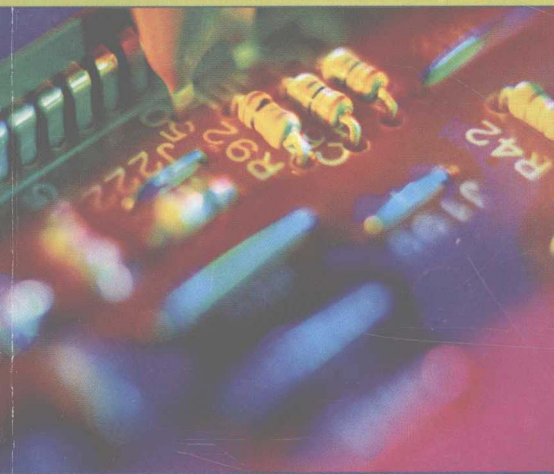


高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电力电子技术

苏海滨 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电力电子技术

苏海滨 主编

高等教育出版社

内容提要

本书介绍了常用电力电子器件(晶闸管、GTO、GTR、MOSFET、IGBT等)的工作原理、特性以及这些器件的电路工作原理与用途。本书简化理论分析,突出与实践相结合。本书主要内容为可控整流、交流开关与交流调压、有源逆变与无源逆变、直流斩波等,同时提供了部分实验电路的实验指导。

本书可作为职业技术(高职高专)院校电气自动化技术、电气技术、工业企业电气化、数控技术、电子技术等专业教材,亦可供有关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/苏海滨主编. —北京:高等教育出版社,2004.7

ISBN 7-04-014937-0

I. 电... II. 苏... III. 电力电子学-高等学校:技术学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第044294号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 许海平 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 马静如 责任校对 杨雪莲 责任印制 孔源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京市卫顺印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 12.5
字 数 300 000

版 次 2004年7月第1版
印 次 2004年7月第1次印刷
定 价 15.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

虽然近年来高等职业技术教育在我国发展迅速,但高职教材建设相对落后,为此高等教育出版社提出了加快高职教材建设计划。随着现代电力电子器件的发展,电力电子技术在工业生产中应用越来越普遍,电力电子技术已成为高职高专电子、电气类专业的重要专业基础课程。本书为 21 世纪高职高专规划教材,可作为高职高专电类或相关专业教材,亦可供电气工程技术人员参考。

本书主要内容:常用电力电子器件(功率二极管、晶闸管、可关断晶闸管、大功率晶体管、功率场效应晶体管、绝缘栅双极晶体管)的工作原理及特性;由上述器件组成的可控整流电路、交流开关与交流调压、有源逆变及无源逆变电路、直流斩波电路以及变频电路的工作原理与用途,并介绍了典型的应用实例。

本书特点:在编写过程中充分考虑高职教育的特色,参考了有关行业的职业技能鉴定规范及中高级维修电工等级考核标准。内容安排上力求注重基本知识和基本技能,加大新知识、新技术学习。理论分析以定性为主,突出概念,理论联系实际以求实用。本教材建议教学学时为 72 学时,学时分配方案如下表所示,仅供参考。根据教学需要可安排一至两周课程设计。

序号	课 题	总时	讲课	实验
1	绪论	1	1	
2	第 1 章 晶闸管、二极管及单相可控整流电路	13	11	2
3	第 2 章 三相可控整流电路	20	14	6
4	第 3 章 交流开关与交流调压	8	6	2
5	第 4 章 现代电力电子器件	12	8	4
6	第 5 章 逆变电路	12	10	2
7	第 6 章 直流斩波电路	6	4	2
	合计	72	54	18

本书由苏海滨主编,徐立娟、张春阳、高丽、马林参加编写。编写分工为:苏海滨编写绪论、第 2 章;徐立娟编写第 4、5、6 章;张春阳编写第 1 章;高丽编写第 3 章;马林编写第 7 章。本书由河南工业职业技术学院王廷才副教授审阅。在编写过程中,参阅了许多同行、专家们的论著、文献,

在此一并真诚致谢。

限于编者的学术水平及实践经验,书中错漏之处在所难免,敬请广大读者提出批评和指教。

编者

2003年12月

本书主要符号

电 压 符 号

u	电压瞬时值	U_{TM}	晶闸管承受的最大正反向电压
u_1	整流变压器一次电压瞬时值	U_c	直流控制电压
u_2	整流变压器二次电压瞬时值	U_b	直流偏置电压,基极驱动电压
u_d	整流输出电压瞬时值	U_P	单结晶体管峰点电压
u_G	晶闸管门极触发电压波形	u_e	晶体管、单结晶体管发射极电压
u_r	可逆系统环流电压瞬时值	u_{bb}	单结晶体管 b_1 与 b_2 之间的电压
u_L	电感两端电压瞬时值	U_n	整流输出电压 n 次谐波分量有效值
u_O	输出电压瞬时值	U_R	电阻电压有效值
u_I	输入电压瞬时值	ΔU_d	变压器漏感引起的换相压降平均值
u_T	晶闸管两端电压瞬时值	ΔU	晶闸管导通管压降
u_D	二极管两端电压瞬时值	U_{dl}	变压器的短路电压比
U_d	整流输出电压平均值	E	电动机反电动势,直流电源
U_{d0}	$\alpha = 0$ 时整流输出电压平均值	U_{RO}	晶闸管正向转折电压
U	电压有效值,整流输出电压有效值	U_{RO}	晶闸管反向击穿电压
U_o	输出电压平均值	U_{DSM}	晶闸管正向阻断不重复峰值电压
U_2 或 $U_{2\phi}$	变压器二次相电压有效值	U_{DRM}	晶闸管正向阻断重复峰值电压
U_{2l}	变压器二次线电压有效值	U_{RSM}	晶闸管反向阻断不重复峰值电压
U_{Tn}	晶闸管额定电压	U_{RRM}	晶闸管反向阻断重复峰值电压
$U_{T(AV)}$	晶闸管通态平均电压	$U_{GE(th)}$	IGBT 的栅 - 射极开启电压
U_G 或 u_G	晶闸管门极触发脉冲 栅极驱动电压	BV_{CE}	最高集电极电压额定值
U_{CES}	GTR 的饱和压降	U_{BES}	GTR 的基极正向压降

电 流 符 号

i	电流瞬时值	I_{dT}	流过晶闸管的平均电流
i_O	输出电流瞬时值	I_T	流过晶闸管的电流有效值
i_{O1}	输出电流基波分量	I_{Tm}	流过晶闸管的电流最大有效值
i_1	变压器一次电流瞬时值	I_{dD}	流过二极管的平均电流
i_2	变压器二次电流瞬时值	I_D	流过二极管的电流有效值
i_d	整流电流瞬时值	I_1	变压器一次电流有效值
i_T	流过晶闸管电流的瞬时值	I_2	变压器二次电流有效值
i_D	流过二极管电流的瞬时值	I_{Tn}	晶闸管的额定有效值电流
i_r	逆变电路环流瞬时值	$I_{T(AV)}$	晶闸管的通态平均电流(额定电流)

i_{ir}	变压器一次电流基波分量瞬时值	I_n	变压器额定电流
i_{d-}	整流输出电流交流分量瞬时值	I_d	整流电路的直流输出平均电流
i_{li}	斩波器负载电流瞬时值	I_{LB}	斩波电路中的临界连续电流
I	电流有效值, 整流输出电流有效值	I_{dk}	负载电流连续的临界平均电流
I_L	晶闸管的擎住电流或 斩波器负载电流平均值	I_H	晶闸管的维持电流
I_{TSM}	晶闸管允许的浪涌电流	I_{RS}	晶闸管反向不重复平均电流
I_{CT}	晶闸管门极触发电流	I_{GD}	晶闸管门极不触发电流
I_{11}	变压器一次侧基波电流有效值	I_{2D}	变压器二次电流直流分量值
I_p	单结晶体管的峰值电流	I_v	单结晶体管的谷点电流
I_c	单结晶体管发射极电流	$I_{S/B}$	GTR 二次击穿电流

其他符号

$\cos \varphi$	功率因数	L_b	平衡电抗器
$\cos \phi$	基波分量电压电流相位差的余弦	m	相数、一周期的脉波(波头)数
α	晶闸管的控制角	P_d	整流输出的直流功率
	晶体管共基电流放大系数	P_D	直流电动机的反电动势功率
β	晶闸管的逆变角	P_R	电阻上消耗的功率
	晶体管共射电流放大系数	S	视在功率
θ_T	晶闸管的导通角		变压器容量
θ_D	二极管的导通角	R_T, r_T	从二次侧计算变压器的线圈电阻
γ	换相重叠角	R_d	直流负载电阻
δ	晶闸关断时间所对应的角度	R_L	负载电阻
η	单结晶体管的分压比·效率	R_t	整流装置等效内阻
ω	角频率	R_D	直流电动机电枢电阻
t	时间	R_Σ	回路总电阻
t_{on}	斩波器导通时间	k	占空比
t_{off}	斩波器关断时间	B	光电耦合器
S	脉动系数	K_f	波形系数
t_o	晶闸管的关断时间	f	频率
t_f	晶闸管的开通时间	T	周期
L_d	直流平均电抗器		电磁转矩
Q	电荷量	T_{im}	最高结温
ϕ	磁通	T_c	环境温度或器件外壳温度
X	电抗器的电抗值	R_{th}	PN 结的热阻
X_T	从二次侧计算变压器的漏抗	φ	阻抗角
Z 或 Z_L	负载电抗	h_{FE}	GTR 的电流增益
$P_{S/B}$	GTR 的二次击穿功率	P_C	管耗
X_b	平衡电抗器的电抗值		

目 录

绪论	1	4.1 门极可关断晶闸管(GTO)	97
第1章 晶闸管、功率二极管及单相可控整流电路	4	4.2 功率晶体管(GTR)	103
1.1 晶闸管的工作原理	4	4.3 功率场效应晶体管(MOSFET)	109
1.2 晶闸管阳极伏安特性和主要参数	6	4.4 绝缘门极晶体管(IGBT)	114
1.3 功率二极管	12	4.5 其他类型器件	120
1.4 单相半波可控整流电路	14	小结	124
1.5 单结晶体管触发电路	20	习题	124
1.6 单相全控桥整流电路	25	第5章 逆变电路	126
1.7 单相半控桥整流电路	29	5.1 有源逆变电路的工作原理	127
小结	32	5.2 有源逆变应用电路	137
习题	33	5.3 无源逆变及基本电路	143
第2章 三相可控整流电路	38	5.4 负载换流式逆变电路	145
2.1 三相半波可控整流电路	38	5.5 电压型及电流型逆变电路	149
2.2 三相全控桥整流电路	47	5.6 脉宽调制(PWM)型逆变电路	156
2.3 同步电压为锯齿波的触发电路	51	小结	163
2.4 集成触发电路	56	习题	163
2.5 触发电路与主电路电压的同步、脉冲 变压器及防止误触发措施	61	第6章 直流斩波电路	165
2.6 可控整流电路供电的电动机机械特性	63	6.1 直流斩波器的工作原理及控制方式	166
2.7 晶闸管的保护与容量扩展	68	6.2 基本斩波电路工作原理	167
小结	75	6.3 直流斩波电路	170
习题	76	小结	173
第3章 双向晶闸管及交流调压	79	习题	174
3.1 双向晶闸管	79	第7章 电力电子技术实验	175
3.2 交流开关及应用	82	实验1 单结晶体管触发电路及单相半控桥 整流电路的研究	175
3.3 单相交流调压	87	实验2 锯齿波同步移相触发与三相全控 整流电路的研究	179
3.4 三相交流调压	92	实验3 三相桥式有源逆变电路实验	183
小结	94	实验4 直流斩波电路原理实验	185
习题	94	参考文献	189
第4章 全控电力电子器件	97		

一、电力电子技术概述

自 1957 年晶闸管问世,标志着电力电子技术的诞生,从此电子技术向两个分支发展。一支以晶体管集成电路为核心形成对信息处理的微电子技术,其发展特点是集成度越来越高,集成规模愈来愈大,功能越来越全。另一支以晶闸管为核心形成对电力处理的电力电子技术,其发展特点是晶闸管的派生器件越来越多,功率越来越大,性能越来越好。电力电子技术是一门利用各种电力电子器件,对电能进行电压、电流、频率和波形等方面的控制和变换的技术,包括电力电子器件、电路和控制三个部分,是横跨电力、电子和控制三大电气工程技术之间的交叉学科。

由于电力电子器件具有体积小、重量轻、容量大、损耗小、寿命长、维护方便、控制性能好以及可采用集成电路制造工艺等优点,用它组成的装置可靠性高、节能、性能好。近半个世纪来,各种电力电子新器件不断涌现,应用范围已从传统的工业、交通、电力等部门,扩大到信息通信、家用电器以至宇宙开发等领域。

电力电子器件的发展可分为两个阶段:

1. 传统电力电子器件

主要是功率整流管与晶闸管(曾称可控硅),属于不控与半控器件。现已由普通晶闸管衍生出快速晶闸管、逆导晶闸管、双向晶闸管、不对称晶闸管等品种,器件的电压、电流等技术参数均有很大提高,单只普通晶闸管的容量已达 8 000 V、6 000 A。此类器件有两大缺陷,一是只能通过门极控制开通而不能控制关断,二是器件立足于分立元件结构,工作频率难以提高,一般难以高于 400 Hz,因而大大限制了其应用范围。但是晶闸管器件价格相对低廉,在大电流、高电压的发展空间依然较大,目前以晶闸管为核心的设备仍然在许多场合使用,晶闸管及其相关知识目前仍是初学者的基础。

2. 现代电力电子器件

20 世纪 80 年代以来,将微电子技术与电力电子技术相结合,研制出新一代高频、全控型器件称为现代电力电子器件。主要有功率晶体管(GTR),可关断晶闸管(GTO)、功率场控晶体管(MOSFET)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)、MOS 门极晶闸管(MCT)等。最有发展前途的是绝缘栅双极晶体管(IGBT),工作频率可达 20 kHz,IGBT 器件已取代 GTR。目前,电力电子器件正向智能化、模块化方向快速发展,力求将器件与驱动电路、保护电路、检测电路等集成在一个芯片或模块内,使装置更趋小型化、智能化,其典型代表产品是 IPM。而 IGCT 器件具有 IGBT 器件的开关特性,同时又具有 GTO 器件的导通特性,即集 IGBT 与 GTO 二者优势于一身,预计今后会在更多的工业领域发挥作用。

二、电力电子技术的主要功能与应用

电力电子电路是以电力电子器件为核心,通过对不同电路的各种控制来实现对电能的转换和控制,它的基本功能有以下四种:

1. 整流与可控整流电路

整流与可控整流电路亦称 AC/DC 变换电路,把交流电变换为固定或可调直流。

2. 逆变电路

逆变电路亦称 DC/AC 变换电路,把直流电变换成频率固定或频率可调的交流电。如把直流电能逆变成 50 Hz 的交流返送交流电网称为有源逆变,把直流电能逆变为固定频率或频率可调的交流供给用电器则称为无源逆变。

3. 直流斩波电路

直流斩波电路亦称 DC/DC 变换电路,其功能是把固定直流变换成可调或固定直流。

4. 交流调压与周波变换电路

交流调压与周波变换电路亦称 AC/AC 变换电路,把恒定交流变换为可变交流称为交流调压,把固定频率的交流变为频率可变的交流称为变频电路。

在实际使用时可将一种或几种功能电路进行组合,上述四种电路的变换功能统称为变流,因此电力电子技术通常也称为变流技术。也可形象通俗地讲,变流技术是将电网的交流电,通过电力电子电路进行处理变换,得到电能能在稳定、波形、频率、数值、抗干扰性能等方面符合各种用电设备需要的过程。据先进国家 20 世纪 90 年代的统计资料,超过 60% 以上的电能是经过电力电子技术处理变换后才使用的。

三、电力电子技术的发展

1. 电力电子器件的发展

根据电力电子器件发展现状及趋势,未来电子器件将在以下方面取得进展:

① 已进入实用化的电力电子器件将在功率等级、易于驱动和更高工作频率三个方面继续改善和提高。

② 新型半导体材料 SiC 的问世,在不远的将来会诞生一种集高耐压、大电流、高开关速率无吸收电路、简单门极控制、低损耗等所有优点于一身的新型 SiC 电力器件。

③ 由于 IGBT、IGCT 等器件的大容量化和实用化,在更多应用中,IGBT 和 IGCT 将取代 GTO。

④ 降低导通压降。研制出比肖特基势垒二极管正向压降还低的器件以提高变流效率、节省电能,特别适用于便携式低压电器。

⑤ 模块化。采用制造新工艺如表面贴装化和桥式化,将几个器件封装在一起以缩小体积与减少连线。如几个 IGBT 器件与续流管以及保护、检测器件、驱动器件等组成桥式模块,称智能器件,缩写为 IPM(Intelligent Power Module)。

⑥ 功率集成化。充分应用集成电路工艺,将驱动、保护、检测、控制、自诊断等功能与电力电子器件集成于一块芯片,发展为功率集成电路 PIC(Power Integrated Circuit),实现集成电路功率化、功率器件集成化,使功率与信息控制集成在一起,成为机电一体化的接口,并逐步向智能化(SmartPIC)方向发展。

2. 变流电路与控制的发展

传统电力电子技术以整流为主导,以移相触发(相控)、PID 模拟控制方式为主。20 世纪 80 年代高频全控器件的出现,使逆变、斩波电路的应用日益广泛。由于逆变、斩波电路中都需要直流电源,因此整流电路仍占重要地位。在逆变、斩波电路中,斩控形式的脉宽调制(PWM)技术被

大量应用,使变流装置的功率因数提高、谐波减少、动态响应快。特别是以微处理器实现的数字控制替代了模拟控制,并应用了静止旋转坐标变换的矢量控制,使电力电子技术日臻完善。

电力电子技术在 21 世纪的主要研究方向之一是实现电力电子装置的所谓“无公害即绿色化”,其含义是:装置 $\cos \phi = 1$ 、输入电流正弦无谐波,电压、电流过零切换,以实现开关损耗降为零且避免装置对电网与负载的电磁辐射和射频干扰。

四、课程性质与学习方法

电力电子技术是一门专业基础性质很强且与生产应用实际紧密联系的课程,在高等职业学校电气工程类专业中被确定为主干课程。

学习本课程时,要着重物理概念与基本分析方法的学习,理论与实际结合,尽量做到器件、电路、应用三者结合。在学习方法上要特别注意电路的波形与相位分析,抓住电力电子器件在电路中导通与截止的变化过程,从波形分析中进一步理解电路的工作情况,同时要注意培养读图与分析能力,掌握器件计算、测量、调整以及故障分析等方面的实践能力。

第 1 章

晶闸管、功率二极管及单相可控整流电路

学习目标

- (1) 掌握晶闸管导通关断条件及晶闸管、功率二极管主要参数计算选择方法。
 - (2) 掌握单相半波可控整流电路、单相全控桥整流电路、单相半控桥整流电路不同负载时的工作原理、电量计算方法和波形画法。
 - (3) 掌握单结晶体管触发电路的基本原理及典型应用。
 - (4) 了解晶闸管的导通原理及伏安特性,了解不同形式触发电路的工作过程。
-

►► 1.1 晶闸管的工作原理

▷▷ 1.1.1 晶闸管的结构

晶闸管(Thyristor)是晶体闸流管的简称,又称作可控整流器(Silicon controlled rectifier - SCR)。由于晶闸管具有体积小、重量轻、损耗小、控制特性好等优点,目前在各个领域得到了广泛的应用。晶闸管的派生器件有双向晶闸管、可关断晶闸管、逆导晶闸管、光控晶闸管等,本书中如不特别说明,所述晶闸管指普通晶闸管。

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。图 1.1(a)为塑封形,多见于额定电流 10 A 以下;图 1.1(b)和图 1.1(c)为螺栓形,一般为 10 A 以上至 200 A 以下;图 1.1(d)为平板形,用于 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。

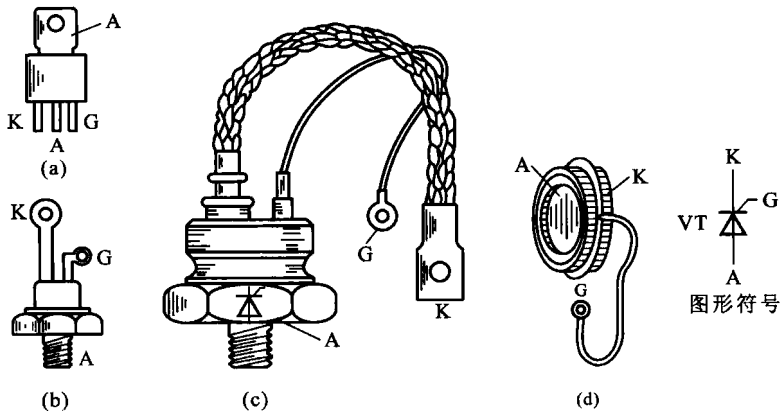


图 1.1 晶闸管的外形及符号

晶闸管内部是四层($P_1N_1P_2N_2$)半导体器件,有三个引出端分别为阳极 A(或正极)、阴极 K(或负极)、门极 G,其内部结构和等效电路如图 1.2 所示。

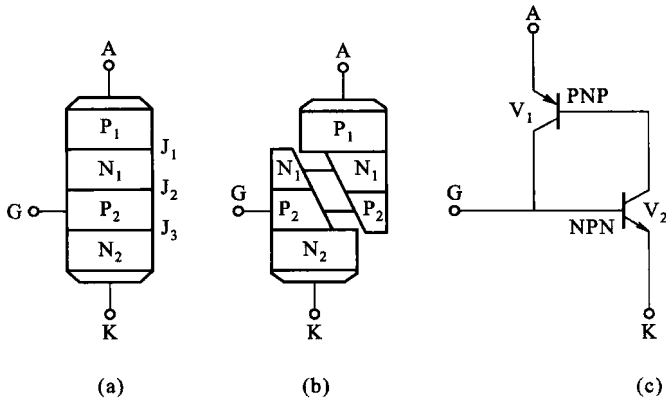


图 1.2 晶闸管的内部结构及等效电路

(a) 芯片内部结构 (b) 等效结构 (c) 以互补三极管等效

▷▷1.1.2 晶闸管的导通关断原理

由晶闸管的内部结构可知,它的管芯是四层($P_1N_1P_2N_2$)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等效。 P_1 区引出阳极 A, N_2 区引出阴极 K, P_2 区引出门极 G。当阳极 A 和阴极 K 两端加正向电压时, J_2 处于反偏, $P_1N_1P_2N_2$ 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, $P_1N_1P_2N_2$ 结构也处于阻断状态,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 $P_1N_1P_2N_2$ 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 1.3 所示,晶闸管的单向导电性工作原理解释。

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 $N_1P_2N_2$ 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 $P_1N_1P_2$ 管的放大,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,使两个晶体管快速饱和导通,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。

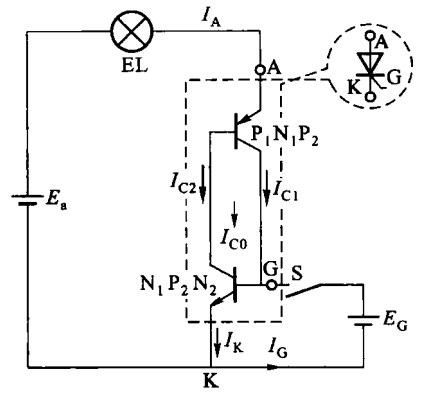


图 1.3 晶闸管工作原理示意图

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

晶闸管一旦导通后,即使 $I_G = 0$,但因 I_{C1} 的电流在内部直接流入 $N_1P_2N_2$ 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 $N_1P_2N_2$ 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。
- 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毫安到几百毫安,而晶闸管导通后,阳极与阴极之间可以通过几百、几千安的电流。
- ③ 晶闸管的关断条件: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。

►► 1.2 晶闸管阳极伏安特性和主要参数

▷▷ 1.2.1 晶闸管的阳极伏安特性

晶闸管的阳极伏安特性是指阳极与阴极间的电压和阳极电流之间的关系,其伏安特性曲线如图 1.4 所示。

图中第 I 象限为正向伏安特性,在 $I_G = 0$ 条件下,在晶闸管两端所加正向电压 U_A 增大到正向转折电压 U_{B0} 前,元件都处于正向阻断状态,只有很小的正向漏电流。当 U_A 增到 U_{B0} 时,则漏电流急剧增大,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似。通常不允许采

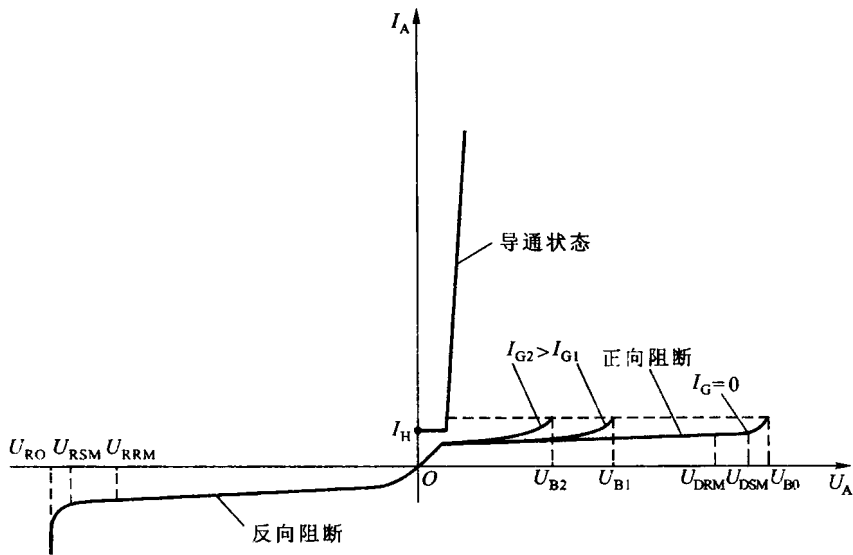


图 1.4 晶闸管的阳极伏安特性

用这种方法使晶闸管导通,因为这样多次导通会造成晶闸管损坏。一般采用对晶闸管的门极施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,如图 1.4 所示,由于 $I_{G2} > I_{G1}$ 相应 $U_{B2} < U_{B1}$ 。

晶闸管的反向伏安特性曲线如图 1.4 中第Ⅲ象限所示,可见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} 后,反向漏电流急剧增大,造成晶闸管反向雪崩击穿而损坏,晶闸管通常不允许这样工作。

▷▷1.2.2 晶闸管阳极主要参数

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。表 1.1 列出晶闸管的主要参数,表 1.2 为晶闸管正反向重复峰值电压等级。

1. 额定电压 U_{Tn}

由图 1.4 所示晶闸管的阳极伏安特性曲线可见,当门极开路,元件处于额定结温时,所测定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} 中较小的那个值按百位取整后作为该晶闸管的额定电压值。例如,一晶闸管实测 $U_{DRM} = 812 \text{ V}$, $U_{RRM} = 756 \text{ V}$,将二者较小的 756 V 按表 1.1 取整得 700 V,该晶闸管的额定电压为 700 V 即 7 级。

晶闸管使用时,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,也会造成元件损坏。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

$$U_{Tn} = (2 \sim 3) U_{TM} \quad (1.1)$$

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/ μ s	通态电流 临界上升率 di/dt /A/ μ s	浪涌电流 I_{TSM} /kA			
	L 级	H 级											
1	50 ~ 1 600		≤ 3		≤ 10	≤ 2.0				0.12	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					≤ 150					0.24	0.38		
30	100 ~ 2 400		≤ 20		≤ 150	≤ 2.4	50 ~ 1 000	25 ~ 100	0.36	0.56			
50					≤ 200				0.64	0.94			
100	100 ~ 3 000		≤ 40		≤ 200	≤ 2.6	-10 ~ -125	100 ~ 1 000	25 ~ 100	1.3	1.9		
200					≤ 300					2.5	3.8		
300					≤ 50					≤ 300	3.8	5.6	
400										50 ~ 200	6.0	7.5	
500			50 ~ 300							6.3	9.4		
600					7.6				11				
800					50 ~ 500						10	15	
1 000									13	18			

表 1.2 晶闸管正反向重复峰值电压的等级

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	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		

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。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(如表 1.1 所示),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 1.5 所示。

设电流峰值为 I_m ,则通态平均电流

$$I_{T(AV)} = \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi} \quad (1.2)$$

该电流波形的有效值

$$I_T = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{2} \quad (1.3)$$

$$K_f = \frac{I_T}{I_{T(AV)}} = \frac{\pi}{2} = 1.57 \quad (1.4)$$

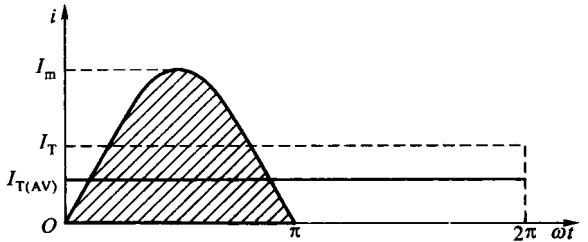


图 1.5 流过晶闸管的工频正弦半波电流波形

正弦半波电流的有效值与平均值之比称为波形系数 K_f 。

由式(1.4)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样,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(即管芯结温一样)进行换算。即

$$\begin{aligned} I_T &= 1.57 I_{T(AV)} \\ I_{T(AV)} &= I_T / 1.57 \end{aligned} \quad (1.5)$$

由于晶闸管的过载能力差,一般选用时取(1.5~2)的安全裕量,即

$$I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) I_T / 1.57 \quad (1.6)$$

例 1.1 一晶闸管接在 220 V 交流回路中,通过器件的电流有效值为 50 A,问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 700 V,即 7 级。

晶闸管的额定电流

$$I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) \frac{I_T}{1.57} = (1.5 \sim 2) \times \frac{50}{1.57} \text{ A} = 48 \sim 63 \text{ A}$$

按晶闸管参数系列取 50 A,所以选取晶闸管型号为 KP50-7。

3. 通态平均电压 $U_{T(AV)}$

当流过正弦半波的额定电流并达到稳定的额定结温时,晶闸管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。

额定电流大小相同的管子,通态平均电压小的耗散功率小,管子质量较好。