

普通高等院校电子信息类系列教材

DIANJI YU DIANQI KONGZHI

电机与电气控制

主 编◎唐 婷
副主编◎胡晓明 蔡 琴 李俊杰



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

普通高等院校电子信息类系列教材

电机与电气控制

主 编 唐 婷

副主编 胡晓明 蔡 琴 李俊杰



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书从凸显工学结合、学用一致,理论密切联系生产实际,“教、学、做”一体化的现代教学特色,注重对大学生进行素质和技能培养与提高的实用角度出发,详尽介绍电机与电气控制。

本书共分8章,主要介绍晶闸管整流、直流电动机、变压器、交流电动机、特种电机、常用低压电器、电气控制电路基本环节(包括绘图原则)、实用电气控制电路。

本书可作为高职高专院校电子类、信息类等相关专业的理论教材及参考书,也可作为技能鉴定的培训教材,还可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制 / 唐婷主编. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2014.5

ISBN 978-7-5635-3844-7

I. ①电… II. ①唐… III. ①电机学—教材②电气控制—教材 IV. ①TM3②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 014783 号

书 名: 电机与电气控制

主 编: 唐 婷

责任编辑: 刘春棠

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京联兴华印刷厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 16

字 数: 377 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-3844-7

定 价: 32.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前言

电子信息类专业是我国高等教育重点建设和发展的专业方向之一,工科院校都开设有此类专业。该专业以弱电为主,但也必须要有一定的强电知识,因此,“电机与电气控制”是电子信息类专业的专业必修课,是核心课程之一。于是,一本适用于弱电专业的强电教材就显得非常重要,本书就是以此为指导思想进行编写的。

本书主要针对电子信息类专业进行编写,应用面非常广泛。本书共分8章,本着“理论够用、突出实践;综合应用、发展创新”的原则而编写;叙述方法由简到繁、深入浅出、主次分明、详略得当,尽可能体现出高职高专教材的特色。本书具有较强的综合性,内容包括晶闸管整流技术、电机学与工厂电气控制设备三门学科的内容,与同类书籍相比,增加了晶闸管整流的知识。本书的编写突出新颖性、通俗性、实用性、综合性,内容较为丰富全面,充分考虑学生弱电知识的优势,使教材内容在强电与弱电方面进行有机结合。

在内容处理上,本书既注意反映电气控制领域的最新技术,又注意专科学生的知识和能力结构,强调理论联系实际,注重学生动手能力、分析和解决实际问题的能力,以及工程设计能力和创新意识的培养。在编写过程中以实际应用和便于教学为目标,充分考虑到电气控制技术的实际应用和发展情况,按照高职高专的教育特色,突出应用型知识的学习和能力的培养,力求使基础理论与工程实际紧密联系。

在章节安排上,本书完全遵照知识的前后衔接关系,科学安排知识结构(比如:变压器放在直流电动机与交流电动机之间),使任课教师在课堂教学时能够完全按照教材的顺序来进行。

晶闸管整流技术部分主要讲述了由半控器件晶闸管所构成的整流电路,如何把交流电转换成大小可调的直流电,并供给不同负载进行工作。电机学部分主要讲述了直流电动机、变压器、交流电动机的基本结构、磁场形成、工作原理,分析了电动机的基本公式、机械特性、电力拖动,讲述了变压器的运行特性、参数测定、联结组别,还介绍了一些特种电机的工作原理。工厂电气控制设备部分主要介绍了常用低压电器的结构、原理、用途,电气控制电路的典型控制环节与保护环节,对实用机床控制电路的分析在第8章给出了两个例子。教学时可根据实际情况灵活选取。每一章都附有小结与习题。

本书可作为高职高专院校电子类、信息类等相关专业的一门专业基础课程教材(参



考教学时数为 60 学时)及参考书,也可以作为技能鉴定的培训教材,还可供相关工程技术人员参考。

本书内容较丰富,不同人员可根据自身的要求,合理选用。若作教材使用,因篇幅有限,建议在教学中合理使用现代化的教学手段,如 CAI 及计算机网络,要求学生能利用网络查阅相关技术的发展动向、了解新产品。

本书由唐婷担任主编,胡晓明、蔡琴、李俊杰担任副主编。胡晓明编写了本书的第 1 章,蔡琴编写第 2、4 章,李俊杰编写第 3、5 章,唐婷编写第 6、7、8 章。

由于水平有限,疏漏之处在所难免,欢迎各位读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 晶闸管整流	1
1.1 晶闸管	1
1.1.1 晶闸管的结构与工作原理	1
1.1.2 晶闸管的伏安特性	3
1.1.3 晶闸管的主要特性参数	4
1.1.4 国产晶闸管的型号	6
1.2 单相相控整流电路	7
1.2.1 单相半波相控整流电路	7
1.2.2 单相桥式全控整流电路	13
1.2.3 单相桥式半控整流电路	17
1.3 三相相控整流电路	18
1.3.1 三相半波不可控整流电路	18
1.3.2 三相半波相控整流电路	19
1.3.3 三相桥式相控整流电路	23
1.4 整流电路的换相压降、外特性和 V-M 系统的机械特性	26
1.4.1 换相期间的输出电压	27
1.4.2 相控整流电路的外特性	28
1.4.3 V-M 系统的机械特性	28
1.5 晶闸管的保护与容量扩展	30
1.5.1 过电压保护	30
1.5.2 过电流保护	32
1.5.3 电压及电流上升率的限制	33
1.5.4 晶闸管的容量扩展	34
1.6 晶闸管触发电路	35
1.6.1 对晶闸管触发电路的要求	36
1.6.2 单结晶体管触发电路	36
1.6.3 同步电压为锯齿波的触发电路	40
1.6.4 集成触发器和数字式移相触发器	42
1.7 触发脉冲与主电路电压的同步	46

1.7.1 同步的概念	46
1.7.2 实现同步的方法	47
小结	49
习题	49
第2章 直流电动机	53
2.1 直流电机的基本知识	53
2.1.1 直流电机的工作原理	53
2.1.2 直流电动机的结构和分类	55
2.1.3 直流电动机的铭牌数据	57
2.1.4 直流电动机的电枢电动势、电磁转矩和电磁功率	58
2.1.5 直流电动机的磁场	59
2.2 直流电动机的运行原理	62
2.2.1 直流电动机的基本方程	62
2.2.2 直流电动机的工作特性	65
2.3 直流电动机的机械特性	66
2.3.1 直流电动机的固有机机械特性	66
2.3.2 直流电动机的人为机械特性	68
2.4 生产机械的负载特性	69
2.4.1 恒转矩负载特性	70
2.4.2 恒功率负载特性	70
2.4.3 通风机型负载特性	71
2.5 直流电动机的电力拖动	71
2.5.1 直流电动机的起动和反转	71
2.5.2 他励直流电动机的调速	74
2.5.3 直流电动机的制动	78
小结	82
习题	83
第3章 变压器	85
3.1 变压器概述	85
3.1.1 变压器的结构	86
3.1.2 变压器的型号和额定数据	89
3.2 变压器的空载运行	90
3.2.1 变压器各电磁量正方向的规定	90
3.2.2 变压器的空载运行	91
3.3 变压器的负载运行	94
3.3.1 负载运行时的磁动势守恒及一、二次电流的关系	94
3.3.2 负载运行时二次电压、电流的关系	95

3.4 变压器的阻抗变换	96
3.5 变压器的运行特性分析	97
3.5.1 变压器的外特性和电压调整率	97
3.5.2 变压器的损耗和效率	98
3.6 变压器的参数测定	99
3.6.1 变压器的空载实验	99
3.6.2 变压器的短路实验	100
3.7 变压器的联结组别	102
3.7.1 单相变压器绕组的联结组别	102
3.7.2 三相变压器绕组的联结组别	103
3.7.3 标准联结组别	105
3.8 特殊变压器	106
3.8.1 电流互感器	106
3.8.2 电压互感器	107
3.8.3 自耦变压器	108
小结	110
习题	111
第4章 交流电动机	113
4.1 三相异步电动机的工作原理和基本结构	113
4.1.1 三相异步电动机的工作原理	113
4.1.2 三相异步电动机的基本结构	117
4.1.3 三相异步电动机的铭牌数据	119
4.2 三相异步电动机的定子和转子电路	120
4.2.1 旋转磁场对定子绕组的作用	121
4.2.2 旋转磁场对转子绕组的作用	122
4.3 三相异步电动机的功率与转矩	125
4.3.1 功率平衡方程	125
4.3.2 转矩平衡方程	127
4.3.3 电磁转矩公式	127
4.4 三相异步电动机的机械特性	129
4.4.1 三相异步电动机的固有机械特性	132
4.4.2 三相异步电动机的人为机械特性	133
4.5 三相异步电动机的电力拖动	133
4.5.1 三相异步电动机的起动与反转	133
4.5.2 三相异步电动机的调速	140
4.5.3 三相异步电动机的制动	146
小结	151
习题	152

第 5 章 特种电机	154
5.1 单相异步电动机	154
5.1.1 单相异步电动机的工作原理	155
5.1.2 单相异步电动机的起动、反转和调速	158
5.2 伺服电动机	163
5.2.1 直流伺服电动机	163
5.2.2 交流伺服电动机	167
5.3 步进电动机	171
5.3.1 步进电动机的结构和工作原理	171
5.3.2 步进电动机的驱动	174
5.3.3 步进电动机的性能指标	175
5.3.4 步进电动机的应用范围和选择	175
5.4 测速发电机	175
5.4.1 直流测速发电机	176
5.4.2 交流测速发电机	178
小结	179
习题	180
第 6 章 常用低压电器	182
6.1 概述	182
6.1.1 低压电器的作用	182
6.1.2 低压电器的分类	182
6.1.3 低压电器的主要技术数据	183
6.2 接触器	184
6.2.1 电磁式低压电器的结构	184
6.2.2 接触器的工作原理	186
6.3 控制继电器	187
6.3.1 电磁式继电器	187
6.3.2 时间继电器	189
6.3.3 热继电器	191
6.3.4 速度继电器	192
6.4 其他常用电器	192
6.4.1 低压开关	192
6.4.2 主令电器	194
6.4.3 熔断器	196
6.4.4 低压断路器	197
小结	198
习题	198

第 7 章 电气控制电路的基本环节	200
7.1 电气图的基本知识	200
7.1.1 图形符号、文字符号和接线端子标记	200
7.1.2 电气原理图	200
7.1.3 电气元件布置图	201
7.1.4 电气安装接线图	202
7.2 典型电气控制环节	203
7.2.1 电气控制的基本规律	203
7.2.2 三相异步电动机的全压起动控制电路	210
7.2.3 三相笼型异步电动机的减压起动控制电路	211
7.2.4 三相绕线转子异步电动机的减压起动控制电路	216
7.2.5 三相异步电动机的制动控制电路	219
7.2.6 三相异步电动机的调速控制电路	223
7.3 三相异步电动机的保护控制	227
7.3.1 短路保护	227
7.3.2 过载保护	227
7.3.3 过电流保护	227
7.3.4 欠电压保护	228
7.3.5 零压保护	228
小结	229
习题	229
第 8 章 实用电气控制	232
8.1 机床电气原理图的识读	232
8.2 车床的电气控制	233
8.2.1 卧式车床的结构及工作要求	234
8.2.2 对电力拖动与控制的要求	234
8.2.3 卧式车床电气控制系统分析	235
8.3 钻床的电气控制	237
8.3.1 摇臂钻床的结构及工作要求	237
8.3.2 对电力拖动与控制的要求	238
8.3.3 摇臂钻床电气控制系统分析	238
小结	241
习题	241
附录	242
参考文献	245

第 1 章

晶闸管整流

1.1 晶 闸 管

晶闸管曾称为可控硅(Silicon Controlled Rectifier), 全称为晶体闸流管, 简称为 SCR。其于 1957 年问世, 在 20 世纪六七十年代获得迅速发展, 器件的性能与电压、电流容量得到不断提高, 广泛运用于可控整流、交流调压、无触点交直流开关、逆变和直流斩波等方面。晶闸管的种类除了普通晶闸管外, 还包括快速晶闸管、门极关断晶闸管、逆导晶闸管、光控晶闸管、双向晶闸管等, 形成晶闸管系列。普通晶闸管应用最广, 本书如不特别说明, 所述晶闸管均为普通晶闸管。

1.1.1 晶闸管的结构与工作原理

晶闸管是用 N 型单晶硅片, 按一定的工艺要求, 分别进行扩散及烧结处理后, 形成四层功率半导体器件, 有三个引出极, 分别是阳极(A)、阴极(K)、门极(G), 常用的封装形式有塑封式、螺栓式与平板式, 其外形与图形符号如图 1.1 所示。

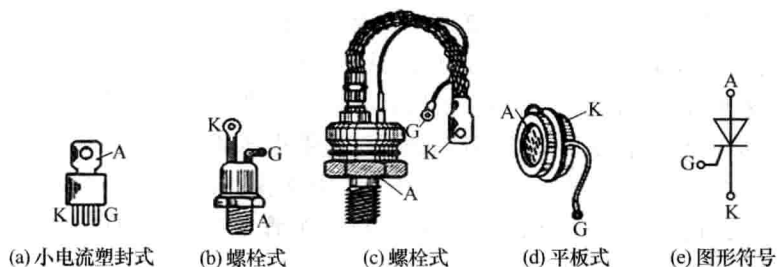


图 1.1 晶闸管的外形与图形符号

晶闸管是电力电子器件, 工作时会产生功耗而引起发热, 为保证器件的正常工作, 必须安装散热器。图 1.2 为晶闸管散热器, 图 1.2a 适用于螺栓式, 图 1.2b、c 适用于平板式。因平板式两面散热效果好, 要求电流在 2 000 A 以上的晶闸管都必须采用平板式结构。另外, 图 1.1a 所示虽为小电流塑封式, 当工作电流稍大时 also 需紧固在散热器上。

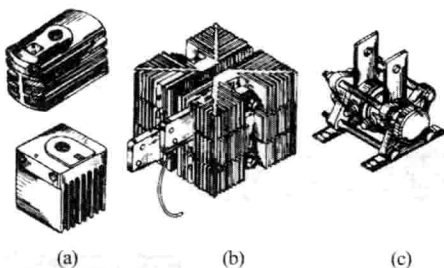


图 1.2 晶闸管散热器

晶闸管管芯由四层半导体($P_1N_1P_2N_2$)组成,形成三个 PN 结(J_1 、 J_2 、 J_3),其内部原理性结构如图 1.3 所示。

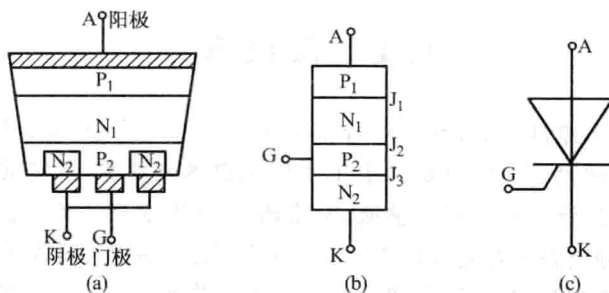


图 1.3 晶闸管的内部原理性结构

当阳极与阴极加上反向电压时, J_1 、 J_3 结处于反向阻断状态,晶闸管无法导通;当加上正向电压时, J_2 结处于反向阻断状态,晶闸管仍不导通。若此时门极与阴极间加上正向电压 U_g 使门极 G 流入一定大小的电流 I_g ,晶闸管就会导通并像二极管一样具有单向导电特性,电流只能从阳极流向阴极。与二极管不同的是晶闸管具有正向阻断特性,因为当加上正向电压时晶闸管不能导通,必须同时加上门极电压,产生足够的门极电流流入后才能使晶闸管正向导通,因此晶闸管具有正向导通的可控特性。

晶闸管通入门极电流 I_g 使其导通的过程称为触发,晶闸管一旦触发导通后门极就失去控制作用,这种门极可触发导通但无法使其关断的器件称为半控器件。

要使已导通的晶闸管恢复阻断,可降低阳极电源电压或增加阳极回路电阻,使流过晶闸管的电流 I_a 减小,当 I_a 减至一定值(一般为几十毫安)时, I_a 会突然降为零,晶闸管则完全处于正向阻断状态。当门极断开时,能维持晶闸管导通所需的最小阳极电流称为维持电流 I_H ,因此晶闸管关断的条件是 $I_a < I_H$ 。

晶闸管之所以会有上述特性,是由其内部结构决定的。晶闸管由四层半导体交替叠成,可等效看成由两个晶体管 V_1 ($P_1-N_1-P_2$) 与 V_2 ($N_1-P_2-N_2$) 组成,如图 1.4 所示。

当阳极加上正向电压后,要使晶闸管正向导通的关键是使 J_2 结反向失去阻挡作用,从图 1.4d 可见,当 S 断开时 V_1 管的集电极电流 I_{c1} 即为 V_2 管的基极电流 I_{b2} ; V_2 管的集电极电流 I_{c2} 又是 V_1 的基极电流 I_{b1} ;当 S 合上时,有足够的门极电流 I_g 流入,通过两管

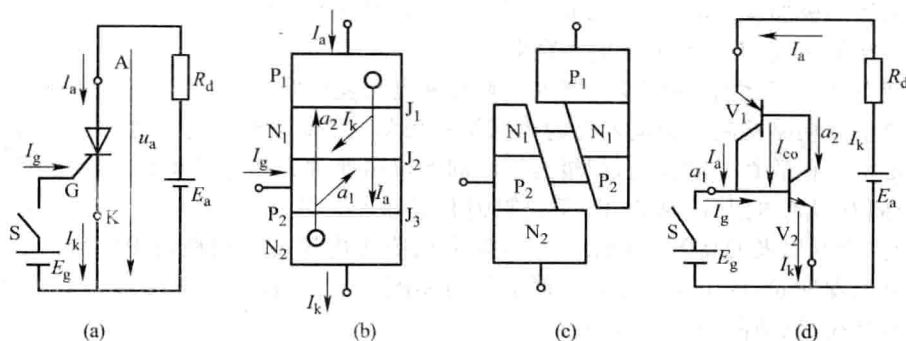


图 1.4 晶闸管的内容结构及工作原理

的电流放大立即形成强烈的正反馈,瞬时使两管饱和导通,也就是晶闸管导通了。其过程如下:

$$I_g \uparrow \rightarrow I_{b2} \uparrow \rightarrow I_{c2} (= \beta_2 I_{b2}) \uparrow = I_{b1} \uparrow \rightarrow I_{c1} (= \beta_1 I_{b1}) \uparrow$$

晶闸管的正向导通压降约为 1.5 V。由于正反馈的作用,晶闸管导通后即使门极电流降为零或负值,也不能使晶闸管关断,只有设法使晶闸管的阳极电流 I_a 减小到维持电流 I_H 以下,导致内部正反馈无法维持时,晶闸管才恢复阻断。

1.1.2 晶闸管的伏安特性

晶闸管的伏安特性如图 1.5 所示。当 $I_g = 0$, 晶闸管正向电压 U_a 增大到正向转折电压 U_{B0} 前, 器件处于正向阻断状态, 其正向漏电流随 U_a 电压增高而逐渐增大; 当 U_a 达到 U_{B0} 时, 晶闸管突然从阻断状态转为导通, 导通后器件的特性与普通整流二极管正向伏安特性相似, 这种方式称为正向转折或“硬开通”。多次“硬开通”会损坏晶闸管, 通常不允许这样工作。另外, 当有门极电流 I_g 通入且其足够大时, 正向转折电压降至极小, 使晶闸管像普通整流二极管一样, 一加上正向阳极电压就导通, 这种导通称为触发导通。当导通的晶闸管中阳极电流 I_a 减小到 I_H (维持电流) 时, 晶闸管又从导通返回正向阻断。晶闸管只能稳定工作在阻断与导通两个状态。

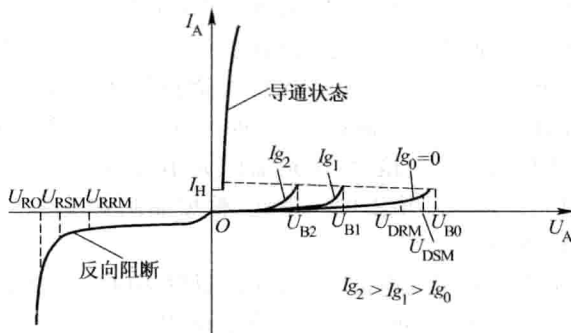


图 1.5 晶闸管的伏安特性

晶闸管阳极加反向电压时,只流过很小的反向漏电流,当反向电压升高到 U_{RO} 时晶闸管反向击穿损坏,故 U_{RO} 称为反向击穿电压。

晶闸管在使用之前,一定要先判断其好坏和是否能正常工作,可从外观判断也可用万用表来测量并粗略检测。根据器件的内部结构可知,阳极与阴极间、阳极与门极间的正、反向电阻均应在数百千欧以上,门极与阴极间的电阻通常为几十到几百欧,因器件内部门极、阴极间有旁路电阻,故通常正、反向阻值相差很小。注意:在测门极与阴极间的电阻时,不能使用万用表的高阻($10\text{ k}\Omega$)档,以防表内高压电池击穿门极的 PN 结。至于器件能否可靠触发导通,可用直流电源串联电灯与晶闸管,当门极与阳极接触一下后,如晶闸管导通则灯亮,说明晶闸管是可触发的。

1.1.3 晶闸管的主要特性参数

1. 额定电压 U_{Tn}

从图 1.5 可见,当门极断开,器件处于额定结温时,使正向阻断曲线出现漏电流显著增加的电压 U_{DSM} 为正向不重复峰值电压,同理 U_{RSM} 为反向不重复峰值电压。各乘 0.9 所得的值 U_{DRM} 与 U_{RRM} 为正向与反向重复峰值电压。取 U_{DRM} 与 U_{RRM} 中较小值,按照相应的电压等级将其定义为器件的额定电压 U_{Tn} 。

由于晶闸管在工作时温度可能升高,在使用中会出现各种不可避免的瞬时过电压,因此在选用晶闸管的额定电压时,一般在工作电路中加在晶闸管上的最大瞬时电压值 U_{TM} 的基础上取 2~3 倍的裕量,即

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

2. 通态平均电压 $U_{T(AV)}$

在规定环境温度和标准散热条件下,晶闸管流过额定正弦半波电流时,阳极、阴极之间的平均电压称为通态平均电压(简称为管压降), $U_{T(AV)}$ 值小,晶闸管功耗亦小。

3. 额定电流 $I_{T(AV)}$

$I_{T(AV)}$ 亦称为额定通态平均电流。国家标准规定,取在温室 40°C 和规定的冷却条件下,器件在电阻负载流过正弦半波(导通角不小于 170°)的电路中,结温不超过额定结温时所允许的最大通态平均电流值,将此值按照相近电流等级定义为器件的额定电流 $I_{T(AV)}$ 。

限制和影响晶闸管最大电流的是温度,晶闸管管芯(三个 PN 结)的温度称为结温,结温的高低由发热与散热两方面所决定。造成晶闸管发热的原因是功耗,它主要有以下三部分:①导通损耗是引起发热的主因,为了减少导通损耗可选用导通压降小的晶闸管;②正反向阻断损耗;③开关过程中的损耗(高频时考虑)。后两部分损耗引起发热较小。晶闸管散热决定于器件与散热器的接触、散热器的大小与冷却方式(自冷、风冷、水冷、沸腾冷却)以及冷却介质的流速与环境温度。因此,根据晶闸管发热与散热的条件不同,其允许的通态平均电流也不一样。

晶闸管额定电流是以通态平均电流来标定的,而发热应由流过电流的有效值来决定。为此可根据晶闸管额定电流 $I_{T(AV)}$ 换算出额定有效电流 I_{Tn} (此值制造厂不提供),在实际使用时不论流过晶闸管的电流波形如何、导通角多大,只要其最大电流有效值 $I_{TM} \leq I_{Tn}$,散热冷却符合规定,则晶闸管的发热与温升就能限制在允许范围内。

对于各种有直流分量(成分)的电流波形都有一个电流平均值(一个周期内电流波形面积的平均),也就是直流电流表的读数;也都有一个有效值(方均根值)。现定义电流波形的有效值与平均值之比称为该波形的波形系数,用 K_f 表示:

$$K_f = \frac{I}{I_d} \quad \begin{array}{l} \text{(负载电流有效值)} \\ \text{(负载电流平均值)} \end{array}$$

则流过晶闸管电流的波形系数为

$$K_{IT} = \frac{I_T}{I_{dT}} \quad \begin{array}{l} \text{(晶闸管电流有效值)} \\ \text{(晶闸管电流平均值)} \end{array}$$

根据晶闸管额定电流 $I_{T(AV)}$ 的定义,流过晶闸管的为正弦半波电流波形,如电流峰值为 I_m ,则

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

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

因此在额定状态时,晶闸管电流的波形系数为

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

这说明额定电流为 100 A 的晶闸管,其额定有效电流为 $K_f I_{T(AV)} = 1.57 \times 100 \text{ A} = 157 \text{ A}$ 。由于晶闸管的电流过载能力极小,在选用时要至少考虑 1.5~2 倍的电流裕量,即

$$1.57 I_{T(AV)} = I_{Tn} \geq (1.5 \sim 2) I_{TM} \quad \text{(流过晶闸管的最大有效电流)}$$

所以

$$I_{T(AV)} \geq (1.5 \sim 2) \frac{I_{TM}}{1.57}$$

4. 门极触发电流与门极触发电压

在室温下施加 6 V 正向阳极电压,使晶闸管完全导通所必需的最小门极电流称为门极触发电流 I_{GT} ,对应的门极触发电压为 U_{GT} 。

同一工厂制造出的同一型号晶闸管,由于门极特性的差异,其触发电流与电压可能相差很大。触发电流、电压值太小会使晶闸管工作时易受到干扰,造成误触发;触发电流、电压值太大会导致触发功率增大而引起触发困难。因此,出厂的晶闸管都规定了最大与最小触发电流电压的范围,例如 100 A 合格的晶闸管,其触发电压、电流分别不应超过 3.5 V、250 mA,也不应小于 0.15 V、1 mA,门极正向脉冲极限峰值电压不允许超过 10 V,反向脉冲极限峰值电压不允许超过 5 V,正向脉冲极限峰值电流不能超过 2 A。

U_{GT} 、 I_{GT} 值受温度影响很大,在冬天使用晶闸管时, U_{GT} 、 I_{GT} 值会增大,使用时要注意。

5. 维持电流和擎住电流

在标准室温且门极断开时,已导通晶闸管从较大通态电流降至刚能保持导通的最小阳极电流,称为维持电流(Holding Current) I_H 。额定电流大的晶闸管其 I_H 值亦大,结温降低时 I_H 会增大。同型号的晶闸管其 I_H 各不相同, I_H 大的晶闸管容易关断。

晶闸管加上触发脉冲使其导通的过程中,当脉冲消失,此时要保持晶闸管维持导通所需要的最小阴极电流值称为擎住电流(Latching Current) I_L ,如晶闸管在导通过程中阳极电流未上升到 I_L 值,当触发脉冲取出后晶闸管又会恢复阻断。通常,对同一晶闸管来说, I_L 比 I_H 要大好几倍。

6. 开通时间与关断时间

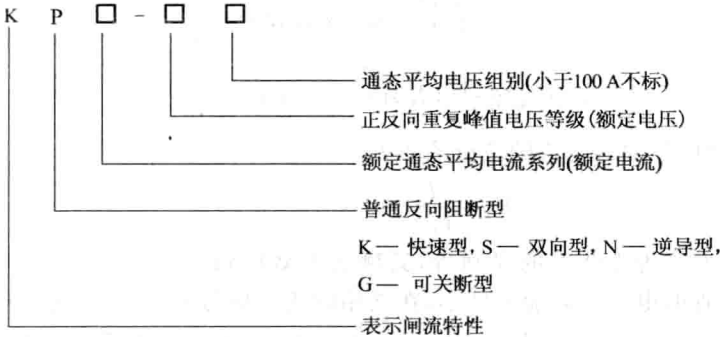
因为晶闸管在导通与阻断两个工作状态之间的转换并不是瞬间完成的,当工作在较高的频率时,必须考虑晶闸管的开通时间与关断时间。

普通晶闸管的开通时间 t_{gt} 在 $6\text{ }\mu\text{s}$ 左右,快速晶闸管的开通时间可达 $1\text{ }\mu\text{s}$ 。

关断时间 t_{g} 是指在额定结温时,晶闸管从切断正向电流到恢复正向阻断能力的这段时间,它与晶闸管结温、关断前阳极电流及所加反压的大小有关。普通晶闸管的 t_{g} 约在几十到几百微秒,快速晶闸管的关断时间可短至 $1\text{ }\mu\text{s}$ 。

1.1.4 国产品闸管的型号

按国家有关部门规定,晶闸管的型号及其含义如下:



如 KP100-12G 表示额定电流为 100 A、额定电压为 1200 V、管压降(通态平均电压)为 1 V 的普通型晶闸管。KP 型晶闸管的主要特性参数见表 1.1。

表 1.1 KP 型晶闸管的主要特性参数

参数	通态平均电流 $I_{\text{T(AV)}}$	断态重复峰值电压 U_{DRM} 、反向重复峰值电压 U_{RRM}	断态不重复平均电流 $I_{\text{DS(AV)}}$ 、反向不重复平均电流 $I_{\text{RS(AV)}}$	额定结温 T_{JM}	门极触发电流 I_{GT}	门极触发电压 U_{GT}	断态电压临界上升率 du/dt	断态电流临界上升率 di/dt	浪涌电流 I_{TSM}
单位	A	V	mA	℃	mA	V	V/ μs	A/ μs	A
KP1	1	100~3000	≤ 1	100	3~30	≤ 2.5	25~1000	25~500	20
KP5	5	100~3000	≤ 1	100	5~70	≤ 3.5			90
KP10	10	100~3000	≤ 1	100	5~100	≤ 3.5			190
KP20	20	100~3000	≤ 1	100	5~100	≤ 3.5			380
KP30	30	100~3000	≤ 2	100	8~150	≤ 3.5			560
KP50	50	100~3000	≤ 2	100	8~150	≤ 3.5			940
KP100	100	100~3000	≤ 4	115	10~250	≤ 4			1880
KP200	200	100~3000	≤ 4	115	10~250	≤ 4			3770
KP300	300	100~3000	≤ 8	115	20~300	≤ 5			5650
KP400	400	100~3000	≤ 8	115	20~300	≤ 5			7540
KP500	500	100~3000	≤ 8	115	20~300	≤ 5			9420
KP600	600	100~3000	≤ 9	115	30~350	≤ 5			11160
KP800	800	100~3000	≤ 9	115	30~350	≤ 5			14920
KP1000	1000	100~3000	≤ 10	115	40~4000	≤ 5			18600

1.2 单相相控整流电路

整流电路是电力电子电路中出现最早的一种,它的作用是将交流电变为直流电供给直流用电设备,如电动机、同步电机励磁、电焊、电镀、通信系统电源等。用晶闸管组成的相控整流电路,可以方便地把交流电变换成大小可调的直流电,具有体积小、重量轻、效率高以及控制灵敏等优点,获得了广泛应用。

在不影响工程计算精度的情况下,以下分析均把晶闸管、二极管看成理想器件,即导通时的正向电压降与阻断时的电流均忽略不计,管子的开通与关断都是瞬间完成的。

1.2.1 单相半波相控整流电路

1. 带电阻性负载时的工作情况

图 1.6 为单相半波相控整流电路的原理图及带电阻性负载时的工作波形,其中整流变压器的二次电压、电流有效值下标用 2 表示,电路输出电压、电流平均值下标均用 d 表示。交流正弦电压波形的横坐标为电角度 ωt ,正弦变化一周为 2π rad 或 360° 电角度,也可以用时间表示,50 Hz 的交流电一个周期为 20 ms。

工作过程是:晶闸管在 u_2 正半周期内加上正向阳极电压,但在触发脉冲出现之前的 α 期间晶闸管无法导通,负载 R_d 中没有电流,负载两端电压 $u_d = 0$,晶闸管 VT 承受电压 u_2 。当 $\omega t = \alpha$ 时,晶闸管门极加上触发脉冲 u_g ,VT 立即导通,电源电压 u_2 全部加在 R_d 上(忽略晶闸管电压降)。当 $\omega t = \pi$ 时, u_2 降至零,晶闸管因流过它的电流下降到零(小于晶闸管的维持电流)而关断,此时 i_d 、 u_d 也为零。在 u_2 负半周期间,VT 因承受反压而阻断,直至下一个周期再加上触发脉冲时,晶闸管重新导通。当电压 u_2 的每一个周期都以恒定的 α 加上触发脉冲时,则负载 R_d 上就能得到稳定的缺角半波电压波形,这是一个单方向的脉动直流电压,电流 $i_d = \frac{u_d}{R_d}$,与 u_d 波形同相位,如图 1.6b 所示。

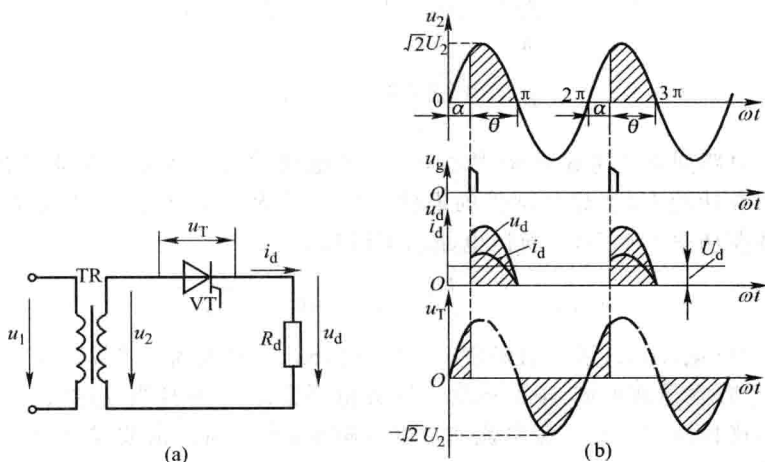


图 1.6 带电阻性负载的单相半波相控整流电路及其波形