

高职高专项目课程系列教材

电力电子 器件与应用

Power Electronic Devices
and Applications

■ 李俊梅 康秀强 等 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

高职高专项目课程系列教材

电力电子器件与应用

李俊梅 康秀强 等 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内 容 提 要

本书是高职高专项目课程系列教材之一,主要特点是从实际应用电路出发,集理论教学与实践教学于一体,可有效地提高学生的学习兴趣。主要内容包括整流电力电子器件及应用、开关电源的应用与设计、交流电力控制电路、逆变电路和变频器的使用等。

本书适用于实施项目课程教学改革的电子电气类专业的学生或教师使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子器件与应用 / 李俊梅, 康秀强等编著. —杭州: 浙江大学出版社, 2010. 2

ISBN 978-7-308-07347-9

I. ①电… II. ①李… ②康… III. ①电力系统—电子器件—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TN303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 015171 号

电力电子器件与应用

李俊梅 康秀强 等 编著

责任编辑 黄娟琴

文字编辑 王元新

封面设计 陈 辉

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州大漠照排印刷有限公司

印 刷 临安市曙光印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 9.25

字 数 231 千

版 次 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-07347-9

定 价 20.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571) 88925591

序

近年来在政府推动与经济发展需求的刺激下,我国高等职业教育规模有了很大发展。

全国职业教育工作会议的召开,又为高职发展带来了新的历史机遇。然而,我们可以在短短几年内建设起大量被称为高职学院的校舍,却无法在短期内形成真正的高职教育。如何突显特色已成为困扰高职发展的重大课题;高职发展已由规模扩充进入了内涵建设阶段。内涵建设既需要理论支持,也需要时间积淀,但积极地探索与行动总是有益于这一进程的。已形成的基本共识是,课程建设是高职内涵建设的突破口与抓手。加强高职课程建设的另一个重要出发点,是如何让高职生学有兴趣、学有成效。在传统学科知识的学习方面,高职生是难于和本科生相比的;如何开发一套既适合高职生学习特点,又能增强其就业竞争能力的课程教材,是高职课程建设面临的另一重大课题。

要有效地解决这些问题,建立能综合反映高职发展多种需求的课程体系,必须进一步明确高职人才培养目标,其课程内容的性质及组织框架。为此,不能仅仅满足于“高职到底培养什么类型人才”的论述,而是要从具体的岗位与知识分析入手。高职专业的定位要通过理清其所对应的工作岗位来解决,而其课程特色应通过特有的知识架构来阐明。也就是说,高职课程与学术性的大学课程相比,其特色不应仅仅体现在理论知识少一些,技能训练多一些,而是要紧紧围绕课程目标重构其知识体系。我们认为项目课程不失为一个有价值与发展潜力的选择。其历史虽然久远,我们却赋予了其新的内涵。

(1) 能力观,即项目课程的目标是培养学生的职业能力。现有高职课程基本上还是知识体系,极少体现这一目标。以职业能力为目标不能只是口号,而是要在各个环节紧紧围绕这一目标来设计课程。比如课程目标的描述,要明确指出学生“能够(会)做什么”。能力也不同于操作技能,职业能力更加强调的是在复杂的工作情境中进行分析、判断并采取行动的能力。

(2) 联系观,即要把知识与工作任务之间的联系作为重要课程内容。职业能力的形成并非仅仅取决于获得了大量理论知识,如果这些知识是在与工作任务相脱离的条件下获得的,那么仅仅是些静态的知识,无法形成个体的职业能力。只有能在知识与工作任务之间建立复杂联系的人,才可称为具有职业能力的人。可见,项目课程并非如通常所设想那样只是出于功利目的,而是建立在职业能力形成的联系观基础之上的。

(3) 结构观,即强调对课程结构的整体设计,包括课程体系结构与内容组织结构。因为知识也是影响职业能力形成的重要变量。课程体系结构设计的基本依据是工作体系结构;内容组织结构设计的基本依据是工作过程中的知识组织关系。其获得的基本手段是工作

分析。

(4) 综合观,即综合运用相关操作知识、理论知识来完成工作任务。项目课程就是重点关注如何综合运用所获得的操作知识、理论知识来完成工作任务,从而形成在复杂的工作情境中作出判断并采取行动的能力;它也更关注工作任务之间的联系。

(5) 结果观,即以典型产品或服务为载体设计教学活动。通过这种“完整性活动”,学生可获得有工作意义的“产品”,不仅可以增强学生对教学内容的直观感,而且有利于增强学生的成就动机。

教材是课程理念的物化,也是教学的基本依据。项目课程的理念要大面积地转化为具体的教学活动,必须有教材作支持。基于这一设想,我们自2004年起,一直致力高职院校及教师合作,开发出能体现项目课程上述理念、符合高职教育水准及特色的专业课程教材,以期对我国高职发展作出贡献。这些教材力图彻底打破以知识传授为主要特征的传统学科课程模式,转变为以工作任务为核心的项目课程模式,让学生通过完成具体项目来构建相关理论知识,并发展职业能力。其课程内容的选取紧紧围绕工作任务完成的需要来进行,同时又充分考虑了高职教育对理论知识学习的需要,并融合了相关职业资格证书对知识、技能和态度的要求。每个项目的学习都要求按以典型产品为载体设计的活动来进行,以工作任务为中心整合理论与实践,实现理论与实践的一体化。为此,有必要通过校企合作、校内实训基地建设等多种途径,采取工学交替、半工半读等形式,充分开发学习资源,给学生提供丰富的实践机会。教学效果评价可采取过程评价与结果评价相结合的方式,通过理论与实践相结合,重点评价学生的职业能力。

在开发新教材的同时,我们也在实验性地进行教学尝试。结果表明,尽管要全面实施项目教学目前还存在一定困难,如教师能力、实训条件等,但这种教学模式的确有利于大大提高学生学习兴趣与教师教学质量。学生不仅感受到了知识的应用价值,而且学会了如何应用这些知识。只要教师勇于创新,敢于挑战传统教学模式,其中的许多问题是不难克服的。今后,我们将深化对教学过程的研究,为项目课程实施提供详细案例,同时开发教学辅助材料,以更好地促进项目课程的实施。

由于项目课程教材的结构与内容和原有教材相比差别很大,因此其开发是一个非常艰苦的过程。为了使得这套教材更能符合高职学生的实际情况,我们坚持所有编写任务均由高职教师承担,他们为这套教材的成功出版付出了巨大努力。倍感欣慰的是,参与这个项目的高职院校对我们的工作都非常支持,他们不仅组织了大量精干教师和企业专家参与教材开发,而且为我们创造了许多优越条件,没有他们的大力支持,要取得这些成果是难以想象的。在此,还要感谢编委会专家对这个项目的热心支持与精心指导。

实践变革总是比理论创造复杂得多。尽管我们尽了很大努力,但所开发的项目课程教材还是非常有限的;由于这是一项尝试性工作,在内容与组织方面也难免有不到之处,尚需在实践中进一步完善。但我们坚信,只要不懈努力,不断发展和完善,最终一定会实现这一目标。

石伟平 徐国庆

2009年11月于华东师范大学

前 言

PREFACE

本书是浙江工贸职业技术学院与华东师范大学合作,进行项目化课程教学改革的系列教材之一,是为电子信息与电工电子技术类高职高专学生开设项目课程而开发编写的。所谓项目课程,是指以职业生涯为目标,以工作结构为框架,以职业能力为基础,以培养学生与现代技术相适应的技术实践能力为主要内容,以弹性和综合性为特征,多种课程形态相结合的课程。项目课程要以多媒体技术、多种学习情景、多种学习方法等多种课程形态为教学手段,激发学生学习的欲望和需求,达到改善并提高教学效果的目的。

项目课程的显著特点是学生边学边做边研讨。原则上,学习每个工作项目或电路模块后,要完成一个小的电力电子产品的研制。在结构编排上,以项目为单元,每个单元又划分为几个不同的模块。基于每个项目的工作任务,教师的主要职责是“教练”,使学习过程变得轻松自如。

本书以典型的实际应用电路项目或电路模块为单元,以问题引出项目所涉及的理论与实践知识。本书共安排了“路灯自动控制开关电路的设计与制作”、“直流电动机无级调速电路的设计与制作”、“电冰箱失压、过压、过流自动保护电路”、“三星手机充电器的分析”、“DVD机开关电源的分析”、“调光台灯”、“交流稳压器”、“小功率方波逆变器”、“串级调速系统”和“变频器的使用”10个模块。

本书由浙江工贸职业技术学院、温州职业技术学院和浙江东方职业技术学院的教师共同开发编写,由李俊梅、康秀强等编著,张小冰、苏一菲、李庆海参编。具体的编写分工为:项目一由李俊梅和李庆海编写;项目二由苏一菲编写;项目三、项目四和项目五由康秀强编写,张小冰校对;全书由李俊梅统稿。

本书可以作为高职高专电子信息类、电工电子技术类、机电类专业学生的“电力电子技术”课程的教材;也可作为生产一线电工电子技术和机电技术人员的参考书。

本书在编写过程中,得到华东师范大学、浙江大学和浙江工贸职业技术学院相关老师的指导和帮助,在此一并感谢。由于编者水平和资料收集所限,疏漏和错误在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2010年1月于温州

目 录

CONTENTS

项目一 整流电力电子器件与应用	1
模块一 路灯自动控制开关电路的设计与制作	/1
模块二 直流电动机无级调速电路的设计与制作	/13
模块三 电冰箱失压、过压、过流自动保护电路	/43
项目二 开关电源的应用与设计	53
模块一 三星手机充电器的分析	/53
模块二 DVD 机开关电源的分析	/78
项目三 交流电力控制电路	85
模块一 调光台灯	/85
模块二 交流稳压器	/97
项目四 逆变电路	105
模块一 小功率方波逆变器	/105
模块二 串级调速系统	/122
项目五 变频器的使用	129
参考文献	139

项目一 整流电力电子器件与应用

本项目是通过三个不同层次的实用电力电子电路的实例,即路灯自动控制开关电路的设计与制作、直流电动机无级调速电路的设计与制作和电冰箱失压、过压、过流自动保护电路,引导学生建立对整流电力电子器件的学习兴趣与基本认识,获得搭建简单电力电子器件与应用电路的能力。

模块一 路灯自动控制开关电路的设计与制作

一、教学目标

1. 终极目标

学会搭建路灯自动控制开关电路的方法。

2. 促成目标

- (1) 熟悉电力电子器件及其导通、关断的方法。
- (2) 明确电力电子器件的触发电路。
- (3) 学会利用电力电子器件搭建简单的应用电路的方法。

二、工作任务

搭建如图 1-1 所示的路灯自动控制开关电路,使它能够根据光照的强度实现自动控制路灯的通、断功能。其中, U_c 为工作电源,KA 为与电源同等级的直流继电器,T 为 PNP 型的三极管,C 为电容,VT 为普通晶闸管,NE555 定时器为核心控制元件,其内部结构如图 1-2 所示。

路灯自动控制开关的工作原理如下:

当傍晚光照强度渐弱时,光电三极管 T_v 的电压降逐渐变大,升到高于 $\frac{2}{3}U_c$ 时,则 NE555 的 2、6 脚输入为低电平,NE555 定时器内部的 RS 触发器(见图 1-2 中虚框)输出为高电平,则 3 脚输出为高电平,使三极管 T 关断,触发晶闸管 VT 导通,继电器 KA 得电吸合,其动合触点 KA 闭合,使灯 HL 点亮。同时电容 C 充电,其极性左正右负。当清晨光照强度渐强时,光电三极管 T_v 的电压降逐渐变小,降低到低于 $\frac{1}{3}U_c$ 时,NE555 的 2、6 脚输入为高电平,其内部的 RS 触发器输出为低电平,此时三极管 T 导通,电容 C 通过它放电,使 VT 承受反压而关断,KA 失电释放,其动合触点断开,灯 HL 熄灭。电容 C 放完电后又反向充电,电容 C 充电极性为左负右正。到傍晚又重复上述过程,从而使路灯按照光照强度,自动

点亮和熄灭。

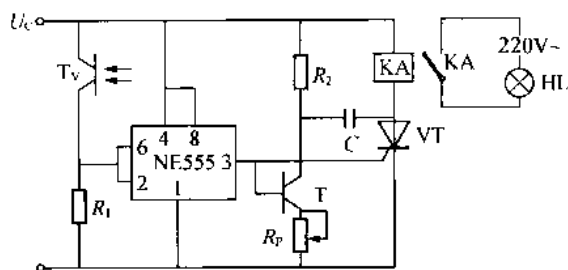


图 1-1 路灯自动控制开关电路

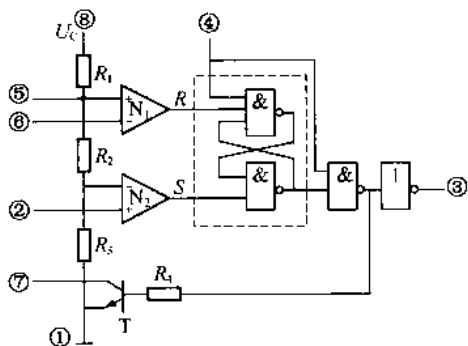


图 1-2 NE555 定时器内部结构

①—接地端；②、⑥—两个电压比较器的输入端；③—输出端；④—复位端；⑤—控制电压；⑦—放电端；⑧—电源

三、相关的实践知识

1. 熟悉电力二极管

(1) 观察电力二极管的结构

电力二极管是指可以承受高电压、大电流及具有较大耗散功率的二极管，在电路中常作为整流、续流、电压隔离、钳位或保护元件。电力二极管的内部结构是一个 PN 结，是通过扩散工艺制作的。电力二极管和普通中、小功率二极管一样，具有单向导电性。电力二极管引出两个极，分别称为阳极 A 和阴极 K。如图 1-3(a) 所示为电力二极管的外形图，图 1-3(b) 所示为电力二极管的结构图，图 1-3(c) 所示为电力二极管电气图形符号。

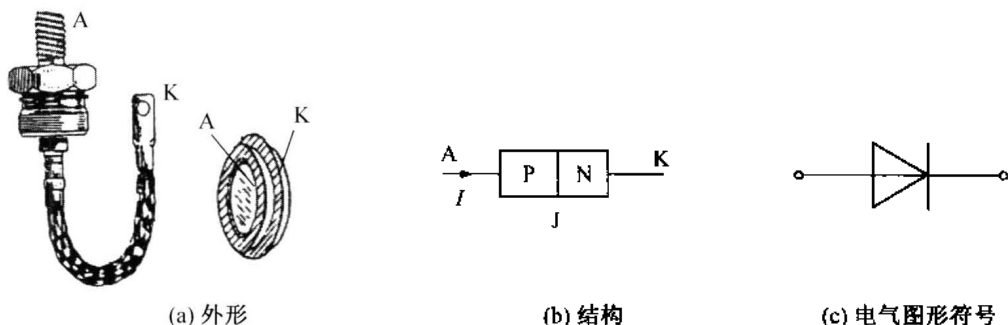


图 1-3 电力二极管的结构、符号和外形

由于电力二极管功耗较大，因此其外形通常采用螺旋式或平板式两种易于散热的结构。螺旋式二极管的阳极紧栓在散热器上。平板式二极管又分为风冷式和水冷式，它的阳极和阴极分别由两个彼此绝缘的散热器紧紧夹住。图 1-3(a) 左侧所示为螺旋式电力二极管的外形，右侧所示为平板式电力二极管的外形。

电力二极管按恢复时间又可分为普通电力二极管和快速恢复电力二极管。快速恢复电力二极管在开通和关断过程中，正向和反向恢复时间比普通电力二极管短得多。所以，通常用于高频逆变器、高频整流器和缓冲电路中。

(2) 测试电力二极管的伏安特性

利用如图 1-4 所示的电力二极管特性测试电路,测试电力二极管的电压与电流的关系,得到电力二极管的阳极和阴极间的电压 u_{AK} 与流过管子的电流 i_A 之间的关系,称为伏安特性曲线,如图 1-5 所示。

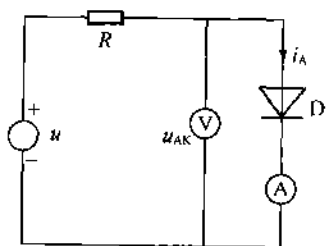


图 1-4 电力二极管特性测试电路

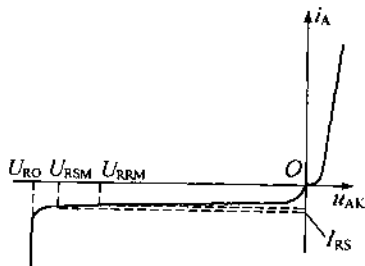


图 1-5 电力二极管的伏安特性

经分析可知,当对电力二极管加从零逐渐增大的正向电压时,开始阳极电流很小,这一段特性曲线很靠近横坐标轴,称为死区。当正向电压大于 0.5V 时,正向阳极电流急剧上升,管子正向导通,阳极和阴极两端电压维持在 1V 左右。如果电路中不接限流元件,电力二极管将被烧毁。

当对电力二极管加上反向电压时,起始段的反向漏电流很小,随着反向电压增加,反向漏电流略有增加,但增加的幅度很小。当反向电压增加到反向不重复峰值电压 U_{RSM} 时,反向漏电流开始急剧增加。若对反向电压不加限制,电力二极管将被击穿。

2. 熟悉晶闸管

(1) 观察晶闸管的结构

晶闸管(thyristor),曾称为可控硅(silicon controlled rectifier,SCR)。晶闸管作为大功率的半导体器件,只需用几十至几百毫安的电流(控制极),就可以控制几百至几千安的大电流(阳极),实现弱电对强电的控制。

晶闸管为四层(P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2)三端(阳极 A、阴极 K、门极 G)器件,其内部结构和等效电路如图 1-6 所示。

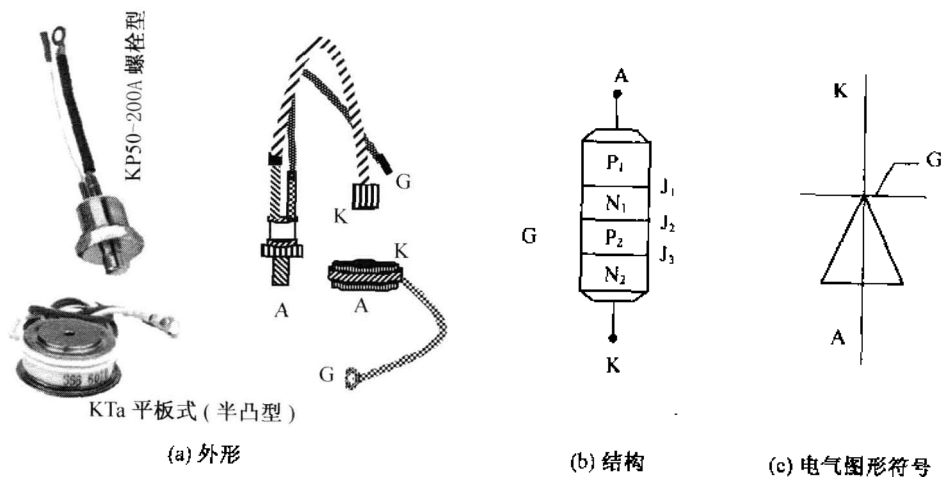


图 1-6 晶闸管外形、结构和电气图形符号

晶闸管从外形上看有三种封装形式,即塑封型、螺栓型和平板型。塑封型额定电流多用10A以下;螺栓型额定电流一般为10~200A;平板型额定电流则用于200A以上。晶闸管工作时,由于器件损耗而产生热量,需要通过散热器降低管芯温度。器件外形是为便于安装散热器而设计的,带有散热器的晶闸管外形如图1-7所示。

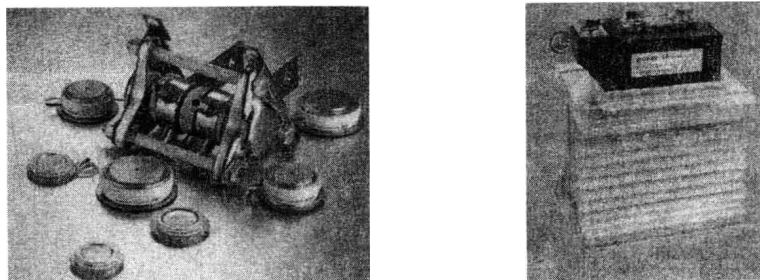


图 1-7 带有散热器的晶闸管

(2) 判别晶闸管导通与截止的条件

利用如图1-8所示电路,判别晶闸管的导通条件和关断截止条件。主电源 U_A 和门极电源 U_G 通过双刀双掷开关 Q_1 和 Q_2 正向或反向闭合接通晶闸管的有关电极,用指示灯EL和电流表来观察晶闸管的通断情况,其中 R_P 为限流电阻。

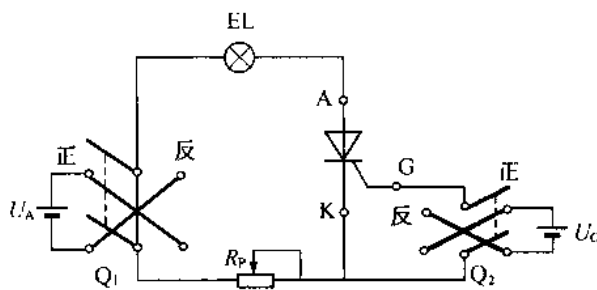


图 1-8 判别晶闸管导通与关断截止的条件

操作如下:

① 当 Q_1 向右反向闭合时,晶闸管承受反向阳极电压,不论门极承受何种电压,指示灯都不亮,说明晶闸管处于关断状态。

② 当 Q_1 向左正向闭合时,晶闸管承受正向阳极电压,当 Q_2 反向闭合即门极承受反向电压时,指示灯不亮;仅当 Q_2 正向闭合即门极也承受正向电压时,指示灯才亮,说明晶闸管导通了。

③ 晶闸管一旦导通, Q_2 不论正接、反接或者断开,晶闸管均保持导通状态不变,说明门极失去了控制作用。

④ 要使晶闸管关断,可以去掉阳极电压,或者给阳极加反向电压;也可以降低正向阳极电压数值或增大回路电阻,使流过晶闸管的电流小于一定数值。

⑤ 增大或减小限流电阻的值,观察指示灯的亮度,体会限流电阻的作用。

根据以上学生的实验结果,可得到如下结论:

① 晶闸管的导通条件:在晶闸管的阳极和阴极两端加正向电压,同时在它的门极和阴极两端也加正向电压,两者缺一不可。

② 晶闸管一旦导通,门极即失去控制作用,因此门极所加的触发电压一般为脉冲电压。晶闸管从阻断变为导通的过程称为触发导通。门极触发电流一般只有几十到几百毫安,而晶闸管导通后,可以通过几百、几千安的电。

③ 晶闸管的关断条件:使流过晶闸管的阳极电流小于一定值,这个值称为维持电流 I_H ,也是保持晶闸管导通的最小电流。

④ 限流电阻兼有调光的作用。

四、相关的理论知识

1. 电力二极管

(1) 电力二极管的分类

采用不同的结构和工艺,可以制作出不同类型的电力二极管,用于不同的控制电路中。常用的电力二极管大致可分为如下几种:

① 整流电力二极管:主要用于开关频率不高(1kHz 以下)的整流电路中。其反向恢复时间较长,一般在 $5\mu\text{s}$ 以上。但其正向电流定额和反向电压定额却可以达到很高,分别可达数千安和数千伏以上。

② 快恢复二极管:其恢复过程很短,特别是反向恢复过程很短(一般在 $5\mu\text{s}$ 以内)。可用于要求很短恢复时间的电路中,或高频率整流与逆变的电路中。

③ 肖特基二极管:是以金属和半导体接触形成的一种特殊二极管,其反向恢复时间更短(一般在 $10\sim 40\text{ns}$),正向恢复过程中也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,明显低于快恢复二极管。因此,其开关损耗和正向导通损耗都比快恢复二极管小、效率高。肖特基二极管的弱点在于:当所能承受的反向耐压提高时,其正向压降也会高得不能满足要求,因此多用于 200V 以下的低压场合;反向漏电流较大且对温度敏感,因此反向稳态损耗不能忽略,而且必须更严格地限制其工作温度。肖特基二极管适用于高频小功率整流或高频控制电路。

(2) 电力二极管的参数与选用

1) 额定正向平均电流 I_F

在规定的环境温度为 40°C 和标准散热条件下,PN 结温度稳定且不超过 140°C 时,所允许长时间连续流过 50Hz 正弦半波的电流平均值称为额定正向平均电流 I_F 。

在规定的室温和冷却条件下,所选管子的额定电流有效值 I_{DN} 大于管子在电路中可能流过的最大有效值电流 I_{DM} 即可。考虑到元件的过载能力较小,选择时要留有 1.5~2 倍的安全裕量,即

$$I_{DN} = 1.57 I_F = (1.5 \sim 2) I_{DM}$$

式中:1.57——正弦半波电流的有效值与平均值之比,称为波形系数。所以

$$I_F = (1.5 \sim 2) I_{DM} / 1.57$$

选用时取相应标准系列值即可。

2) 反向重复峰值电压 U_{RRM}

在额定结温条件下,元件反向不重复峰值电压 U_{RSM} 值的 80% 称为反向重复峰值电压 U_{RRM} 。选择电力二极管的反向重复峰值电压 U_{RRM} 的原则应为管子所在电路中可能承受到

的最大反向瞬时值电压 U_{DM} 的 2~3 倍,即

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

选用时取相应标准系列值。

3) 正向平均电压 U_F

在规定环境温度 40°C 和标准散热条件下,元件通过 50Hz 正弦半波额定正向平均电流时,元件阳极和阴极之间的电压的平均值,称为正向平均电压 U_F ,简称管压降。一般在 $0.45 \sim 1.00\text{V}$ 范围内。

4) 电力二极管的测试及使用注意事项

由于电力二极管的内部结构为 PN 结,因此用万用表的 $R \times 100\Omega$ 挡测量阳极 A 和阴极 K 两端的正、反向电阻,可以判断电力二极管的好坏。一般电力二极管的正向电阻在几十至几百欧姆,而反向电阻在几千至几万欧姆为好;若正、反向电阻都为零或都为无穷大,说明电力二极管已经损坏。

注意:严禁用兆欧表测试电力二极管。

电力二极管使用时必须保证规定的冷却条件,如不能满足规定的冷却条件,必须降低容量使用。如规定风冷的元器件在自冷条件下使用,只允许用到额定电流的 $1/3$ 左右。

2. 晶闸管

(1) 晶闸管的工作原理

晶闸管内含四层半导体,如图 1-9(a)所示,可以等效为 2 个三极管的合成,如图 1-9(b)所示,或 3 个二极管的串联,如图 1-9(c)所示。从图 1-9(c)可以看出,由于 3 个二极管中,有 1 个(或 2 个)为反向,表明晶闸管的 AK 间正向(或反向)都不能导通(在 G 极不加触发时)。

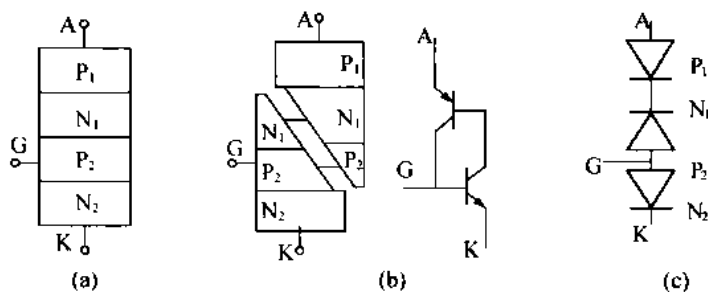


图 1-9 晶闸管的等效电路

晶闸管的 PNPN 结构又可以等效为两个互补连接的晶体管。其中, N_1 和 P_2 区既是一个晶体管的集电极,同时又是另一个管子的基极,如图 1-10 所示,晶闸管的工作原理可依此解释。

当给晶闸管加正向阳极电压,门极也加上足够的门极电压时,则有电流 I_G 从门极流入 NPN 管的基极,即 I_{B2} ,经 NPN 管放大后的集电极电流 I_{C2} 流入 PNP 管的基极,再经 PNP 管的放大,其集电极电流 I_{C1} 又流入 NPN 管的基极。如此循环,产生强烈的正反馈过程,即

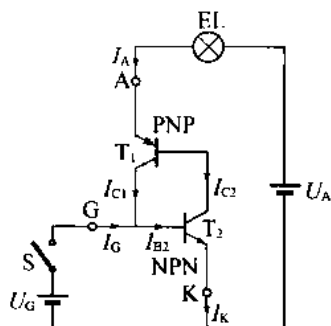


图 1-10 晶闸管工作原理

$$I_G \longrightarrow I_{G2} \uparrow \longrightarrow I_{G1} (I_{B1}) \uparrow \longrightarrow I_{H2} (I_{C1}) \uparrow$$

使两个晶体管很快饱和导通,从而使晶闸管由阻断迅速地变为导通。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大小。

晶闸管一旦导通后,即使 $I_G=0$,但因 I_{C1} 的电流在内部直接流入 NPN 管的基极,晶闸管仍将继续保持导通状态。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 NPN 管接近截止状态,即流过晶闸管的阳极电流小于维持电流,晶闸管才可恢复阻断状态。

(2) 晶闸管的伏安特性

晶闸管的阳极与阴极间的电压 u_A 和阳极电流 i_A 之间的关系,称为晶闸管的伏安特性。其伏安特性曲线如图 1-11 所示。

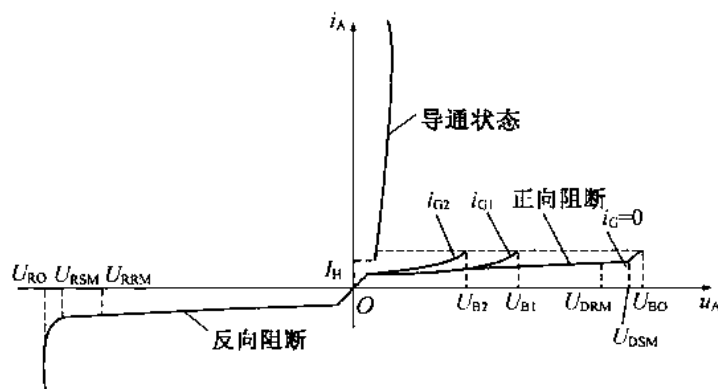


图 1-11 晶闸管的伏安特性曲线

图 1-11 中第 I 象限为正向特性。当 $I_G=0$ 时,如果晶闸管两端所加正向电压 u_A 未增加到正向转折电压 U_{BO} 时,器件一直处于正向阻断状态,只有很小的正向漏电流。当 u_A 增加到 U_{BO} 时,漏电流急剧增大,器件导通(称为硬开通),正向电压降低,其特性和二极管的正向伏安特性类似。通常不允许采用这种方法使晶闸管导通,因为这样的多次导通会造成晶闸管损坏。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曲线如图 1-11 所示的第 III 象限。它与电力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} 后,反向漏电流急剧增大,造成晶闸管反向击穿而损坏。

(3) 晶闸管主要参数

为了正确选择和使用晶闸管,需要理解和掌握晶闸管的主要参数。晶闸管的主要参数有以下几项。

1) 额定电压 U_{TN}

由图 1-11 所示晶闸管的伏安特性曲线可见,当门极开路,元件处于额定结温时,根据所测定的正向转折电压 U_{BO} 和反向击穿电压 U_{RO} ,由制造厂家规定减去某一数值(通常为 100V),分别得到正向不可重复峰值电压 U_{DSM} 和反向不可重复峰值电压 U_{RSM} ,再各乘以 0.9,即得正向阻断重复峰值电压 U_{DRM} 和反向阻断重复峰值电压 U_{RRM} 。将 U_{DRM} 和 U_{RRM} 中

较小的那个值按百位取整后作为该晶闸管的额定电压值。例如,一个晶闸管实测 $U_{\text{DRM}} = 860\text{V}$, $U_{\text{RRM}} = 730\text{V}$, 将两者较小的 730V 取整得 700V , 该晶闸管的额定电压为 700V , 即 7 级。如表 1-1 所示为晶闸管额定电压的等级与额定电压的关系。

使用晶闸管时,若外加电压超过反向击穿电压,会造成器件永久性损坏;若超过正向转折电压,器件就会误导通,经数次这种导通后,也会造成器件损坏。此外,器件的耐压还会因散热条件恶化和结温升高而降低。因此,选择时应注意留有充分的裕量,一般应按工作电路中可能承受的最大瞬时值电压 U_{TM} 的 2~3 倍来选择晶闸管的额定电压,即

$$U_{\text{TN}} = (2 \sim 3) U_{\text{TM}}$$

表 1-1 晶闸管额定电压的等级与额定电压

级 别	额定电压(V)	级 别	额定电压(V)	说 明
1	100	7	700	额定电压在 1000V 以下,每增加 100V,级别数加 1
2	200	8	800	
3	300	9	900	
4	400	10	1000	额定电压在 1200V 以上,每增加 200V,级别数加 2
5	500	12	1200	
6	600	14	1400	

2) 额定电流 $I_{\text{T(AV)}}$

晶闸管的额定电流也称为额定通态平均电流,即在环境温度为 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称为该晶闸管的额定电流。按照规定条件,流过晶闸管的工频正弦半波电流波形如图 1-12 所示。

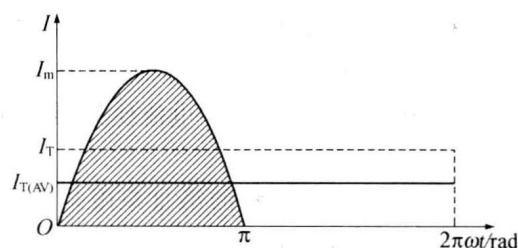


图 1-12 50Hz 正弦半波电流流过晶闸管时的波形

设电流峰值为 I_m , 则通态平均电流为

$$I_{\text{T(AV)}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi}$$

该电流波形的有效值为

$$I_T = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{2}$$

正弦半波电流的有效值与通态平均值之比为

$$I_T/I_{T(AV)} = \pi/2 = 1.57$$

换言之,额定电流 $I_{T(AV)} = 100\text{A}$ 的晶闸管,其允许通过的电流有效值 $I_T = 157\text{A}$ 。晶闸管的额定电流之所以用通态平均电流来表示,是因为晶闸管是可控的单向导通器件。但是,决定晶闸管结温的是管子损耗的发热效应,而表征热效应的电流是以有效值表示的。同时可以证明,不论流经晶闸管的电流波形如何,导通角有多大,只要电流有效值相等,其发热就是相同的。

对于不同的电路、不同的负载、不同的导通角,流过晶闸管的电流波形不一样,导致其电流平均值和有效值的关系也不一样。选择晶闸管额定电流时,本因依据实际波形的电流有效值进行换算。但为了方便起见,按照有效值相同、发热相同的原则,规定按流过工频正弦半波电流时的电流有效值进行换算。

由于晶闸管的过载能力差,一般在选用时取 $(1.5 \sim 2)$ 的安全裕量,即

$$I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) I_T / 1.57$$

也可简化为

$$I_{T(AV)} \approx I_T$$

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 ,问应选择什么型号的晶闸管?

解 选择晶闸管额定电压:

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

按晶闸管参数系列取 800V ,即 8 级。

选择晶闸管的额定电流:

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

按晶闸管参数系列取 100A (也可以按已知通过器件的电流有效值为 100A ,直接选额定电流为 100A 的晶闸管,可以通过有效值为 157A 的电流),所以选取晶闸管型号 $\text{KP}100 - 8\text{E}$ 。

3) 通态平均电压 $U_{T(AV)}$

当晶闸管中流过额定电流并达到稳定的额定结温时,阳极与阴极之间电压降的平均值,称为通态平均电压。当额定电流大小相同而通态平均电压较小时,晶闸管耗散功率也较小,则该管子的质量较好。

通态平均电压 $U_{T(AV)}$ 分为 A~I 共 9 个组别,对应为 $0.4 \sim 1.2\text{V}$,如 A 组的 $U_{T(AV)} = 0.4\text{V}$ 、B 组的 $U_{T(AV)} = 0.5\text{V}$ 、D 组的 $U_{T(AV)} = 0.7\text{V}$ 、I 组的 $U_{T(AV)} = 1.2\text{V}$ 等。

以上三个参数是选择晶闸管的主要技术数据,国产普通晶闸管型号的命名含义如图 1-13 所示。

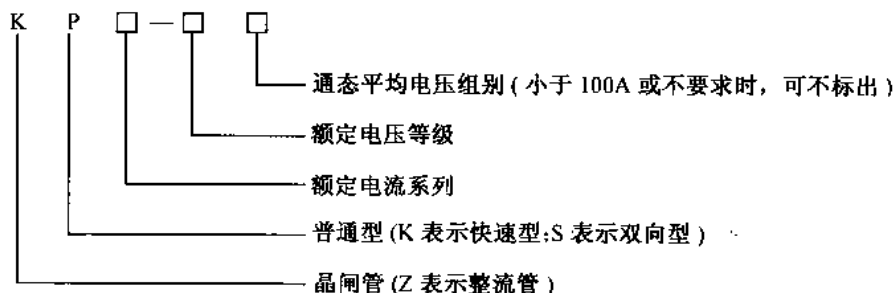


图 1-13 国产普通晶闸管型号的命名含义

4) 其他参数

维持电流 I_H , 在室温 and 门极断开时, 器件从较大的通态电流降至维持通态所必需的最小电流, 即小于维持电流时, 晶闸管就不能维持导通。它一般为几到几百毫安。维持电流与器件容量、结温有关, 器件的额定电流愈大, 维持电流也愈大; 结温低时维持电流大。

擎住电流 I_L , 晶闸管刚从断态转入通态就去掉触发信号, 能使器件保持导通所需的最小阳极电流。一般擎住电流为维持电流的几倍。欲使晶闸管触发导通, 必须使触发脉冲保持到阳极电流上升到擎住电流以上, 否则会造成晶闸管重新恢复阻断状态。因此, 触发脉冲必须具有一定的宽度。

晶闸管的断态电压临界上升率 du/dt , 一般为 $25 \sim 1000 (V/\mu s)$, 通态电流临界上升率 di/dt , 一般为 $25 \sim 500 (A/\mu s)$, 使用时若超过其值, 会使晶闸管毁坏。

5) 门极参数

在室温下, 对晶闸管加上 6V 正向阳极电压, 使器件由断态转入通态所必需的最小门极电流称为门极触发电流 I_{GT} , 相应的门极电压称为门极触发电压 U_{GT} 。需要说明的是, 为了保证晶闸管触发的灵敏度, 各生产厂家的 I_{GT} 和 U_{GT} 的值不得超过标准规定的数值。但对用户而言, 设计的实用触发电路提供给门极的电压和电流应适当大于标准值, 这样才能使晶闸管可靠触发导通。

(4) 晶闸管的派生器件

① 快速晶闸管是专为快速应用而设计的晶闸管, 国产快速晶闸管为 KK 系列。常规的快速晶闸管工作在 400Hz 以下, 更高频的晶闸管可应用于 10kHz 以上的斩波或逆变电路中。快速晶闸管的开关时间以及 du/dt 和 di/dt 耐量都有了明显改善。从关断时间来看, 普通晶闸管一般为数百微秒, 快速晶闸管只需数十微秒, 而高频晶闸管则为 $10\mu s$ 左右。与普通晶闸管相比, 高频晶闸管的不足在于其电压和电流定额都不易做高。由于工作频率较高, 选择快速晶闸管和高频晶闸管的通态平均电流时, 不能忽略其开关损耗的发热效应。

② 逆导晶闸管是将晶闸管反向并联一个二极管制作在同一管芯上的电力集成器件。这种器件不具有承受反向电压的能力, 一旦承受反向电压即开通, 其电气图形符号和伏安特性曲线如图 1-14 所示。与普通晶闸管相比, 逆导晶闸管具有正向压降小、关断时间短、高温特性好、定结温度高等优点, 可用于不需要阻断反向电压的电路中。逆导晶闸管的额定电流有两个: 一个是晶闸管电流, 另一个是与之反向并联的二极管电流。

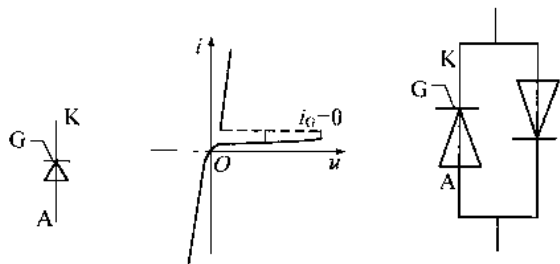


图 1-14 逆导晶闸管的电气符号、伏安特性曲线和等效电路

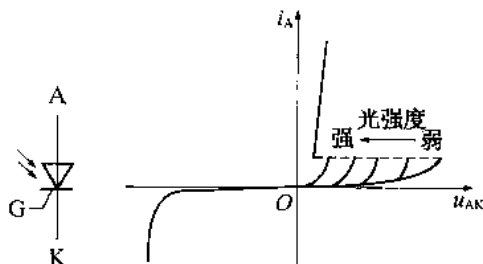


图 1-15 光控晶闸管的电气图形符号和伏安特性曲线

③ 光控晶闸管又称为光触发晶闸管, 是利用一定波长的光照信号触发导通的晶闸管,