



电力电子技术 实践教程

潘孟春 胡媛媛 主编

国防科技大学出版社

电力电子技术实践教程

潘孟春 胡媛媛 主编

潘孟春 胡媛媛 陈长明 编著
单庆晓 孟祥贵 魏全禄

国防科技大学出版社

·长沙·

内 容 简 介

本书是一本着力从应用层面介绍电力电子技术内容的教材。全书将直流电机、交流电机、低压电器、可编程序控制器分别看作为一类“元件”,按照晶闸管、电力晶体管、电力 MOS 场效应晶体管、绝缘栅双极型晶体管、其他功率器件、直流电机、交流电机、低压电器、可编程序控制器的顺序安排章节,每章内容遵循元件基本原理、应用的支撑知识、应用实例和典型实验的构架。

本书可作为电力电子技术和电力电子与电机控制等课程的配套教材,也可供具有一定电子技术知识的本科生、研究生和工作技术人员作为了解电力电子技术、应用电力电子技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术实践教程/潘孟春,胡媛媛主编. —长沙:国防科技大学出版社,2005.1

ISBN 7-81099-158-2

I. 电... II. ①潘...②胡... III. 电力电子学—高等学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 000629 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

E-mail: gfkdcbs@public.cs.hn.cn

责任编辑:张 静 责任校对:黄 煌

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张:12.5 字数:289 千

2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1-3000 册

ISBN 7-81099-158-2/TM·3

*

定价:22.00 元

前 言

《电力电子技术实践教程》是根据电力电子技术和电力电子与电机控制等课程的教学实际情况而编写的,在编写时着力在教程和实践二词上下功夫,在内容组织上以元件为主线安排每一章,试图以通俗、简洁的方式按照器件基本原理、应用的支撑知识、应用实例和典型实验的构架安排每一章节的内容,强调的是边学边实践的循序渐进的过程。因此它不是一本纯粹的实验指导书,而是一本电力电子技术方面的教科书和“手册”。既适合于电力电子技术初学者使用,也可供一般工程技术人员作为参考书。

本书将直流电机、交流电机、低压电器、可编程序控制器也分别看作为一类“元件”,按照晶闸管、电力晶体管、电力 MOS 场效应晶体管、绝缘栅双极型晶体管、其他功率器件、直流电机、交流电机、低压电器、可编程序控制器的顺序共分九章,在内容安排上侧重应用层面,对一些常用的专用集成电路的应用作了详细介绍,每一章都配备了 2~4 个与该章知识密切相关的实验内容。

全书由潘孟春策划,潘孟春和胡媛媛共同主编。陈长明、单庆晓老师提供了不少素材,有的部分是直接从他们所做课件改写而成,孟祥贵同志对实验部分进行了细致的审核,研究生魏全禄作了部分文字和插图的整理工作。

罗飞路教授、刘尉东副教授审阅了全书并提出了许多宝贵的意见,在此对他们表示诚挚的感谢。

鉴于作者水平和时间问题,肯定还达不到我们的初衷,不妥之处请读者赐教,我们将永存感激!

作者于长沙

2004 年 10 月

目 录

第一章 晶闸管

1.1 概 述	(1)
1.1.1 晶闸管的结构与工作原理	(1)
1.1.2 晶闸管的基本特性	(3)
1.1.3 晶闸管的主要参数	(5)
1.2 触发控制及专用集成电路	(7)
1.2.1 晶闸管的触发电路	(7)
1.2.1.1 触发电路的组成	(8)
1.2.1.2 触发电路的工作原理	(9)
1.2.2 晶闸管移相触发控制专用集成电路	(10)
1.2.2.1 KJ004 晶闸管移相触发器集成电路	(10)
1.2.2.2 TCA785 晶闸管及晶体管移相触发器集成电路	(13)
1.3 典型实验	(15)
1.3.1 实验一:单相桥式半控整流电路与单结晶体管触发电路的研究	(15)
1.3.2 实验二:三相晶闸管桥式全控整流电路及三相集成触发电路的研究	(17)
1.3.3 实验三:单相交流调压电路的性能研究	(20)
1.4 可关断晶闸管(GTO)	(22)
1.4.1 GTO 的结构和工作原理	(22)
1.4.2 GTO 的动态特性及主要参数	(22)
1.4.3 GTO 电路结构的基本单元	(24)
1.4.4 GTO 的驱动电路	(24)
1.5 其 他	(27)
1.5.1 晶闸管的鉴别方法	(27)
1.5.2 晶闸管的串并联	(27)
1.5.2.1 晶闸管的串联	(27)
1.5.2.2 晶闸管的并联	(28)
1.5.3 晶闸管模块	(29)

第二章 电力晶体管

2.1 概 述	(30)
2.1.1 GTR 的基本结构和工作原理	(30)
2.1.2 GTR 的基本特性	(32)
2.1.3 GTR 的基本参数	(32)
2.1.4 GTR 的二次击穿现象与安全工作区	(33)
2.2 触发控制及专用集成电路	(34)
2.2.1 GTR 的基极驱动电路	(34)
2.2.2 GTR 基极驱动和控制专用集成电路	(36)
2.2.2.1 UAA4002GTR 基极驱动和保护集成电路	(36)
2.2.2.2 M57215BL/M57925L/M57950L 驱动大电流 GTR 的厚膜驱动器集成电路	(38)
2.3 典型实验:GTR 单相并联逆变电路	(40)
2.4 其 他	(41)
2.4.1 功率晶体管的并联	(41)
2.4.2 GTR 模块	(42)

第三章 电力 MOS 场效应晶体管

3.1 概 述	(44)
3.1.1 电力 MOSFET 的结构和工作原理	(44)
3.1.2 电力 MOSFET 的基本特性	(45)
3.1.2.1 静态特性	(45)
3.1.2.2 动态特性	(46)
3.1.3 电力 MOSFET 的主要参数	(47)
3.2 触发控制及专用集成电路	(48)
3.2.1 电力 MOSFET 对栅极驱动电路的要求	(48)
3.2.2 典型驱动电路	(49)
3.2.2.1 采用 TTL 器件驱动 MOSFET	(49)
3.2.2.2 用 CMOS 器件驱动 MOSFET	(49)
3.2.2.3 隔离驱动式 MOSFET	(49)
3.2.3 电力 MOSFET 栅极驱动控制专用集成电路	(50)
3.2.3.1 IR2110 具有两输出的桥臂 MOSFET 栅极驱动器集成电路	(50)
3.2.3.2 IR2133/IR2135/IR2233/IR2235 三相全桥 MOSFET 驱动器集成电路	(53)
3.3 典型实验	(58)
3.3.1 实验一:直流斩波电路的性能研究	(58)
3.3.2 实验二:半桥型开关稳压电源的性能研究	(60)
3.3.3 实验三:三相电压型桥式有源逆变电路特性研究	(61)

3.4 其 他	(63)
3.4.1 电力 MOSFET 的并联运行	(63)
3.4.2 电力 MOSFET 模块	(64)

第四章 绝缘栅双极型晶体管

4.1 概 述	(66)
4.1.1 IGBT 的结构和工作原理	(66)
4.1.2 IGBT 的基本特性	(67)
4.1.2.1 静态特性	(67)
4.1.2.2 动态特性	(68)
4.1.3 IGBT 的主要参数	(69)
4.1.4 IGBT 的擎住效应和安全区	(69)
4.2 触发控制及专用集成电路	(71)
4.2.1 对栅极驱动电路的要求	(71)
4.2.2 集成式 IGBT 驱动器	(72)
4.2.2.1 EXB 系列 IGBT 厚膜驱动器集成电路	(72)
4.2.2.2 M57959AL/M57962AL/M57959L/M57962L 带保护和定时复位功能的厚膜驱 动器集成电路	(74)
4.3 典型实验	(76)
4.3.1 实验一:直流斩波与 IGBT 驱动、保护电路测试	(76)
4.3.2 实验二:单相交直交变频电路的性能研究	(79)
4.4 其 他	(82)
4.4.1 IGBT 的并联使用	(82)
4.4.2 IGBT 模块	(83)
4.5 典型电力电子器件的保护	(83)
4.5.1 过电压的保护	(83)
4.5.2 过电流的保护	(84)
4.5.3 缓冲电路	(84)
4.6 典型全控型电力电子器件性能比较	(85)

第五章 其他功率器件

5.1 整流二极管	(87)
5.1.1 普通硅整流管	(87)
5.1.2 快恢复二极管	(87)
5.1.3 肖特基二极管	(90)
5.2 MOS 控制晶闸管 MCT	(90)
5.2.1 MCT 的基本结构与工作原理	(90)

5.2.2	MCT 的特性与参数	(91)
5.2.2.1	MCT 的特性	(91)
5.2.2.2	MCT 的参数	(92)
5.2.3	MCT 与其他器件的比较	(93)
5.3	静电感应晶体管(SIT)	(94)
5.3.1	SIT 的基本结构和工作原理	(94)
5.3.2	SIT 的特性与参数	(95)
5.4	静电感应晶闸管 SITH	(97)
5.4.1	SITH 的基本结构和工作原理	(97)
5.4.2	SITH 的特性与参数	(97)

第六章 直流电机

6.1	概 述	(100)
6.1.1	直流电机的结构和工作原理	(100)
6.1.2	直流他励电动机的运行特性	(101)
6.1.2.1	直流他励电动机的机械特性	(101)
6.1.2.2	直流他励电动机的调速特性	(103)
6.1.3	直流电机的额定值	(103)
6.2	直流调速系统	(104)
6.2.1	调速系统的基本概念	(104)
6.2.1.1	开环和闭环调速系统	(104)
6.2.1.2	调速系统的性能指标	(105)
6.2.2	直流调速系统的分类	(106)
6.2.3	典型的直流调速系统	(107)
6.2.3.1	具有转速负反馈的晶闸管直流调速系统	(107)
6.2.3.2	具有电压负反馈和电流正反馈的晶闸管直流调速系统	(108)
6.2.3.3	转速、电流双闭环晶闸管直流调速系统	(108)
6.2.4	PWM 直流脉宽调速系统	(110)
6.2.5	晶体管脉宽调制直流调速系统专用集成电路	(112)
6.3	典型实验	(115)
6.3.1	实验一:直流他励电动机运行特性分析	(115)
6.3.2	实验二:晶闸管直流调速系统性能研究	(117)
6.3.3	实验三:双闭环三相晶闸管全控桥式整流直流调速系统的调试与机械特性的测定	(120)
6.3.4	实验四:直流脉宽调制(PWM)调速系统性能研究	(124)

第七章 交流电机

7.1	概 述	(126)
-----	-----------	-------

7.1.1 异步电机的结构和工作原理	(126)
7.1.2 异步电动机的运行特性	(127)
7.1.3 异步电动机的额定值	(129)
7.1.4 同步电机的结构和工作原理	(130)
7.2 交流调速系统	(131)
7.2.1 变转差率调速方式	(131)
7.2.1.1 交流调压调速系统	(131)
7.2.1.2 串级调速系统	(134)
7.2.2 变频调速系统	(135)
7.2.2.1 变频调速的基本原理	(135)
7.2.2.2 变频器的基本构成	(137)
7.2.2.3 PWM 逆变电路及其控制方法	(138)
7.2.2.4 PWM 集成电路	(140)
7.2.2.5 典型变频调速系统	(145)
7.3 典型实验	(147)
7.3.1 实验一:三相同步发电机运行特性研究	(147)
7.3.2 实验二:三相异步电动机运行特性研究	(149)
7.3.3 实验三:单相交流调压电路的研究	(151)
7.3.4 实验四:变频调速系统的调节与测试	(154)

第八章 低压电器

8.1 概 述	(159)
8.1.1 电磁式接触器	(159)
8.1.2 电磁式继电器	(160)
8.1.3 其他常用电磁式低压电器	(161)
8.2 基本电气控制线路	(162)
8.2.1 点动及连续运行控制线路	(166)
8.2.2 正反转控制线路	(166)
8.2.3 鼠笼式异步电动机能耗制动的自动控制线路	(168)
8.3 典型实验:三相异步电机的继电接触控制	(168)

第九章 可编程序控制器

9.1 概 述	(171)
9.1.1 一般可编程序控制器的基本原理	(171)
9.1.2 CPM1A 系列可编程序控制器的规格与系统组成	(172)
9.1.2.1 CPM1A 的 I/O 规格	(173)
9.1.2.2 CPM1A 的性能指标	(174)

9.1.2.3 CPM1A 的基本构成及数据存储器的分配	(175)
9.2 可编程序控制器的编程和指令系统	(176)
9.2.1 可编程序控制器的指令系统	(176)
9.2.1.1 常用编程指令及应用	(176)
9.2.1.2 可编程序控制器的编程规则	(179)
9.2.2 可编程序控制器的应用举例	(180)
9.3 典型实验	(181)
9.3.1 实验一:电机正反转控制及交通灯管理实验	(181)
9.3.2 实验二:电梯模拟控制系统实验	(183)
9.3.3 实验三:装配流水线模拟控制实验	(184)
9.3.4 实验四:步进电机模拟控制实验	(185)
参考文献	(187)

第一章 晶闸管

1.1 概 述

晶闸管(Thyristor)是晶体闸流管的简称,又称作可控硅整流器(Silicon Controlled Rectifier—SCR)。在电力二极管开始得到应用后不久,1957~1958年,美国研制出世界上第一只普通(400Hz 以下)晶闸管,由于其开通时刻可以控制,而且各方面性能均明显胜过以前的汞弧整流器,因而立即受到普遍欢迎,从此开辟了电力电子技术迅速发展和广泛应用的崭新时代。自 20 世纪 80 年代以来,晶闸管的地位开始被各种性能更好的全控型器件所取代,但是由于其能承受的电压和电流容量仍然是目前电力电子器件中最高的,而且工作可靠,因此在大容量的应用场合仍然具有比较重要的地位。

晶闸管包括普通晶闸管(俗称可控硅)、双向晶闸管、门极关断晶闸管及逆导晶闸管等。由于普通晶闸管被广泛和大量使用,因此从事电力电子设备制造、研制的工程技术人员习惯上把晶闸管泛指为普通晶闸管。本节主要介绍普通晶闸管的工作原理、基本特性和主要参数。

1.1.1 晶闸管的结构与工作原理

图 1-1 给出了晶闸管的外形示意。图 1-2 给出了晶闸管的结构和电气图形符号。

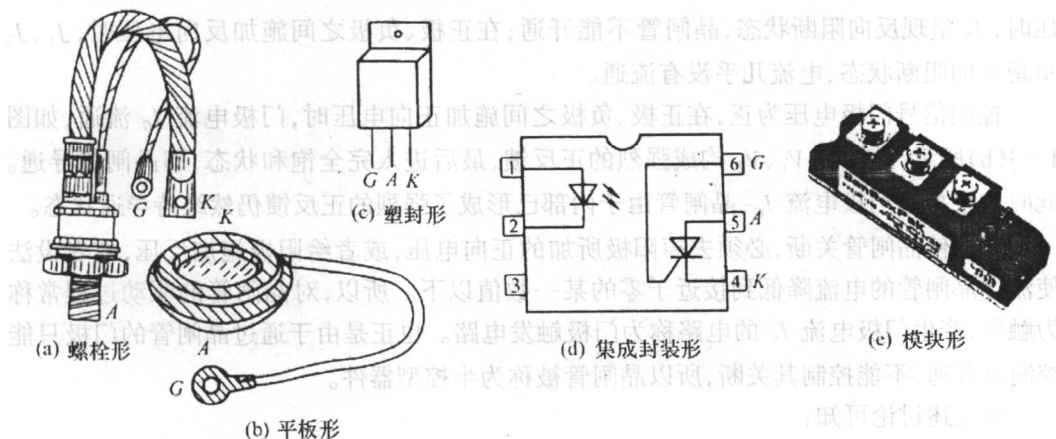


图 1-1 晶闸管的外形示意图

国内晶闸管统一型号为 KP 型,晶闸管有三个电极,即阳极 A、阴极 K 及门极 G。对于正烧工艺的螺栓形晶闸管(电流容量在 200A 以内)来说,螺栓是阳极 A,粗辫子线是阴极

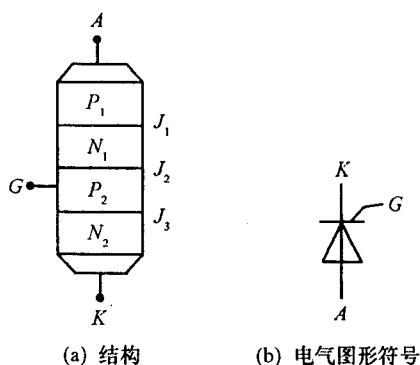


图 1-2 晶闸管的结构和电气图形符号

K(有时为使用方便,专门把螺栓形晶闸管加工成反烧型,此时螺栓是阴极 K,粗辫子线是阳极 A),细辫子线是门极 G。平板形晶闸管(电流容量 $> 200\text{A}$)又分为凸台和凹台两种外形,凸台封装的平板形晶闸管大台面为阴极,小台面为阳极,中间引出的细线为门极,而凹台外形的晶闸管是夹在两台面中间并与两台面平行的一圈金属为门极,距离门极近的一个台面为阴极 K,另一个台面为阳极 A。塑封形的晶闸管一般电流在几十安培以内,其三个电极的排列为正对着塑封晶闸管型号标记处看去,左边的那个引脚为门极 G,中间引脚为阳极 A,右边的那个引脚为阴极 K。集成封装的晶闸管引出管脚各公司有所不同,可查相应的产品使用手册。

晶闸管内部是 PNP 四层半导体结构,如图 1-3(a)所示,分别命名为 P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2 四个区。 P_1 区引出阳极 A, N_2 区引出阴极 K, P_2 区引出门极 G。四个区形成 J_1 、 J_2 、 J_3 三个 PN 结。如在器件上取一倾斜的斜面,则晶闸管可以看作由 $P_1N_1P_2$ 和 $N_1P_2N_2$ 构成的两个晶体管 V_1 、 V_2 组合而成。控制信号门极电压为零,在正极、负极之间施加正向电压时, J_2 呈现反向阻断状态,晶闸管不能开通;在正极、负极之间施加反向电压时, J_1 、 J_3 呈现反向阻断状态,电流几乎没有流通。

控制信号门极电压为正,在正极、负极之间施加正向电压时,门极电流 I_G 流通,如图 1-3(b)所示,晶体管 V_1 、 V_2 构成强烈的正反馈,最后进入完全饱和状态,即晶闸管导通。此时如果撤掉门极电流 I_G ,晶闸管由于内部已形成了强烈的正反馈仍然维持导通状态。

若要使晶闸管关断,必须去掉阳极所加的正向电压,或者给阳极施加反压,或者设法使流过晶闸管的电流降低到接近于零的某一数值以下。所以,对晶闸管的驱动过程常称为触发,产生门极电流 I_G 的电路称为门极触发电路。也正是由于通过晶闸管的门极只能控制其开通,不能控制其关断,所以晶闸管被称为半控型器件。

由上述讨论可知:

(1) 欲使晶闸管导通需具备两个条件:一是应在晶闸管的阳极与阴极之间加上正向电压,二是应在晶闸管的门极与阴极之间加上正向电压和电流;

(2) 晶闸管一旦导通,门极即失去控制作用;

(3) 为使晶闸管关断,必须使其阳极电流减至小于维持电流以下,对于纯电阻性负

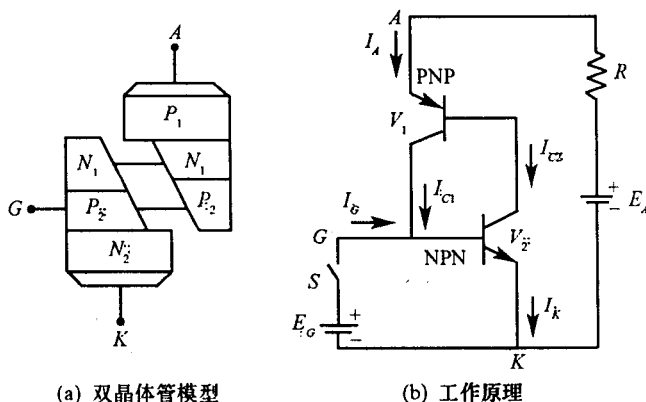


图 1-3 晶闸管的双晶体管模型及其工作原理

载, 可以用使阳极电压减小到零或反向的方法来实现。

晶闸管在如下几种情况也可能被触发导通: 阳极电压升高至相当高的数值, 造成雪崩效应; 阳极电压上升率 $\frac{du}{dt}$ 过高; 结温较高; 光直接照射硅片, 即光触发。这些情况除了光触发由于可以保证控制电路与主电路之间的良好绝缘而应用于高压电力设备之外, 其它都因不易控制而难以应用于实践。只有门极触发是最精确、迅速而可靠的控制手段。

1.1.2 晶闸管的基本特性

1. 静态特性

(1) 阳极伏安特性

晶闸管的阳极伏安特性是指晶闸管阳极和阴极之间的电压 U_{AK} 与阳极电流 I_A 之间的关系。

当 $I_G = 0$ 时, 晶闸管在正向阳极作用下只有很小的漏电流流过。如果正向电压超过临界极限即正向转折电压 U_{bo} , 则漏电流急剧增大, 器件两端的压降减至一很小的数值, 晶闸管进入导通状态, 特性从高阻区(关断状态)经虚线负阻区到达低阻区(导通状态)。

在晶闸管的门极上加触发电流 I_G , 会使晶闸管在较低的阳极电压下触发导通, 门极电流 I_G 越大, 相应的转折电压 U_{bo} 越低, 如图 1-4 的第一象限所示。晶闸管的导通特性与反向特性几乎和我们熟悉的二极管的特性相似。

(2) 门极伏安特性

晶闸管的门极伏安特性是指门极电压与电流的关系。

由于门极 G 和阴极 K 之间只有一个 PN 结 J_3 , 所以电压与电流的关系呈现二极管的伏安特性关系。另外, 由于工艺原因, 不同晶闸管的门极特性相差很大, 因而门极伏安特性对应着一个相当宽的区域, 常用高阻特性曲线 A 和低阻特性曲线 B 作为边界来表示, 如图 1-5 所示。

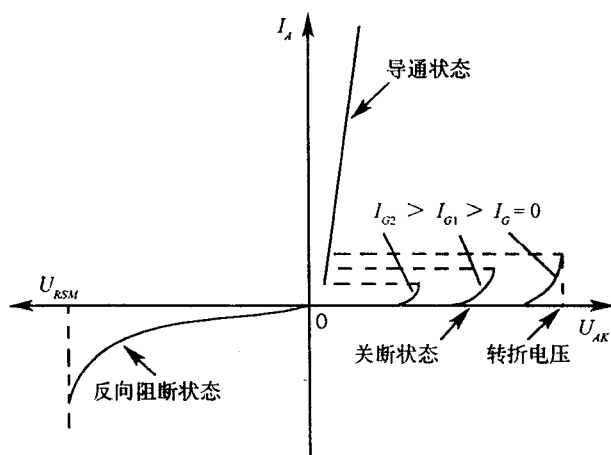


图 1-4 晶闸管的阳极伏安特性

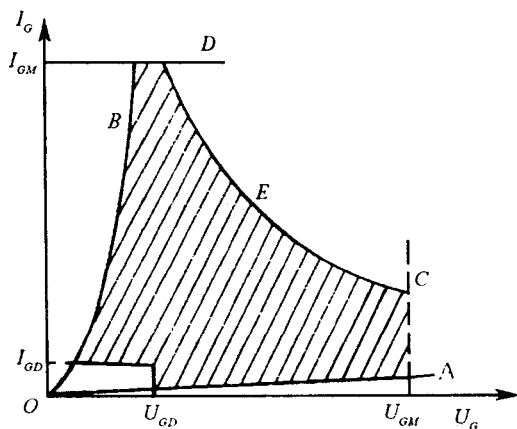


图 1-5 晶闸管的门极伏安特性

图 1-5 中左下方的一个小范围(无阴影部分),是在额定结温时,各晶闸管均不能被触发导通的区域,称为不可触发区,相应的电压与电流称为门极不触发电压 U_{GD} 和门极不触发电流 I_{GD} 。但是门极触发信号又不宜过高,既要受门极正向峰值电压 U_{GM} 和门极正向峰值电流 I_{GM} 的限制,同时还要受门极峰值功率耗散的限制。因此,晶闸管的门极特性实际上是局限在图中阴影部分。

2. 动态特性

图 1-6 表示晶闸管开通与关断过程波形。其开通过程描述的是使门极在坐标原点时刻开始受到理想阶跃电流触发的情况;而关断过程描述的是对已导通的晶闸管,外电路所加电压在某时刻突然由正向变为反向的情况。

(1) 开通过程

由于晶闸管内部正反馈的时间较长及受外电路电感的影响,所以其阳极电流在受到

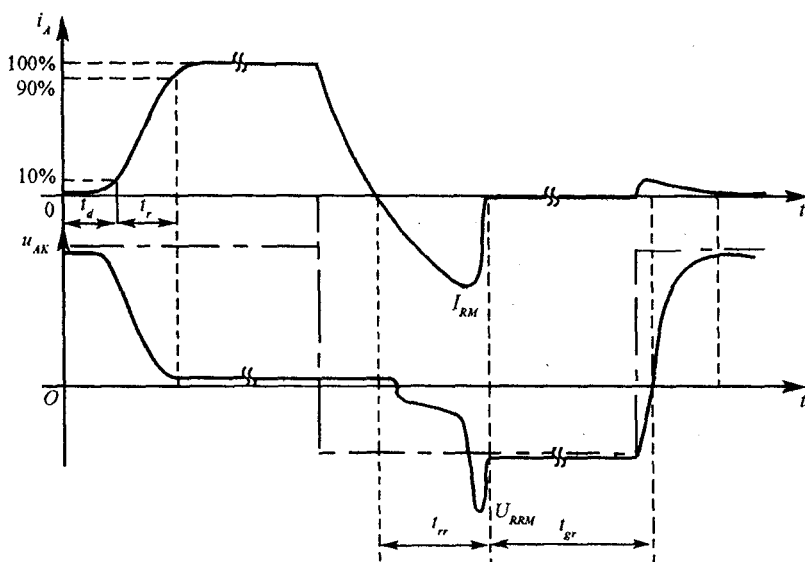


图 1-6 晶闸管的开通与关断过程波形

触发后有一个逐渐增长的过程。从门极电流阶跃时刻开始,到阳极电流上升到稳定值的 10%,这段时间称为延迟时间 t_d ,与此同时晶闸管的正向压降也在减少;阳极电流从 10% 上升到稳定值的 90% 所需的时间称为上升时间 t_r 。开通时间 t_{gt} 即定义为两者之和,即

$$t_{gt} = t_d + t_r \quad (1-1)$$

(2) 关断过程

原处于导通状态的晶闸管,当外加电压突然由正向变为反向时,由于外电路电感的存在,其阳极电流在衰减时也是有过渡过程的。阳极电流将逐步衰减到零,同电力二极管的关断过程类似,在反方向会流过反向恢复电流,经过最大值 I_{RM} 后再反方向衰减。同样,由于外电路电感的作用,恢复电流快速衰减,会在晶闸管两端引起反向的尖峰电压 U_{RRM} 。最终反向恢复电流衰减至接近于零,晶闸管恢复其对反向电压的阻断能力。从正向电流降为零,到反向恢复电流衰减至接近于零的时间,称为晶闸管的反向阻断恢复时间 t_{rr} 。反向恢复过程结束后,由于载流子复合过程比较慢,晶闸管要恢复其对正向电压的阻断能力还需要一段时间,这叫做正向阻断恢复时间 t_{gr} 。在 t_{gr} 时间内,如果重新对晶闸管施加正向电压,晶闸管会重新正向导通,而不是受门极电流控制而导通。所以在实际应用中,应对晶闸管施加足够长时间的反向电压,使晶闸管充分恢复其对正向电压的阻断能力,电路才能可靠工作。晶闸管的电路换向关断时间 t_q 定义为两者之和:

$$t_q = t_{rr} + t_{gr} \quad (1-2)$$

普通晶闸管的关断时间约几百 μs 。

1.1.3 晶闸管的主要参数

由于晶闸管在反向稳态情况下,一定处于阻断状态,所以在提到晶闸管的参数时,断

态和通态都是为了区分正向的不同状态,因此“正向”二字可省去。此外,各项主要参数的给出往往是与晶闸管的结温相联系的,在实际应用时应注意参考器件参数和特性曲线的具体规定。

1. 电压定额

(1) 断态重复峰值电压 U_{DRM}

断态重复峰值电压是在门极断路而结温为额定值时,允许重复加在器件上的正向峰值电压(见图 1-4)。国际规定重复频率为 50Hz,每次持续时间不超过 10ms。规定断态重复峰值电压 U_{DRM} 为断态不重复峰值电压 U_{DSM} 的 90%。 U_{DSM} 应低于正向转折电压 U_{bo} ,所留裕量大小由生产厂家自行规定。

(2) 反向重复峰值电压 U_{RRM}

反向重复峰值电压是在门极断路而结温为额定值时,允许重复加在器件上的反向峰值电压(见图 1-4)。规定 U_{RRM} 为反向不重复峰值电压(即反向最大瞬态电压) U_{RSM} 的 90%。 U_{RSM} 应低于反向击穿电压,所留裕量大小由生产厂家自行规定。

(3) 额定电压

晶闸管铭牌标出的额定电压等级,表示晶闸管能承受的电压值。这个电压值通常取晶闸管的 U_{DRM} 和 U_{RRM} 中较小的标值。由于晶闸管承受过电压的能力很差,为了安全,所选晶闸管的额定电压值一般为正常工作时晶闸管所承受峰值电压的 2~3 倍。

2. 电流定额

(1) 通态平均电流 $I_{T(AV)}$

国际规定通态平均电流为晶闸管在环境温度为 40℃ 和规定的冷却状态下,稳定结温不超过额定结温时所允许流过的最大工频正弦半波电流的平均值。这也是标称晶闸管额定电流的参数,是按照正向电流造成的器件本身的通态损耗的发热效应来定义的。因此在使用时应按照实际波形的电流与通态平均电流所造成的发热效应相等,即有效值相等的原则来选取晶闸管的此项电流定额,并应留一定的裕量。一般取其通态平均电流为按此原则所得计算结果的 1.5~2 倍。

(2) 维持电流 I_H

维持电流是指使晶闸管维持导通所必需的最小电流,一般为几十到几百 mA。 I_H 与结温有关,结温越高,则 I_H 越小。

(3) 擎住电流 I_L

擎住电流是晶闸管刚从断态转入通态并移除触发信号后,能维持导通所需的最小电流。对同一晶闸管,通常 I_L 约为 I_H 的 2~4 倍。

(4) 浪涌电流 I_{TSM}

浪涌电流是指由于电路异常情况引起的使结温超过额定结温的不重复性最大正向过载电流。这个参数可用来作为设计保护电路的依据。

3. 动态参数

除开通时间 t_{on} 和关断时间 t_q 外,还有:

(1) 断态电压临界上升率 $\frac{du}{dt}$

是指在额定结温和门极开路的情况下,不导致晶闸管从断态到通态转换的外加电压最大上升率。

(2) 通态电流临界上升率 $\frac{di}{dt}$

是指在规定条件下,晶闸管能承受而无害影响的最大通态电流上升率。

国产 KP 系列晶闸管的主要参数如表 1-1 所示。

表 1-1 晶闸管的主要参数

系列	通态平均电流 $I_{T(AV)}$ / A	断态重复峰值 电压, 反向重 复峰值电压 U_{DRM}, U_{RRM} / V	断态重复平均 电流, 反向重 复平均电流 I_{DR}, I_{RR} / mA	额定结温 T_{JM} / °C	断态电压 临界上升率 $\frac{du}{dt}$ / V· μ s ⁻¹	通态电流 临界上升率 $\frac{di}{dt}$ / A· μ s ⁻¹	浪涌 电流 I_{TSM} / A
序号	1	2	3	4	5	6	7
KP1	1	100 ~ 3000	≤1	100	30	—	20
KP5	5	100 ~ 3000	≤1	100	30	—	90
KP10	10	100 ~ 3000	≤1	100	30	—	190
KP20	20	100 ~ 3000	≤1	100	30	—	380
KP30	30	100 ~ 3000	≤2	100	30	—	560
KP50	50	100 ~ 3000	≤2	100	30	30	940
KP100	100	100 ~ 3000	≤4	115	100	50	1880
KP200	200	100 ~ 3000	≤4	115	100	80	3770
KP300	300	100 ~ 3000	≤8	115	100	80	5650
KP400	400	100 ~ 3000	≤8	115	100	80	7540
KP500	500	100 ~ 3000	≤8	115	100	80	9420
KP600	600	100 ~ 3000	≤9	115	100	100	11160
KP800	800	100 ~ 3000	≤9	115	100	100	14920
KP1000	1000	100 ~ 3000	≤10	115	100	100	18600

1.2 触发控制及专用集成电路

1.2.1 晶闸管的触发电路

晶闸管触发电路的作用是产生符合要求的门极触发脉冲,保证晶闸管在需要的时刻由阻断转为导通。

晶闸管触发电路应满足下列要求: