



教育部提升专业服务能力项目
机电一体化技术专业核心课程建设规划教材

电气传动技术

主 编 ● 周北明 潘 玲 赵淑娟
副主编 ● 黄 戎 张晓娟 朱顺兰
主 审 ● 毛臣健

DIANQI CHUANDONG

JISHU



西南交通大学出版社



教育部提升专业服务能力项目
机电一体化技术专业核心课程建设规划教材

电气传动技术

主 编◎周北明 潘 玲 赵淑娟
副主编◎黄 戎 张晓娟 朱顺兰
主 审◎毛臣健

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

电气传动技术 / 周北明, 潘玲, 赵淑娟主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2016.2

教育部提升专业服务能力项目. 机电一体化技术专业
核心课程建设规划教材

ISBN 978-7-5643-4580-8

I. ①电… II. ①周… ②潘… ③赵… III. ①电力传
动—高等教育—教材 IV. ①TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 033898 号

教育部提升专业服务能力项目
机电一体化技术专业核心课程建设规划教材

电气传动技术

主编 周北明 潘玲 赵淑娟

责任编辑	张华敏
特邀编辑	鲁会茹 唐建明
封面设计	何东琳设计工作室
	西南交通大学出版社
出版发行	(四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都勤德印务有限公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	8
字 数	198 千
版 次	2016 年 2 月第 1 版
印 次	2016 年 2 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-4580-8
定 价	25.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

电气传动控制系统的概念从出现以来,就得到了快速的发展。而随着自动化技术的飞速发展,电气传动控制系统也日新月异。电气传动控制系统就是利用机器(通常为传动控制系统、计算机等)尽可能地代替人的体力活动,并且争取在功能方面不断得到改善进而超出人的能力。电气传动控制系统的研究领域及应用范围十分广泛、例如,自动控制、人工智能、PLC 控制系统、智能机器人,等等。为了适应高职教育的特点,为高职教育机电行业培养更多的高素质技能型人才,我们根据教育部专业与课程改革的要求,并广泛地征求企业、相关院校和本专业往届毕业生对本门课程的反馈意见,在既能体现工程实际应用,又能满足教学要求的基础上,编写了本教材。

本教材主要设置了四个学习项目,内容包括电力电子和电气传动在工程实践中的应用,涉及内容较为广泛。电力电子部分主要介绍了组成可控整流电路的关键元件——晶闸管的结构、特性和工作原理,通过任务的实施,让学生能够读懂晶闸管控制电路图,能够正确对晶闸管进行选型计算,安装、调试晶闸管整流调压电路。电气传动部分主要介绍了交流变频技术、伺服系统以及步进传动系统,分别以西门子 MM440、三菱 MR-JE、雷赛 3ND583 为载体进行相关内容的介绍和实践训练。

本教材的内容设置强调以工程应用为主,力求使读者能够对电气传动领域常见的知识有一个系统的了解和掌握,并且从中学到工程实践和项目实现的基本方法,提高学生的工程实践能力和综合运用能力。

本教材适合高职院校机电专业高年级学生阅读,也适合刚参加工作但缺乏实践经验的大学毕业生以及电气传动装置生产厂家的工程技术人员和生产第一线的调试、维护人员学习使用,同时也可作为职高、技校、工厂职工培训的教材。

本书由周北明、潘玲、赵淑娟担任主编,黄戎、张晓娟、朱顺兰担任副主编,毛臣健主审。本书的编写得到了重庆工业职业技术学院自动化学院的领导及相关专业教师的大力支持和帮助,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中,我们还参考了大量同行的著作和文献资料,在此也表示衷心感谢。由于编者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评和指正。

编 者

2016 年 1 月

目 录

绪 论	1
项目一 可控整流调压电路的制作	5
项目描述	5
教学目标	5
技能要求	6
任务一 晶闸管的认识及基本检测	6
任务二 制作调试晶闸管简易调光电路	22
任务三 安装调试三相晶闸管可控整流电路的触发电路	33
任务四 制作调试三相半波可控整流电路	39
项目二 传输带变频调速装置的安装与调试	44
项目描述	44
教学目标	45
技能要求	45
任务一 认识西门子 MM440 变频器的组成结构	45
任务二 安装调试变频器控制三相异步电动机正反转运行线路	62
任务三 安装调试外部模拟量控制三相异步电动机调速控制线路	69
任务四 变频器的 PID 控制运行操作	71
拓展任务	76
项目三 三菱交流伺服调速与定位系统的安装与调试	80
项目描述	80
教学目标	80
技能要求	81
任务一 交流伺服电机驱动器的参数设置	81
任务二 交流伺服电机的位置控制	103
拓展任务	105
项目四 步进电机调速定位控制系统的设计	107
项目描述	107
教学目标	107
技能要求	107
任务一 步进电机的正反转控制	108
任务二 步进电机的调速控制	121
参考文献	122

绪 论

自 20 世纪 50 年代末第一只晶闸管问世以来,电力电子技术开始登上现代电气传动技术舞台,以此为基础开发的可控硅整流装置,是电气传动领域的一次革命,使电能的变换和控制从旋转变流机组和静止离子变流器进入由电力电子器件构成的变流器时代,这标志着现代电力电子技术的诞生。

那么究竟什么是现代电力电子技术呢?麻省理工学院的 Kassakian 教授的观点是:“目前电子技术的典型应用是信息处理,这些应用都需要电源提供电能;而电力电子技术主要关心的是能量处理,它把电能从一种形式高效地转换成另外一种形式”,这里强调的是电能的转换和利用效率。九州大学的原田耕介先生认为:“电力电子技术是一种借助于半导体功率器件的开关技术”,这里强调的是电力电子器件的开关作用。柏林工业大学的 Heuman 教授认为:“电力电子技术借助于半导体功率器件对电能进行控制”,这里强调的是对电能的控制。综上所述,电力电子技术就是采用功率半导体器件对电能进行转换、控制和优化利用的技术,它广泛应用于电力、电气自动化及各种电源系统等工业生产和民用部门。

从近几十年的发展来看,半导体器件确实起到了推动电子技术发展的作用。晶闸管等电力半导体器件扮演了电力电子发展中的重要角色。进入 20 世纪 70 年代,晶闸管开始形成由低电压小电流到高电压大电流的系列产品。

普通晶闸管是一种不能自关断的半控型器件,被称为第一代电力电子器件。随着电力电子技术理论研究和制造工艺水平的不断提高,电力电子器件在容量和类型等方面得到了很大发展,已先后研制出 GTR、GTO、功率 MOSFET 等自关断全控型第二代电力电子器件。这些年来的经验表明:当某种关键的半导体器件诞生后,往往会带动电子技术产生一个质的飞跃。可以看到,以绝缘栅双极晶体管(IGBT)为代表的第三代电力电子器件,已开始向大容量、高频率、响应快、低损耗方向发展,这又是一个质的飞跃。进入 20 世纪 90 年代后,电力电子器件已朝着复杂化、标准模块化、智能化、功率集成的方向发展,以此为基础进一步促进了电力电子技术的理论研究和器件的开发研制,并加快了电力电子器件应用于高新技术领域的步伐。

目前,电力电子技术的应用已从机械、石化、纺织、冶金、电力、铁路、航空、航海等领域,进一步扩展到汽车、现代通信、家用电器、医疗设备、灯光照明等领域。进入 21 世纪,随着新的理论、新的器件、新的技术的不断涌现,特别是与微电子(计算机与信息)技术的日益融合,电力电子技术的应用领域也不断得以拓展,逐步进入到智能电力电子技术时代。

1. 电力电子技术的主要应用概况

电力电子技术以实现功率变换为主,传递的是电能。微电子技术则以实现信号变换为主,传递的是信息。如果说微电子技术是弱电电子的话,电力电子技术则是强电电子,是现代工业电子。概括地说,电力电子技术就是在采用电力半导体器件实现各种频率变换的基础上,完成运动控制(Motion Control)和功率变换(Power Conversion),提供各种变频器和功率控制电源。目前,电力电子技术的应用几乎贯穿在电能的获取、传输、变换和利用的每个环节。

1.1 可再生能源发电中的电力电子技术

利用风能、太阳能、潮汐能、地热能等新能源发电,是克服能源危机(煤、石油、天然气等石化类能源日趋匮乏)的重要措施,它们是可再生的绿色能源,能使目前环境和气候的恶化得到缓解。但是这些能源转换的电能,其电压、频率难免波动,无法并网应用。通过电力电子变换装置,能使这些波动的电能以恒压/恒额方式输出,实现这些新能源的实用化。

1.2 电动机的优化运行

全世界的用电量中约有 60% 是通过电动机来消耗的。电动机只是在额定负载附近才是高效率的,但由于对过载、安全系数的考虑,电动机经常是在低效状态下运行。采用计算机与电力电子技术结合,能使电动机经常处于高效状态,具有巨大的经济效益。

1.2.1 变负载电动机的调压节能

车床、冲床、剪床等许多机械中,作为动力源的电动机是按最大负载功率来选取的。而它们的大部分工况是轻载。根据负载力矩大小的变化,采用电力电子技术自动改变电动机的端电压(如轻载时降低电压),就能使电动机轻载损耗降低。这就是所谓的“马达节能器”。

1.2.2 通用机械的节能调速

风机、泵、压缩机等通用机械用电量占电动机用电量的一半左右。采用变频调速调节流量,比以往用挡板、阀门之类来调节可节电 20%~70%。

1.2.3 工业应用机械的工艺调速

轧钢、有色金属压延、造纸、榨糖、大型机床等,基于工艺需要,其拖动电动机需要调速。采用变频调速,不仅效率高、可节能,而且能使产品产量增加、质量提高。

1.2.4 运输机械的牵引调速

电气机车、内燃机车、地下铁道、轻轨机车、无轨电车,乃至磁悬浮列车和电动汽车,以及电梯、自动扶梯、矿井卷扬机和龙门吊等,都是电力牵引系统。这些运输工具在运行中要求能及时调速。目前交流电动机变频调速在电力牵引应用中已占了优势。

1.2.5 精密调速

数控机床、伺服传动、机器人等各种运动控制,都要求有很宽的调速范围和很高的调速精度,在国防上也有很多精密调速的需求。目前,采用永磁无刷电动机达到 1:50 000 到 1:100 000 的宽域高精度调速已经实现。

按照最保守的计算,目前全国现有电动机需要改造为变频调速的市场总额估计是 1 200 亿 ~ 1 800 亿元人民币,而我国变频器市场的年销售额约为 15 亿元人民币。照此看来,需要 100 年才能改造一遍,何况每年还有许多新机组投入。

1.3 高能量密度的电源应用

1.3.1 电化学电源

铜、铝、锌、镍等有色金属,氯碱等化工原料,都是靠电解来得到的。现在几十万安培的直流电解装置早已实现国产化。

1.3.2 开关电源

体积小、重量轻、效率高的各种开关电源,已经从电视机、计算机、各种仪器仪表上的小功率应用,扩展到通信电源、电焊电源、X 光电源和 CT 电源、加速器磁铁电源、军用电源等中功率应用。通过适度提高开关频率,电源的体积、质量会得到大幅减少。

1.3.3 变频电源

适应各种应用需要的、许多原来采用电子管的高频电源已越来越多地被采用电力电子器件的固态化电源替代。例如,超声波电源、臭氧发生器、负氧离子发生器、荧光灯电子镇流器、热处理电源、声纳电源、无线电(长、中、短波)发射电源以及微波电源。今后,随着电力电子技术的发展,更高频率、更大功率的固态化电源将不断被开发出来。

1.3.4 特种电源

不间断电源(UPS)、稳压稳流电源、高精度洁净电源等特种电源,采用电力电子技术后,各方面指标均大大改善。

总而言之,在各种与电相关的地方,凡是要求调节控制以实现自动化、智能化的场合,电力电子技术将同微电子-计算机技术相辅相成,发挥巨大作用。

1.4 信息领域中的电力电子技术

信息技术的基础是微电子-计算机技术,它同电力电子技术是姐妹技术,互相密切结合,成为改造传统产业和发展各种高新技术的基础技术。反过来,电力电子技术为信息技术提供先进的电源和运动控制,日益成为信息产品中不可缺少的一部分。信息产业要用到一系列电源(如各种交直流稳压电源、开关电源、UPS)以保证信息产品的正常运行。

另外,现代信息产品对电源的体积、重量、效率都提出了越来越高的要求。例如,通信和计算机产品的小型化,使传统电源明显地不适应。笔记本电脑必须采用高能量密度的精密电源。通信电源(380 V 交流/48 V 直流)在采用高频开关电源技术后,相同功率产品与十年前比,已经缩小到 1/15,它们在国内的销售额已经达到近百亿元;其二次电源(由直流 48 V 通过 DC/DC 变换器转换到 36 V、24 V、12 V、6 V 等)几乎全部模块化;特别是计算机芯片的工作电压由 6 V、3 V……向 1 V 乃至更低发展,为此要求电力电子技术提供低电压的高效率大电流直流电源;另一方面,广播电视和军事通信(从超长波到短波,包括潜水艇不可缺少的声纳)需要很大功率、覆盖很宽频率范围的固态化、小型化发射电源,所有这些新电源

都是电力电子新技术的应用领域。

在未来的电动机车中,蓄电池快速充电也是不可缺少的重要环节,这些都离不开电力电子新技术。

运动控制产品在信息产业中也有很大的需求。在信息工业(特别是微电子产业)的各种精密微细加工设备中,高精度的伺服控制器、机器人、机械手的工作都对运动控制提出了更高的要求。

2. 电力电子器件的发展趋势

电力半导体器件是电力电子应用技术的基础,必须重视电力电子器件的发展。

国际上电力半导体器件经历了晶闸管(SCR)、可关断晶闸管(GTO)和场控器件(IGBT和功率 MOSFET)三个阶段。单管耐压 6.5 kV、电流 1 kA、工作频率在 20~50 kHz 的大功率 IGBT,耐压 600 V、电流 100 A、工作频率在 150(硬开关)~300 kHz(软开关)的高频化 IGBT 均已问世。

进入 20 世纪 90 年代,电力电子器件的研究和开发已进入大功率化、高频化、标准模块化、集成化和智能化时代。由于加工工艺的不断进步,各类电力电子器件的容量日益增大。理论分析和实验证明,电气产品的体积与重量的减小与供电频率的平方根成反比,也就是说,当我们将 50 Hz 的标准工频大幅提高之后,采用这种工频的电气设备的体积与重量就能大大减小,从而节省了制造成本与运输成本,设备的系统性能亦大为改善,尤其是对于航天工业,其意义更加深远。

电力电子器件的高频化是今后电力电子技术创新的主导方向,而其硬件结构的标准模块化是器件发展的必然趋势。

目前先进的电力电子器件模块,已经包括开关元件和与其反向并联的续流二极管在内,以及驱动保护电路等多个单元,都是标准化生产出来的系列产品,并且可以在一致性与可靠性上达到极高的水平。目前世界上许多大公司已开发出 IPM 智能化功率模块。

IPM 智能化功率模块的主要特点是:

- ① 它内部集成了功率芯片、检测电路及驱动电路,使主电路的结构达到最简。
- ② 其功率芯片采用的是开关速度高、驱动电流小的 IGBT,且自带电流传感器,可以高效地检测出过电流和短路电流,给功率芯片以安全保护。
- ③ 在内部配线上,将电源电路和驱动电路的配线长度控制到最短,从而很好地解决了浪涌电压及噪声影响误动作等问题。
- ④ 自带可靠的安全保护措施,当故障发生时能及时关断功率器件并发出故障信号,对芯片实施双重保护,以保证其运行的可靠性。

项目一 可控整流调压电路的制作

项目描述

当今，自动化控制系统已经在各行各业得到广泛的应用和发展，尤其是自动调速控制系统的应用在现代化生产中起着尤为重要的作用。直流调速系统是自动控制系统的主要形式。而调压调速是直流调速系统采用的主要方法。要实现调压调速功能，首先要有一个平滑可调的直流电源。常用的可调直流电源有以下三种：

- ① 旋转变流机组——由交流电动机和直流发电机组成机组，以获得可调的直流电压。
- ② 静止可控整流器——由静止的可控整流器，例如晶闸管可控整流器组成，以获得可调的直流电压。
- ③ 直流斩波器和脉冲调制变换器——由恒定直流电源或不整流电源供电，利用直流斩波器或脉宽调制变换器产生可变的平均电压。

由晶闸管整流装置提供可调电压的直流调速系统（简称 KZ-D 系统）和旋转变流机组与其他静止变流装置相比，不仅在经济性和可靠性上有很大提高，而且在技术性能上也显示出较大的优越性。

晶闸管虽然有许多优点，但是它承受过电压和过电流的能力较差，很短时间的过电压和过电流就会把器件损坏。为了使器件能够可靠地长期运行，必须避免过电压和过电流的发生并采用恰当的保护措施。为此，在变压器二次侧并联电阻和电容以构成交流侧过电压保护；在直流负载侧并联电阻和电容以构成直流侧过电压保护；在晶闸管两端并联电阻和电容以构成晶闸管关断过电压保护；并把快速熔断器直接与晶闸管串联，对晶闸管起到过流保护作用。

晶闸管属于功率器件，是一种功率半导体开关元器件。按照其工作特性，晶闸管可分为单向晶闸管（SCR）、双向晶闸管（TRIAC）。晶闸管在电路的应用中具有效率高、控制特性好、寿命长、体积小、功能强等优点。晶闸管在应用电路中的作用具体体现在：可控整流，如同二极管整流一样，将交流整流为直流，并在交流电压不变的情况下，有效地控制直流输出电压的大小，实现交流—可变直流的转变。因此，晶闸管元器件被广泛应用于各种电子设备和电子产品中，多用于可控整流、逆变、变频、调压、无触点开关等。家用电器中的调光灯、冷暖空调、热水器、冰箱等设备中也大量使用了晶闸管器件。

教学目标

通过本项目的学习和训练，了解组成可控整流电路的关键元件——晶闸管的结构、特性

和工作原理,能够读懂晶闸管控制电路图,正确对晶闸管进行选型计算,安装、调试晶闸管整流电路。

技能要求

能根据元器件的外形、型号以及符号识别晶闸管,能够读懂晶闸管组成的应用电路,掌握相关工艺,能按照电路图要求完成晶闸管应用电路的安装调试。

任务一 晶闸管的认识及基本检测

任务要求

本学习任务的基本要求如下:

- ① 认识晶闸管的封装外形、型号以及电气符号;
- ② 理解晶闸管的单向导通特性;
- ③ 会计算晶闸管的额定电压及额定电流,能确定晶闸管的型号;
- ④ 能用万用表等仪器判别晶闸管的极性及好坏。

任务目标

(1) 知识目标

认识和了解晶闸管,了解晶闸管的内部结构,掌握晶闸管的特性以及主要参数,掌握晶闸管的选型方法,了解晶闸管的命名规则。

(2) 技能目标

学会使用万用表对晶闸管进行检测,能够判断出晶闸管的管脚排列。

(3) 素质目标

培养团结协作、沟通交流、解决问题、学习、创新的能力。

任务相关知识

1. 晶闸管的结构

晶闸管的外形及符号如图 1-1 所示。晶闸管的外形大致有三种:塑封形、螺栓形和平板形。塑封形晶闸管如图 1-1(a)中第五只管子所示,多见于额定电流 10 A 以下;螺栓形晶闸管如图 1-1(a)中第二、三只管子所示,一般用于额定电流 10~200 A;平板形晶闸管如图 1-1(a)中第一只管子所示,一般用于额定电流 200 A 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。

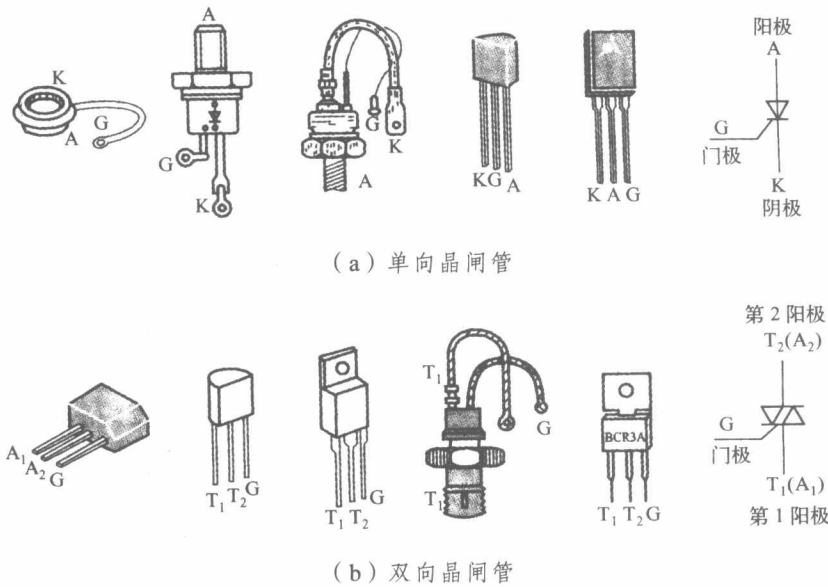


图 1-1 晶闸管的外形及符号

晶闸管是四层 ($P_1N_1P_2N_2$) 三端 (A、K、G) 器件, 其内部结构和等效电路如图 1-2 所示。

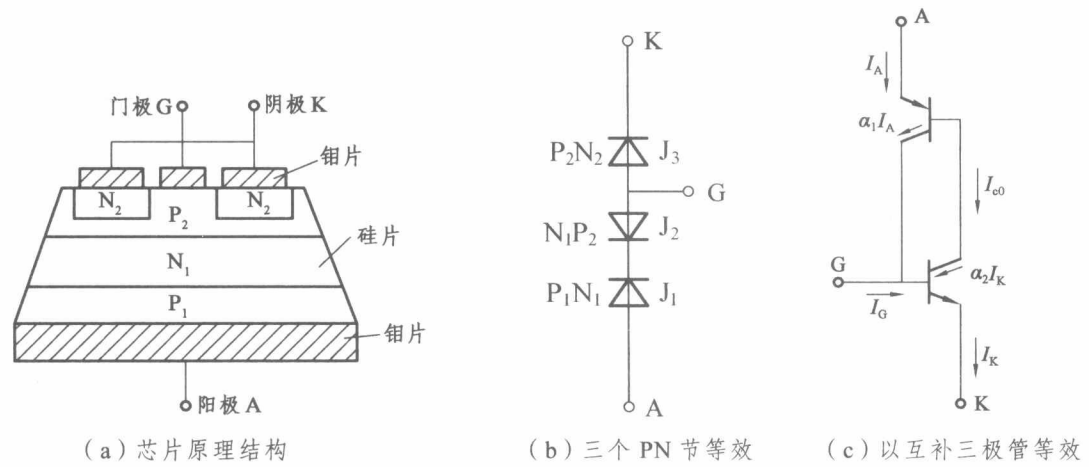


图 1-2 晶闸管的内部结构及等效电路

2. 晶闸管的导通及关断条件

晶闸管是单向可控的开关元件, 它的导通和关断条件可通过图 1-3 所示的实验线路来说明。主电源 E_a 和门极电源 E_G 通过闸刀开关 S_1 和 S_2 正向或反向闭合来接通晶闸管的有关电极, 用灯泡和电流表来观察晶闸管的通断情况。实验步骤如下:

- ① 当 S_1 向左闭合, 晶闸管承受反向阳极电压, 不论 S_2 正向或反向闭合, 即门极承受何种电压, 灯泡都不亮, 说明晶闸管处于关断状态。
- ② 当 S_1 向右闭合, 晶闸管承受正向阳极电压, 仅当 S_2 正向闭合, 即门极也承受正向电压时, 灯泡才亮。

③ 晶闸管一旦导通, S_2 不论正接、反接或者断开, 晶闸管都保持导通状态不变, 这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(维持电流)以下。

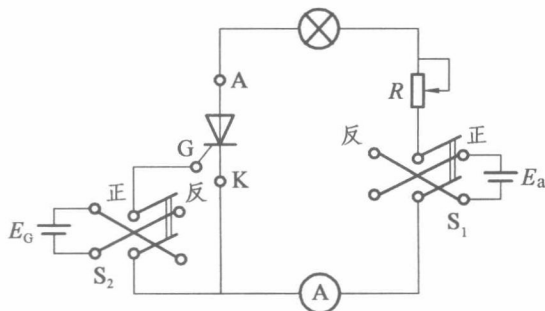


图 1-3 晶闸管的导通关断实验电路

由以上实验结果可得到如下结论:

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

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毫安到几百毫安, 而晶闸管导通后, 可以通过几百、几千安的电流。

晶闸管的关断条件: 使流过晶闸管的阳极电流小于维持电流。维持电流是保持晶闸管导通的最小电流。

3. 晶闸管的工作原理

如图 1-2 (b) 所示, 晶闸管可等效为三个 PN 结 J_1 、 J_2 、 J_3 串联, 因此, 可用三个串联的二极管等效。当阳极 A 和阴极 K 两端加正向电压时, J_2 处于反偏, PNP 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, PNP 结构也处于阻断状态, 只能通过很小的反向漏电流。

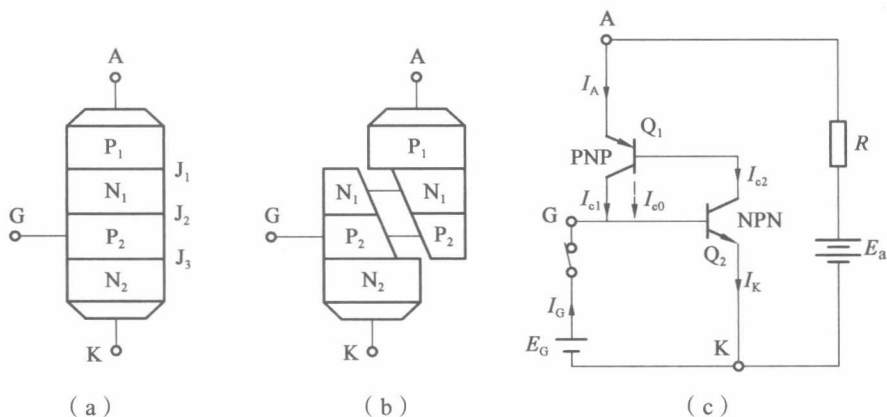


图 1-4 晶闸管的工作原理示意图

晶闸管的 PNP 结构又可以等效为两个互补连接的三极管,如图 1-2 (c) 所示,其中 N_1 和 P_2 区既是一个三极管的集电极同时又是另一个管子的基极。晶闸管的工作原理可依此解释,如图 1-4 所示。

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,则有电流 I_G 从门极流入 NPN 管的基极,经 NPN 管放大后的集电极电流 I_{c2} 作为 PNP 管的基极电流,再经 PNP 管的放大,其集电极电流 I_{c1} 流入 NPN 管的基极,如此循环,产生强烈的正反馈过程:

$$I_G \rightarrow I_{b2} \uparrow \rightarrow I_{c2} (I_{b1}) \uparrow \rightarrow I_{c1} \uparrow$$

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的大小。

晶闸管一旦导通后,即使 $I_G = 0$,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,晶闸管方可恢复阻断状态。

4. 晶闸管的阳极伏安特性

晶闸管的阳极和阴极间的电压与阳极电流之间的关系,称为阳极伏安特性。其伏安特性曲线如图 1-5 所示。

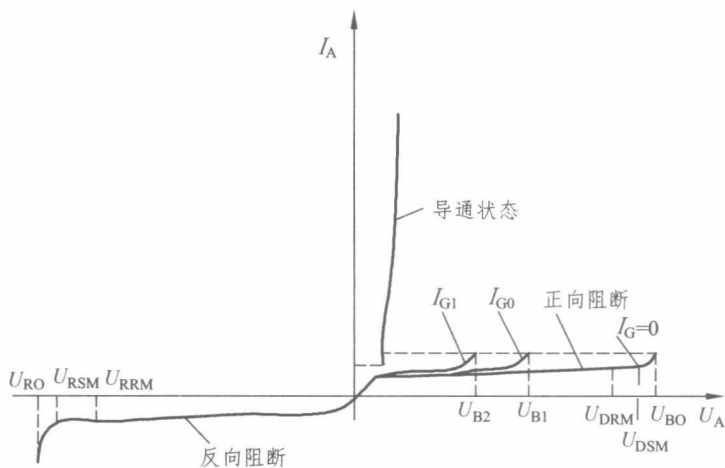


图 1-5 晶闸管的阳极伏安特性

图中,第 I 象限为正向特性,当 $I_G = 0$ 时,如果在晶闸管两端所加正向电压 U_A 小于正向转折电压 U_{BO} ,则元件处于正向阻断状态,只有很小的正向漏电流。当 $U_A = U_{BO}$ 时,漏电流急剧增大,器件导通,正向电压降低,其特性和二极管的正向伏安特性相仿。通常不允许采用这种方法使晶闸管导通,因为这样做容易造成晶闸管损坏。一般采用的方法是: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 1-5 中第 III 象限所示,可见其与整流二极管的反向伏安特性相似。晶闸管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, 会造成晶闸管反向击穿而损坏。

5. 晶闸管的阳极主要参数

晶闸管的主要参数是其性能指标的反映, 表明了晶闸管的性能和能力。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。表 1-1 列出了晶闸管的主要参数。

表 1-1 晶闸管的主要参数

通态平均电流 $I_{T(AV)}$ (A)	断态正、反向重复 峰值电压 U_{DRM} 、 U_{RRM} (V)	断态正、反向重复 峰值电流 I_{DRM} 、 I_{RRM} (mA)	维持 电流 I_H (mA)	通态峰值 电压 U_{TM} (V)	工作 结温 T_j (°C)	断态电压 临界上升率 du/dt (V/μs)	断态电 流临界 上升率 di/dt (A/μs)	浪涌电流 I_{TSM} (kA)	
1	50 ~ 1 600	≤3	≤10	≤2.0				L 级 0.12	H 级 0.20
3	100 ~ 2 000	≤8	≤30	≤2.2	- 40 ~ + 100	25 ~ 800	25 ~ 50	0.036	0.056
5			≤60					0.064	0.09
10		≤10	≤100					0.12	0.19
20								0.24	0.38
30	100 ~ 2 400	≤20	≤150	≤2.4		50 ~ 1 000		0.36	0.56
50								0.64	0.94
100	100 ~ 3 000	≤40	≤200	≤2.6	- 40 ~ + 125	100 ~ 1 000	25 ~ 100	1.3	1.9
200							50 ~ 200	2.5	3.8
300		≤50	≤300				50 ~ 300	3.8	5.6
400								5.0	7.5
500								6.3	9.4
600								7.6	11
800		50 ~ 500	10				15		
1 000			13				18		

5.1 额定电压 U_{TN}

由图 1-5 所示的晶闸管阳极伏安特性曲线可知, 当门极开路, 元件处于额定结温时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 100 V), 分别得到正向不重复峰值电压 U_{DSM} 和反向不重复峰值电压 U_{RSM} , 再各乘以 0.9, 即得正向断态重复峰值电压 U_{DRM} 和反向阻断重复峰值电压 U_{RRM} , 将 U_{DRM} 和 U_{RRM} 中较小的那个值百位数取整后作为该晶闸管的额定电压等级。例如, 某晶闸管实测 $U_{DRM} = 928\text{ V}$, $U_{RRM} = 863\text{ V}$, 将二者较小的 863 V 百位数取整得 800 V, 该晶闸管的额定电压为 800 V, 即 8 级。电压级别如表 1-2 所示。

表 1-2 晶闸管正反向重复峰值电压的标准级别

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	11	1 100	26	2 600
5	500	12	1 200	28	2 800
6	600	14	1 400	30	3 000
7	700	16	1 600		

晶闸管在使用时，若外加电压超过反向击穿电压，会造成元件永久性损坏。若超过正向转折电压，元件就会误导通，经数次这种导通后，会造成元件的损坏；此外，元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到的最大瞬时值电压 U_{TM} 的 2~3 倍来选择晶闸管的额定电压，即

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

5.2 额定电流 $I_{T(AV)}$

元件的额定电流也称为额定通态平均电流，是指在环境温度为 40℃ 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 1-1），称为该晶闸管的额定电流。

晶闸管的额定电流用通态平均电流来表示，是因为晶闸管是可控的单向导通元件。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表示的，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。

按照规定条件，流过晶闸管的工频正弦半波电流波形如图 1-6 所示。

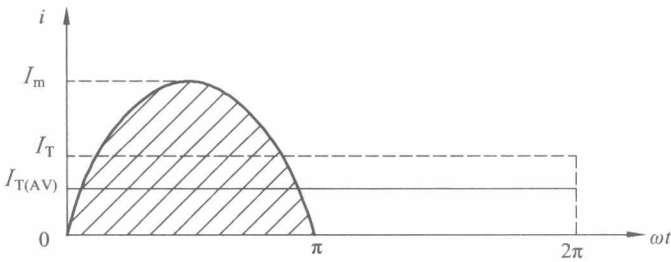


图 1-6 晶闸管的工频正弦半波电流波形

设该电流的峰值为 I_m ，则通态平均电流

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

该电流波形的有效值

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

正弦半波电流的有效值与平均值之比为

$$\frac{I_T}{I_{T(AV)}} = \frac{\pi}{2} = 1.57 = K_f \text{ (称为波形系数)} \tag{1-3}$$

由式 (1-2) 可知, 额定电流为 100 A 的晶闸管, 其允许通过的电流有效值为 157 A。

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, 从而它的电流平均值和有效值的关系也就不一样。选择晶闸管额定电流时, 要依据实际波形的电流有效值等于额定电流 $I_{T(AV)}$ 时的电流有效值的原则 (即管芯温升结温一样) 进行换算, 即

$$I_T = 1.57 I_{T(AV)} \tag{1-4}$$

$$I_{T(AV)} = I_T / 1.57 \tag{1-5}$$

由于晶闸管的过载能力差, 一般选用时取 (1.5 ~ 2) 倍的安全裕量, 即

$$I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) I_T / 1.57 \tag{1-6}$$

5.3 通态平均电压 $U_{T(AV)}$

当晶闸管流过正弦半波的额定电流达到稳点的额定结温时, 阳极与阴极之间电压降的平均值, 称为通态平均电压。其分组列于表 1-3 中。

表 1-3 晶闸管正向通态平均电压的组别

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

额定电流大小相同而通态平均电压小的晶闸管, 耗散功率小, 管子质量较好。

下面通过一个实例来表明晶闸管的选型原则:

【例】 有一晶闸管接在 220 V 的交流回路中, 通过器件的电流有效值为 100 A, 应选择什么型号的晶闸管?

解 晶闸管额定电压

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

按晶闸管参数系列取 800 V, 即 8 级。

晶闸管的额定电流

$$I_{T(AV)} = \frac{(1.5 \sim 2) I_T}{1.57} = (1.5 \sim 2) \times \frac{100}{1.57} \text{ A} = 95 \sim 128 \text{ A}$$

按晶闸管参数系列取 100 A, 所以选取晶闸管的型号是 KP100-8E。