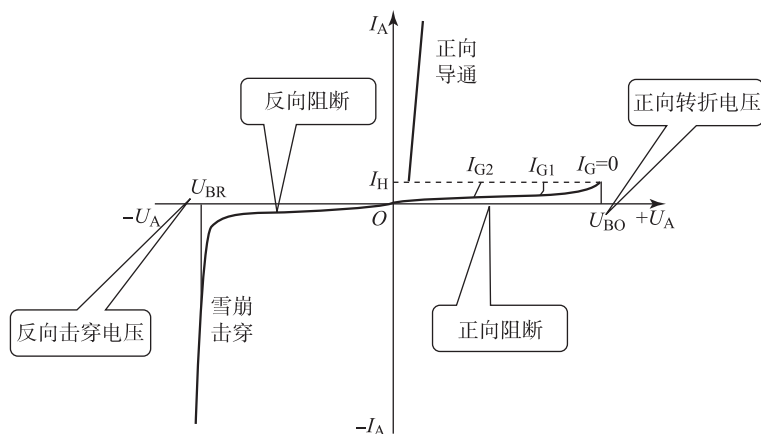


图 1-9 晶闸管的阳极伏安特性曲线

图 1-9 中第 I 象限为正向特性，当 $I_G = 0$ 时，如果在晶闸管两端所加的正向电压 U_A 未增至正向转折电压 U_{BO} ，晶闸管都处于正向阻断状态，且只有很小的正向漏电流。当 U_A 增至 U_{BO} 时，漏电流急剧增大，晶闸管导通，正向电压降低，其特性和二极管的正向伏安特性相似，称为正向转折或“硬开通”。多次“硬开通”会损坏管子，通常不允许晶闸管这样工作。一般采用对晶闸管的门极加足够大的触发电流使其导通，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 1-9 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_{BR} 时，反向漏电流急剧增大，造成晶闸管反向击穿而损坏。

2. 晶闸管的主要参数

在实际使用的过程中，往往要根据实际的工作条件进行管子的合理选择，以达到令人满意的技术经济效果。正确地选择管子主要包括两个方面：一是要根据实际情况确定所需

晶闸管的额定值；二是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，使用者只需能够正确地选择管子即可。晶闸管的主要参数见表 1-2。

表 1-2 晶闸管的主要参数

型号	通态平均电流 /A	通态平均电压 /V	断态正向重复峰值电流 /mA	断态正向重复峰值电压 /V	门极触发电流 /mA	门极触发电压 /V	断态电压临界上升率 / $(V \cdot \mu s^{-1})$	推荐用散热器	安装力 /kN	冷却方式
KP5	5	≤ 2.2	≤ 8	100 ~ 2 000	< 60	< 3		SZ14		自然冷却
KP10	10	≤ 2.2	≤ 10	100 ~ 2 000	< 100	< 3	250 ~ 800	SZ15		自然冷却
KP20	20	≤ 2.2	≤ 10	100 ~ 2 000	< 150	< 3		SZ16		自然冷却
KP30	30	≤ 2.4	≤ 20	100 ~ 2 400	< 200	< 3	50 ~ 1 000	SZ16		强迫风冷、水冷
KP50	50	≤ 2.4	≤ 20	100 ~ 2 400	< 250	< 3		SZ17		强迫风冷、水冷
KP100	100	≤ 2.6	≤ 40	100 ~ 3 000	< 250	< 3.5		SZ17		强迫风冷、水冷
KP200	200	≤ 2.4	≤ 0	100 ~ 3 000	< 350	< 3.5		L18	11	强迫风冷、水冷
KP300	300	≤ 2.6	≤ 50	100 ~ 3 000	< 350	< 3.5		L18B	15	强迫风冷、水冷
KP500	500	≤ 2.6	≤ 60	100 ~ 3 000	< 350	< 4	100 ~ 1 000	SF15	19	强迫风冷、水冷
KP800	800	≤ 2.6	≤ 80	100 ~ 3 000	< 350	< 4		SF16	24	强迫风冷、水冷
KP1000	1 000			100 ~ 3 000				SS13		
KP1500	1 000	≤ 2.6	≤ 80	100 ~ 3 000	< 350	< 4		SF16	24	强迫风冷、水冷
KP2000								SS13		
	1 500	≤ 2.6	≤ 80	100 ~ 3 000	< 350	< 4		SS14	43	强迫风冷、水冷
	2 000	≤ 2.6	≤ 80	100 ~ 3 000	< 350	< 4		SS14	50	强迫风冷、水冷

1) 晶闸管的电压定额

(1) 断态重复峰值电压 U_{DRM} 。在图 1-9 晶闸管的阳极伏安特性曲线中，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断态重复峰值电压，用 U_{DRM} 表示。它是由伏安特性中的正向转折电压 U_{BO} 减去一定裕量，成为晶闸管的断态不重复峰值电压 U_{DSM} ，然后再乘以 90% 而得到的。至于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”）和导通状态（简称“通态”）。参数中提到的断态和通态一定是正向的，因此，“正向”两字可以省去。

(2) 反向重复峰值电压 U_{RRM} 。相似的，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_{BR} 减去一定裕量，成为晶闸管的反向不重复峰值电压 U_{RSM} ，然后再乘以 90% 而得到的。至于反向不重复峰值电压 U_{RSM} 与反向转折电压 U_{BR} 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。因此参数中“阻断”两字可省去。

(3) 额定电压 U_{Th} 。将 U_{DRM} 和 U_{RRM} 中的较小者按百位数取整后作为该晶闸管的额定

值。例如，一晶闸管实测 $U_{\text{DRM}} = 812 \text{ V}$ ， $U_{\text{RRM}} = 756 \text{ V}$ ，将两者中较小的 756 V 按表 1-3 取整得 700 V ，则该晶闸管的额定电压即 700 V 。

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 $1\,000 \text{ V}$ 以下，每 100 V 为一级；电压在 $1\,000 \sim 3\,000 \text{ V}$ ，每 200 V 为一级，用百位数或千位数表示级数。晶闸管标准电压等级见表 1-3。

表 1-3 晶闸管标准电压等级

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	2 000
2	200	9	900	22	2 200
3	300	10	1 000	24	2 400
4	400	12	1 200	26	2 600
5	500	14	1 400	28	2 800
6	600	16	1 600	30	3 000
7	700	18	1 800		

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，因此在选择管子时，应使晶闸管的额定电压为实际工作时可能承受的最大电压的 $2 \sim 3$ 倍，即

$$U_{\text{Tn}} \geq (2 \sim 3) U_{\text{Tm}}$$

(4) 通态平均电压 $U_{\text{T(AV)}}$ 。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（一般称为管压降），其数值按表 1-4 分组。从减小损耗和元件发热来看，应选择 $U_{\text{T(AV)}}$ 较小的管子。实际上，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（表 1-4）要大，约为 1.5 V 。

表 1-4 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	$U_{\text{T}} \leq 0.4$	$0.4 < U_{\text{T}} \leq 0.5$	$0.5 < U_{\text{T}} \leq 0.6$	$0.6 < U_{\text{T}} \leq 0.7$	$0.7 < U_{\text{T}} \leq 0.8$
组别	F	G	H	I	
通态平均电压/V	$0.8 < U_{\text{T}} \leq 0.9$	$0.9 < U_{\text{T}} \leq 1.0$	$1.0 < U_{\text{T}} \leq 1.1$	$1.1 < U_{\text{T}} \leq 1.2$	

2) 晶闸管的电流定额

(1) 额定电流 I_{Tn} 。由于整流设备的输出端所接负载常用平均电流来表示，晶闸管额定电流的标定与其他电气设备不同，采用的是平均值，而不是有效值，其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 $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 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（表 1-2），称为晶闸管的额定电流。