

全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书

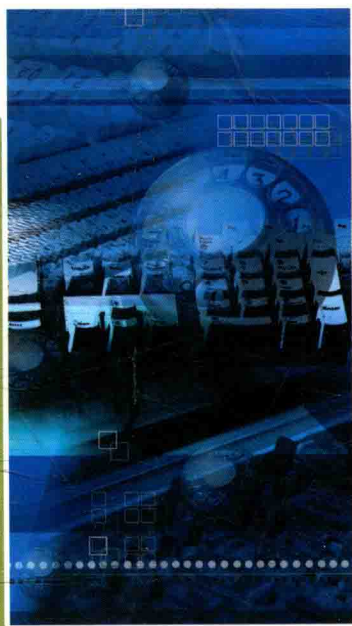
YTH

DIANLIDIANZIYUBIANLIUJISHU
XUEXIFUDAO
YUJINENGXUNLIAN

电力电子与变流技术

主 编 王世桥

学习辅导与技能训练



山东科学技术出版社 www.lkj.com.cn

全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书

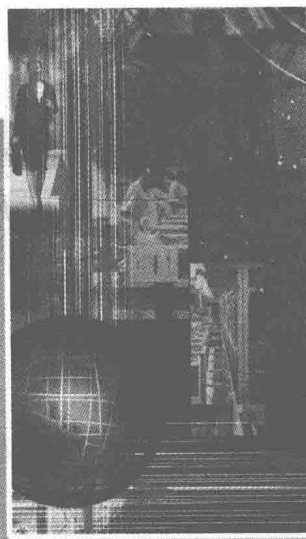
YTH

DIANLIDIANZIYUBIANLIUJISHU
XUEXIFUDAO
YUJINENGXUNLIAN

电力电子与变流技术

主 编 王世桥

学习辅导与技能训练



图书在版编目(CIP)数据

电力电子与变流技术学习辅导与技能训练/王世桥主
编. —济南:山东科学技术出版社,2006
(全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书)
ISBN 7-5331-4323-X

I.电... II.王... III.电力电子学—变流技术—高
等学校:技术学校—教学参考资料 IV.TM46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 034264 号

全国高职高专通用教材辅导与技能训练用书

电力电子与变流技术学习辅导与技能训练

主编 王世桥

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098088

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:山东华鑫天成印刷有限公司

地址:潍坊市经济技术开发区

邮编:261031 电话:(0536)2250617

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:7.75

版次:2006年5月第1版第1次印刷

ISBN 7-5331-4323-X

TM·54

定价:13.00 元

编委会

主任:王炳实

副主任:黄振轩 杨传耀 王洪龄 阎伟

编委:(按姓氏笔画)

刁毓亮 王云祥 王兰军 王宗贵

孙大伟 田明光 乔元信 刘宗亮

刘同森 李丰桐 肖学东 匡奕珍

张志远 张德生 周斌 苑忠昌

赵中波 胡勤海 徐冬 高学民

阎相环 魏亚南

BIANZHE

主编 王世桥

副主编 王玲

编写人员 刘晓东 赵冰 陈立成

席艳 白静 孙巍

主审 高学民

NEIRONGJIANJIE

本书是《电力电子与变流技术》教材的辅导书,本书针对教材中的内容对学生进行学习方法及学与用结合进行指导和补充。书中内容包括学习目的和要求、学习与训练指导、习题与思考题选解、实训范例指导、习题答案。另外,还补充一些新的内容和习题,供学生参考和自学之用。

本书为 21 世纪高职教育规划教材的配套用书,是根据高职高专电气自动化技术专业人才培养规格和最新出版的维修电工国家职业标准,组织“双师型”教师编写的。

本书针对教材中的重要内容进行了必要的补充论述,对学生学习方法及学与用结合的特色进行指导和补充。为拓宽学生思路,书中提供了部分更深层次的学习参考资料,同时对于如何指导学生综合运用课程中所学的知识和技能去独立完成某个设计项目,以激发学生提高独立思考问题和解决问题的能力。书中还编写了大量习题、自我测验题及答案,供学生参考和自学之用。

本书共分七章,首先介绍了电力电子器件,在此基础上讨论晶闸管整流电路及逆变电路的基本内容,分析了斩波器与变频器的的工作原理及其使用。

本书由烟台市技术学院王世桥主编,烟台市技术学院王玲为副主编,其中第一章由烟台市技术学院王玲编写,第二章由烟台市技术学院刘晓东编写,第三章由烟台市技术学院赵冰、陈立成编写,第四章由烟台职业学院席艳编写,第五章由烟台职业学院白静编写、第六章由烟台市技术学院王世桥编写、第七章由烟台职业学院孙巍编写。本书由烟台市技术学院高学民担任主审。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

目录

MULU

第一章 晶闸管	(1)
学习目的和要求	(1)
一、学习与训练指导	(2)
二、例题与思考题选解	(10)
三、实训范例指导	(11)
四、习题答案	(12)
五、补充习题	(12)
第二章 晶闸管可控整流电路和触发电路	(14)
学习目的和要求	(14)
一、学习与训练指导	(15)
二、例题与思考题选解	(30)
三、实训范例指导	(31)
四、习题答案	(32)
第三章 晶闸管的使用	(34)
学习目的和要求	(34)
一、学习与训练指导	(34)
二、例题与思考题选解	(40)
三、习题答案	(40)
四、补充习题	(41)
第四章 有源逆变电路	(42)
学习目的和要求	(42)
一、学习与训练指导	(42)
二、例题与思考题选解	(55)
三、实验范例指导	(56)
第五章 无源逆变电路	(60)
学习目的和要求	(60)

一、学习与训练指导	(60)
二、习题与思考题选解	(73)
三、实验范例指导	(75)
第六章 交流调压电路与斩波电路	(78)
学习目的和要求	(78)
一、学习与训练指导	(78)
二、习题与思考题选解	(84)
三、实训范例指导	(87)
第七章 变频器	(93)
学习目的和要求	(93)
一、学习与训练指导	(93)
二、习题与思考题选解	(109)
参考文献	(113)

第一章 晶闸管

晶闸管是一种近几十年来发展起来的一种理想的大功率的变流电子器件,它能以较小的电流控制上千安的电流和数千伏的电压,主要用于大功率的交流电能和直流电能的相互转换,它是晶闸管变流技术的重要成员,现已发展成一个大家族,其中以普通晶闸管的应用为最广泛。普通晶闸管又名可控硅,常用 SCR(Silicon Controlled Rectifier)表示,国际通用名称为 Thyristor,常简写成 T。本章主要介绍了普通晶闸管的基本结构、类型、工作原理、工作特性及主要参数等,这些是我们学习后面的可控整流电路、逆变电路等晶闸管各种应用电路必备的基础知识。同时,本章还介绍了晶闸管的其他成员如双向晶闸管、可关断晶闸管、逆导晶闸管、光控晶闸管、快速晶闸管等的结构、工作特性及应用等。

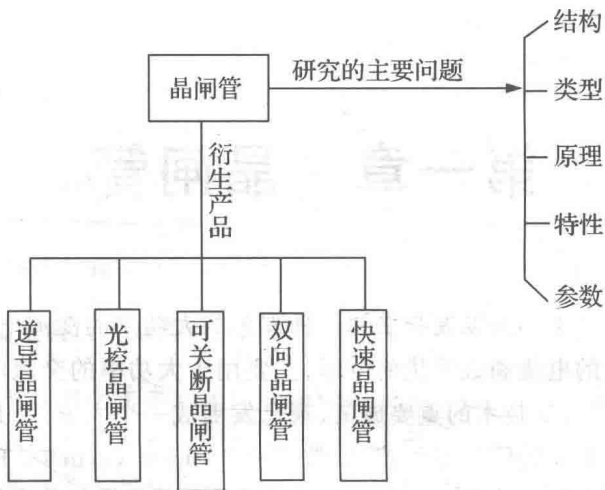
学习目的和要求

1. 掌握晶闸管的基本结构、符号、类型、电压电流特性,理解晶闸管的工作原理,熟悉晶闸管型号的编制规则,能根据实测数据制订晶闸管的额定值。
2. 熟练掌握晶闸管的工作特性,如晶闸管导通和关断的条件等,会根据外部条件判断晶闸管所处的状态。深刻理解晶闸管的可控单向导通特性。
3. 理解晶闸管的主要参数的定义。
4. 了解晶闸管的衍生产品如双向晶闸管、可关断晶闸管、光控晶闸管、快速晶闸管、逆导晶闸管等的结构和工作特性及应用,等等。

在第一章中,晶闸管的工作特性是本章的重点,它是由晶闸管组成的应用电路的基础;晶闸管的工作原理是本章的难点,将在后面进一步分析。

一、学习与训练指导

(一)本章知识结构



(二)本章复习要点

晶闸管又名可控硅,是一种大功率的硅半导体器件,主要用于可控整流、逆变、变频、调压等设备中。除了普通晶闸管外,它的主要成员有双向晶闸管、光控晶闸管、逆导晶闸管、可关断晶闸管、快速晶闸管等等。如不作特别说明,我们所说的晶闸管就是指普通晶闸管。

1. 晶闸管的基本结构和符号

晶闸管内部管芯由 P、N、P、N 四层半导体构成,有三个 PN 结,外部引出三个电极,分别是阳极(A)、阴极(K)、门极(G),如图 1-1 所示。

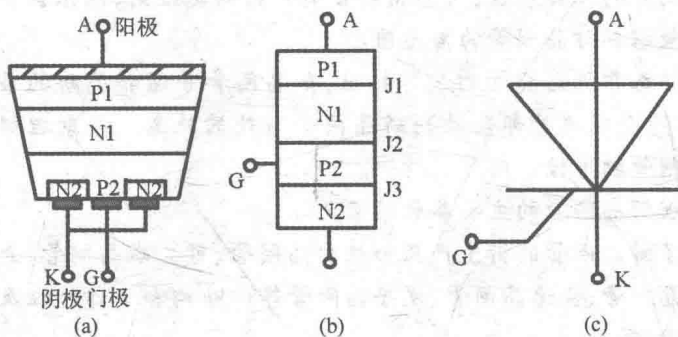


图 1-1 晶闸管的内部结构及符号

2. 晶闸管的工作特性

- (1)晶闸管具有反向阻断能力,即给晶闸管阳极加反向电压,晶闸管阻断。
- (2)晶闸管具有正向阻断能力,即给晶闸管阳极加正向电压同时门极不加电压或加反压,晶闸管阻断。
- (3)晶闸管导通的条件是:阳极加正向偏置电压同时门极和阴极之间加正向触发

电压。

(4)晶闸管一旦导通,门极就失去控制作用,只要保持足够的阳极电流晶闸管就会一直维持导通状态。导通后的晶闸管正向压降为 1V 左右。

(5)晶闸管关断的条件是:降低阳极电流使其小于维持电流 I_H ;方法是:降低阳极电压到接近零或加反向阳极电压。

3. 晶闸管的特性曲线

如图 1-2 所示为晶闸管的电压电流特性曲线,它能形象地描述晶闸管的阳极电压与阳极电流的关系。位于第一象限部分曲线为晶闸管的正向特性曲线,即给晶闸管加正向电压(晶闸管的阳极接电源正极,阴极接电源负极)时的电压电流关系曲线。由图可见,在门极触发电流 $I_G = 0$ 的情况下,正向阳极电压小于转折电压 U_{BO} 时,由于 J2 结处于反向阻断状态,晶闸管截止,当正向阳极电压大于正向转折电压 U_{BO} 时,晶闸管“硬开通”(晶闸管不允许多次“硬开通”)。当 $I_G > 0$ 时,晶闸管由截止变为导通所需要的阳极电压变小,触发电流越大,晶闸管由截止变为导通所需要的阳极电压越小,当触发电流 I_G 足够大时,晶闸管就会像二极管一样,只要有正向阳极电压就导通。这就是晶闸管的可控导通特性,它能用很小的门极电流(毫安级)控制很大的阳极电流(几十甚至几百上千安培)。

晶闸管阻断时只有很小的漏电流,导通时,管压降有 1V 左右,是比较理想的单向无触点开关。

位于第三象限部分是晶闸管的反向特性曲线,即给晶闸管加反向电压(阳极接电源负极,阴极接电源正极)时对应的电压电流关系特性,同二极管的反向特性相似,有反向阻断区和反向击穿区。

4. 晶闸管的主要参数

(1)晶闸管的电压定额

①正向断态重复峰值电压 U_{DRM} : 指在额定结温下,门极断路和晶闸管正常阻断的情况下,允许重复加在晶闸管上的最大正向峰值电压。

当门极断开、额定结温时,晶闸管的阳极电压升到正向转折电压 U_{BO} 之前,漏电流开始急剧增大(特性曲线的急剧转弯处),此时对应的正向阳极电压叫断态不重复峰值电压,用 U_{DSM} 表示。

(这种过电压是不允许重复发生的),我们取 U_{DSM} 的 90% 为断态重复峰值电压。此电压可重复施加,重复频率规定为 50 次每秒,每次持续时间不得长于 10ms。

②反向重复峰值电压 U_{RRM} :指在额定结温、门极断路的情况下,允许重复加在晶闸管上的反向峰值电压。

当门极断开、额定结温时,晶闸管的反向电压增大到反向击穿电压之前,反向漏电流开始急剧增加,此时所加的反向电压叫反向不重复峰值电压,用 U_{RSM} 表示(这种过电压是不允许重复发生的),我们取其值的 90% 为反向重复峰值电压。通常情况下, U_{DRM} 和

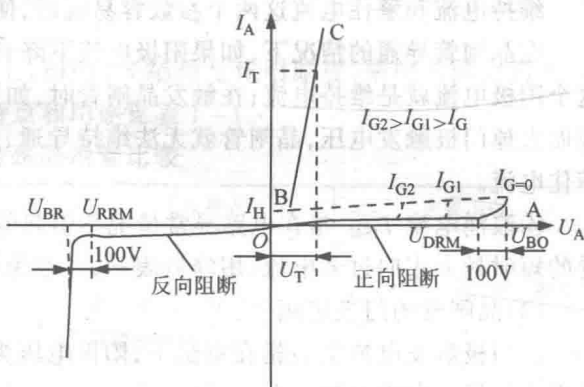


图 1-2 晶闸管的电压电流特性曲线

U_{RRM} 数值大致相等,常统称正反向重复峰值电压。

额定电压通常是这样标定的,即用实测的 U_{DRM} 和 U_{RRM} 中较小值,按规定的标准电压等级就低取整数,作为该晶闸管的额定电压。规定的标准电压等级:在 1000V 以下,每隔 100V 为一级;1000V 到 3000V,每隔 200V 为一级。

③通态平均电压 $U_{T(AV)}$:晶闸管正向通过正弦半波额定平均电流、结温稳定时的阳极和阴极间电压的平均值,称为通态平均电压,也可称为导通时的管压降,其值一般在 0.4 ~ 1.2V 之间。它的大小会影响晶闸管的发热,管压降小,发热少。

(2) 晶闸管的电流定额

①通态平均电流 $I_{T(AV)}$:也称为额定电流,是指在环境温度不超过 40℃ 和规定的散热条件下,带电阻性负载的单相工频正弦半波电路中,管子导通角不小于 170°,结温不超过允许值时所允许流过的最大平均电流。按照标准,取其整数作为该器件的额定电流。在实际中可按下式来选取:

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

其中, I_{TM} 为允许的最大电流有效值。

晶闸管的通态平均电流我们将在难点分析中予以详细的解释。

②维持电流 I_H 是指在规定的环境温度和门极断路的情况下,维持晶闸管继续导通时需要的最小阳极电流。结温越高, I_H 越小。

③擎住电流 I_L 是指晶闸管刚从断态转为通态就立即去掉触发信号后能维持通态所需的最小阳极电流。对同一晶闸管, I_L 为 I_H 的 2 ~ 4 倍。

维持电流和擎住电流这两个参数容易混淆,使用时应注意区分。

在晶闸管导通的情况下,如果阳极电流下降到某个阳极电流以下晶闸管就关断,那么这个阳极电流就是维持电流;在触发晶闸管时,如果阳极电流在没有上升到某个电流值之前而去掉门极触发电压,晶闸管就无法维持导通,又返回到阻断状态,那么这个电流就是擎住电流。

④浪涌电流 I_{TSM} :指在电路异常情况下引起的,并使结温超过额定结温的晶闸管能承受的短时最大正向过载电流,用峰值表示,一般为 $6\pi I_{T(AV)}$ 。

(3) 晶闸管的门极定额

①门极触发电流 I_{GT} :指在室温下,阳极电压为直流 6V 时,使晶闸管由断态转入通态所必需的最小门极电流。

②门极触发电压 U_{GT} :指产生门极触发电流所需的最小门极触发电压。一般为 1V 到 5V。

以上两个参数受温度的影响较大,温度升高时其值下降。

(4)额定结温 T_{jm} 指器件正常工作时管内 PN 结所允许的最高温度。

(5) 晶闸管的动态参数

①开通时间 t_{gt} :把从门极触发电流加入开始到阳极电流上升到稳态值的 90% 的这段时间叫晶闸管的开通时间。普通晶闸管的开通时间为 6μs 左右,快速晶闸管可达 1μs。

②关断时间 t_q :原来导通的晶闸管,在额定结温下,从给晶闸管加反向电压到晶闸管完全恢复正向阻断状态的这段时间叫晶闸管的关断时间 t_q 。普通晶闸管的关断时间约

为几十到几百微秒,快速晶闸管的关断时间可短至 $1\mu\text{s}$ 。

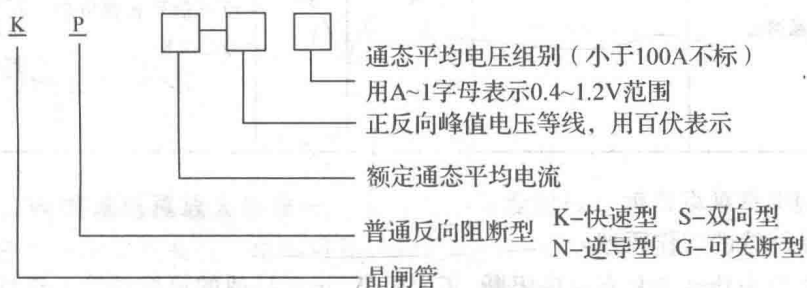
在变频电路和直流电动机可逆调速系统中,应选择合适的开通时间和关断时间,电动机才能正常工作。

③断态电压临界上升率 du/dt :指在额定结温和门极开路的情况下,不导致从断态到通态转换的最大阳极电压上升率。使用中的实际电压上升率必须低于此临界值,应采取措施加以限制。

④通态电流临界上升率 di/dt :指在规定的条件下,晶闸管能承受而无有害影响的最大通态电流上升率,使用中的实际电流上升率应低于此临界值,应采取措施加以限制。

5. 晶闸管的型号

KP 型晶闸管型号意义规定如下:

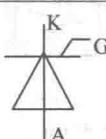
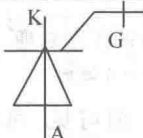
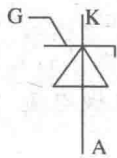


如:KP100-10A 表示额定通态平均电流为 100A,正反向重复峰值电压为 1000V,通态平均电压小于等于 0.4V 的普通反向阻断型晶闸管。

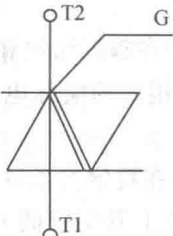
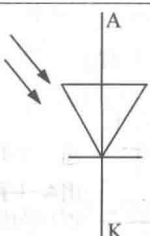
6. 其他晶闸管

其他晶闸管是在普通晶闸管的基础上,利用 PN 结相互作用原理,采用不同材料和工艺制造的有特殊功能的晶闸管,其基本特点和用途见表 1-1。

表 1-1 各种特殊晶闸管比较

名 称	型 号	符 号	工作特点	主要用途
快速晶闸管	KK		反向阻断,由门极信号控制导通,关断时间短,导通速度快	用于中频电源、超声波电源等
可关断晶闸管	KG		由门极正信号控制导通,负信号控制关断	用于步进电机电源,彩色电视扫描电路,汽车点火系统,直流开关等
逆导晶闸管	KN		反向导通,由门极信号控制导通(相当于普通晶闸管与整流二极管反向并联)	用于逆变器、斩波器

(续表)

名称	型号	符号	工作特点	主要用途
双向晶闸管	KS		双向均可由门极控制导通(相当于两只普通晶闸管反向并联)	用于电子开关,调光器,调温器等
光控晶闸管			由光信号代替电信号触发管子	用于电子开关,直流电源,自动化生产监控等

(三)本章难点分析

1. 晶闸管的工作原理

晶闸管为什么会具有反向阻断、正向阻断、正向导通的可控性工作特性?下面从晶闸管的内部结构入手作进一步分析。

晶闸管是由四层半导体交叠而成,如果在器件上按图 1-3(c)所示取倾斜的截面,就可把晶闸管分拆成两个三极管 V_1 、 V_2 ,即晶闸管可等效看成两个三极管 V_1 ($P_1-N_1-P_2$)、

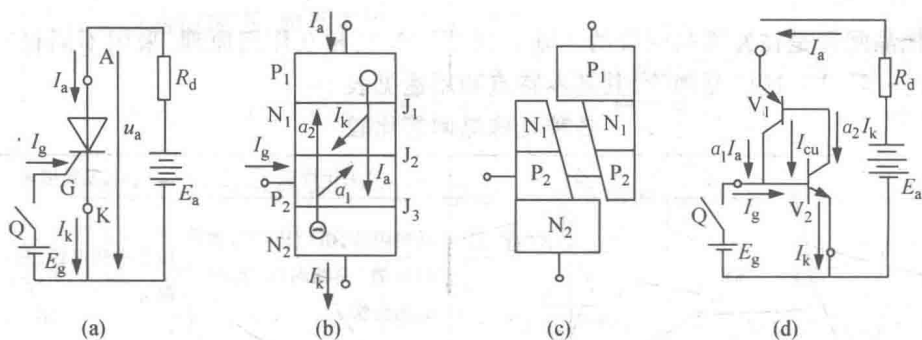
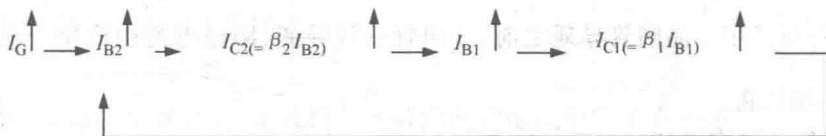


图 1-3 晶闸管的工作原理

(a)结构 (b)工作原理

V_2 ($N_1-P_2-N_2$) 的组成,如图 1-3(d)所示。由图可见,每个三极管的集电极同时又是另一个三极管的基极,即:当开关 Q 断开时, $I_{C1} = I_{B2}$, $I_{C2} = I_{B1}$ 。当 Q 合上时,有足够的门极电流 I_g 注入三极管 V_2 的基极,即产生集电极电流 I_{C2} ,它构成晶闸管 V_1 的基极电流,经 V_1 放大成集电极电流 I_{C1} ,又进一步增大 V_2 的基极电流,如此形成强烈的正反馈,最后, V_1 和 V_2 进入完全饱和状态,即晶闸管导通。

过程可描述为:



从另一个角度看,设 V_1 、 V_2 管共基接法电流放大倍数为 α_1 、 α_2 , 流过 J2 结的反向漏电流为 I_{CO} , V_1 管集电极电流 I_{C1} 为 $\alpha_1 I_a$, V_2 管集电极电流 I_{C2} 为 $\alpha_2 I_k$, 由图(b)、(d)可见, I_{C1} 、 I_{C2} 都是流过 J2 结的电流, 那么流过 J2 结的总电流为

$$I_a = I_{C1} + I_{C2} + I_{CO}$$

把 $I_{C1} = \alpha_1 I_a$ 及 $I_{C2} = \alpha_2 I_k$ 代入上式得

$$I_a = \alpha_1 I_a + \alpha_2 I_k + I_{CO} \quad (1-1)$$

当 Q 合上, I_g 电流注入时, 阴极电流为

$$I_K = I_a + I_g \quad (1-2)$$

将式(1-2)代入(1-1)得

$$I_a = \frac{I_{CO} + \alpha_2 I_g}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (1-3)$$

三极管 V_1 、 V_2 共基电流放大倍数 α_1 、 α_2 的大小与发射极电流大小有关, 图 1-4 为 α_1 、 α_2 与发射极电流的关系曲线。由图可见, 随着发射极电流的增大, α_1 、 α_2 也增大。

当 Q 断开 $I_g = 0$ 时, $(\alpha_1 + \alpha_2)$ 的值很小, $I_a \approx I_{CO}$, 晶闸管处于正向阻断状态。

当 Q 合上 I_g 足够大时, V_2 的发射极电流增大, 则 α_2 增大, 从而 I_{C2} 增大。 I_{C2} 流经 V_1 管的发射结, 则有 α_1 增大, 从而 I_{C1} 增大。 I_{C1} 又流经 V_2 的发射结, 又使 α_2 增大……。由于正反馈的作用, 使发射结电流增大, α_1 、 α_2 增大, 当 $(\alpha_1 + \alpha_2) \approx 1$ 时(如图中临界点 K), 则阳极电流 I_a 迅速增大, 此时, I_a 不再由式(1-3)决定, 而是由主电路电源电压 E_a 和回路负载电阻 R_d 决定, 此时晶闸管处于正向导通状态。

在晶闸管导通状态下, 由于正反馈的作用, 即使去掉 I_g , 或 I_g 反向, 阳极电流也不受影响, 晶闸管也不能关断, 即此时门极已失去控制作用。

要想使晶闸管关断, 可采用不断降低主电路电源电压或增大回路电阻 R_d 的方法, 来降低阳极电流 I_a , 也就降低了阴极电流 I_K , 发射极电流也随之下, α_1 、 α_2 紧跟着下降, 当 I_a 减小到维持电流 I_H (约几十毫安)以下时, α_1 、 α_2 已降低到很小: $(\alpha_1 + \alpha_2) \approx 0$, V_1 、 V_2 两管内部正反馈已无法维持, 晶闸管恢复阻断状态。

理解晶闸管的工作原理首先要掌握三极管的工作特性, 其次要注意: 公式 $I_a =$

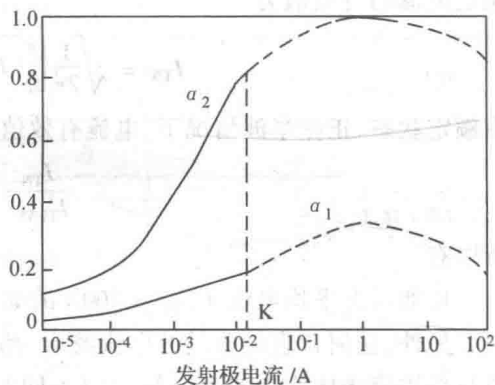


图 1-4 α_1 、 α_2 与发射极电流的关系曲线

$\frac{I_{CO} + \alpha_2 I_E}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$ 只适用于晶闸管导通之前,晶闸管一旦导通,阳极电流则取决于晶闸管承受的阳极电压和负载。

2. 晶闸管的额定电流

由于整流设备输出端所接负载常用平均电流来衡量其性能,所以晶闸管的额定电流不用有效值而是用平均值表示,也就是用在一定条件下的最大通态平均电流按电流标准等级就低取整数来标定。

而晶闸管允许通过电流的大小取决于三个 PN 结的结温,结温的高低又取决于发热和冷却的条件,从晶闸管发热角度来考虑(假定管芯电阻值不变),管芯发热多少和通过晶闸管的电流有效值有关,可根据管子的额定电流 $I_{T(AV)}$ 换算出额定电流的有效值 I_{TN} ,在散热条件符合规定的条件下,只要流过晶闸管的实际电流有效值等于额定电流的有效值 I_{TN} ,晶闸管的发热就被限制在允许的范围之内。

由于不同型式的整流电路带不同类型导通负载,具有不同导通角,流过晶闸管的电流波形不一,从而它的平均值和有效值的关系就不一样,故实际允许的电流平均值和额定电流 $I_{T(AV)}$ 是不同的,因而需要进行换算,换算的原则显然应遵循电流有效值相等的原则,即实际波形的电流有效值等于额定电流 $I_{T(AV)}$ 的电流有效值。

据通态平均电流的定义,当电流峰值为 I_m 时,有

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

额定电流的有效值为

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

在额定状态、正弦半波情况下,电流有效值与平均值之比为

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

所以有

$$I_{TN} = 1.57 I_{T(AV)} \quad (1-4)$$

比如通态平均电流 $I_{T(AV)} = 100A$ 的晶闸管可以通过的电流有效值为 $157A$ 。

另外,任何含直流分量的电流波形,都可以求出平均电流 I_d 的有效值 I ,我们把有效值与平均值之比称为波形系数 K_f , (不同的电流波形有不同的波形系数),即

$$K_f = \frac{I}{I_d} \quad (1-5)$$

变形得

$$I = K_f I_d \quad (1-6)$$

综合式(1-5)和式(1-6),按电流有效值相等的原则有

$$1.57 I_{T(AV)} = K_f I_d \quad (1-7)$$

即

$$I_{T(AV)} = \frac{K_f \cdot I_d}{1.57} \quad (1-8)$$

式中: $I_{T(AV)}$ 为晶闸管通态平均电流(额定电流);

I_d 为晶闸管实际电流平均值;

K_f 为晶闸管的波形系数。

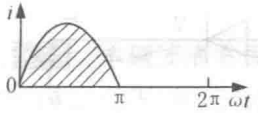
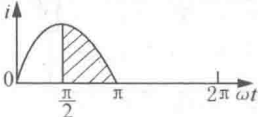
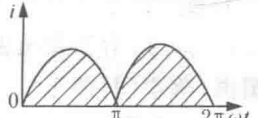
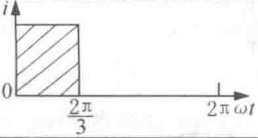
由于晶闸管的过载能力差,在选择晶闸管的额定电流时应留有一定的安全裕量,通常取实际计算值的(1.5~2)倍,并且还要采取一定的保护措施。经调整后有

$$I_{TA} = (1.5 \sim 2) \cdot \frac{K_f \cdot I_d}{1.57} = (1.5 \sim 2) \frac{I_{TM}}{1.57} \quad (1-9)$$

式中: I_{TM} 为实际流过晶闸管的最大电流有效值。

需要指出的是,不同的电流波形,其平均值、有效值和波形系数是不同的,表 1-2 列举了五种电流波形,它们的周期均为 2π ,最大值均为 I_m ,当它们分别通过额定电流 $I_{T(AV)}$ 为 100A 的晶闸管时,分别对应不同的波形系数 K_f 和相应波形下晶闸管实际允许通过的电流平均值 I_d 。

表 1-2 不同的波形系数 K_f 和相应波形下晶闸管实际允许通过的电流平均值 I_d

波形	平均值 I_d 、有效值 I 与最大值 I_m 关系	波形系数 $K_f = I/I_d$	允许电流平均值 $I_{dT} = I_{TN}/K_f$
	$I_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi}$ $I = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{2}$	1.57	$I_{dT} = \frac{1.57 \times 100}{1.57}$ $= 100A$
	$I_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{2\pi}$ $I = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/2} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{2}$	2.22	$I_{dT} = \frac{1.57 \times 100}{2.22}$ $= 70.7A$
	$I_d = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} I_m$ $I = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	1.11	$I_{dT} = \frac{1.57 \times 100}{1.11}$ $= 141.4A$
	$I_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi/3} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{3}$ $I = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi/3} I_m^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{\sqrt{3}}$	1.73	$I_{dT} = \frac{1.57 \times 100}{1.73}$ $= 90.7A$
	$I_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/3} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{6}$ $I = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/3} I_m^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{\sqrt{6}}$	2.45	$I_{dT} = \frac{1.57 \times 100}{2.45}$ $= 64.1A$

从上列数据可以看出,同一电流波形面积越大(说明晶闸管导通时间越长),波形系数 K_f 越小,允许通过的电流平均值 I_d 越大,反之 K_f 越大, I_d 越小。在 $K_f > 1.57$ 的情况下,晶闸管实际允许通过的电流平均值 I_d 小于晶闸管的通态平均电流 $I_{T(AV)}$;而当 $K_f < 1.57$ 时, I_d 则大于 $I_{T(AV)}$ 。

由此可见,即使变化规律相同的电流波形,如果导通时间不同,电流波形的面积不同,其平均值、有效值和波形系数也会不同。

在一个周期内,如果波形重复出现,而使波形的面积成倍增加时,其平均值、有效值和