



浙江省“十一五”重点教材建设项目成果
高等职业教育教学改革系列规划教材

电力电子技术

◎ 主编 谢树林



- 设置12个技能训练项目，系统讲解电力电子技术
- 注重工程实例中理论参数的分析和计算，提高学生综合应用能力
- 以引例导入相关知识，侧重学生分析问题、解决问题能力的培养
- 提供免费的电子教学课件、习题参考答案等，以方便教学



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

浙江省“十一五”重点教材建设项目成果
高等职业教育教学改革系列规划教材

电力电子应用技术

主 编 谢树林

副主编 陈荷荷 孙立书 任中民 邱晓华

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从应用角度出发,以定性分析为主,介绍了电力电子器件及应用技术。主要内容包括电力电子器件、触发驱动保护电路、可控整流电路、逆变电路、交流调压电路、直流斩波电路、软开关技术、UPS 电路分析及应用等。本书对电力电子技术的内容进行了精选,并体现了新技术的发展。每个项目均配有思考题及相关技能训练内容。

本书既可作为高职高专院校电气自动化、机电一体化、应用电子等相关专业的教材,也可作为中职院校、职工大学、函授学校师生及相关专业工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子应用技术/谢树林主编. —北京:电子工业出版社,2014.8
高等职业教育教学改革系列规划教材
ISBN 978-7-121-23294-7

I. ①电… II. ①谢… III. ①电力电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第107449号

策划编辑:王艳萍

责任编辑:靳平

印刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:13 字数:342千字

版次:2014年8月第1版

印次:2014年8月第1次印刷

印数:3000册 定价:27.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlls@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

电力电子应用技术是目前高职高专电气自动化、机电一体化、应用电子等相关专业必修的一门专业基础课程。本书面向高等职业教育，结合高职教育的教学目标和学生的特点，采用项目教学的形式进行编写。注重在工程应用实例中理论参数的分析和计算，为高职学生实际应用和综合能力的提高奠定基础。

本书以能力培养为目标，突出了高职教育实际、实用、就业导向的原则，适当降低了理论深度，尽量避免烦琐的数学推导，力求深入浅出，以引例入手讲解相关知识、拓展知识，循序渐进地介绍电力电子应用技术的概念、原理及应用；重点放在基本概念的阐述、典型电路原理的分析及应用实例的介绍上；侧重对学生分析问题、解决问题能力的培养，引导学生提高自学能力，以利于学生对技术知识的灵活应用。

本书以高职高专学生为主要对象，主要内容包括电力电子器件、触发驱动保护电路、可控整流电路、逆变电路、交流调压电路、直流斩波电路、软开关技术、UPS 电路分析及应用等。每个项目均配有思考题及相关技能训练内容。

本书项目 1、2、5 由温州职业技术学院谢树林编写；项目 3、4 由温州职业技术学院陈荷编写；项目 6 由温州科技职业学院邱晓华编写；项目 7 由温州科技职业学院任中民编写；项目 8 由浙江东方职业技术学院孙立书编写；全书由谢树林统稿、定稿。在编写的过程中得到许多同事与朋友的大力帮助与支持，谨此表示衷心的感谢。

本书带有配套的教学资源，包括电子教学课件、思考题参考答案等，请有需要的教师登录华信教育资源网（<http://www.hxedu.com.cn>）免费注册后进行下载，如有问题请在网站留言或与电子工业出版社联系。

限于编者的学识水平有限，书中的错误、疏漏之处在所难免，在此殷切期望使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

目 录

项目 1 光控频闪指示灯电路设计与制作	(1)
1.1 晶闸管	(2)
1.1.1 晶闸管的结构	(2)
1.1.2 晶闸管的工作原理	(3)
1.1.3 晶闸管的特性	(4)
1.1.4 晶闸管的主要参数	(5)
1.1.5 晶闸管的型号和简单测试	(7)
1.1.6 晶闸管的其他派生器件	(8)
1.2 门极可关断晶闸管 (GTO)	(10)
1.2.1 GTO 的结构和工作原理	(10)
1.2.2 GTO 的特性和主要参数	(11)
1.3 功率场效应晶体管 (MOSFET)	(13)
1.3.1 MOSFET 的结构和工作原理	(13)
1.3.2 MOSFET 的特性	(14)
1.4 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)	(15)
1.4.1 IGBT 的结构与工作原理	(16)
1.4.2 IGBT 的基本特性	(16)
1.4.3 IGBT 的主要参数	(18)
1.4.4 IGBT 的擎住效应和安全工作区	(18)
1.5 其他新型电力电子器件	(19)
1.6 电力电子器件的保护	(20)
1.6.1 晶闸管的过电压保护	(20)
1.6.2 晶闸管的过电流保护	(24)
1.6.3 电力电子器件的串、并联使用	(26)
技能训练	(28)
训练项目 1 晶闸管的导通、关断条件	(28)
训练项目 2 光控频闪指示灯电路安装、调试	(30)
思考题	(31)
项目 2 直流电动机调速电路的设计与制作	(33)
2.1 单相可控整流电路	(33)
2.1.1 单相半波可控整流电路	(34)
2.1.2 单相桥式全控整流电路	(35)
2.1.3 单相桥式半控整流电路	(38)
2.1.4 单相全波可控整流电路	(40)

2.2	三相可控整流电路	(41)
2.2.1	三相半波可控整流电路	(41)
2.2.2	三相桥式全控整流电路	(45)
2.2.3	带平衡电抗器的双反星形可控整流电路	(49)
2.3	变压器漏抗对整流电路的影响	(50)
2.4	有源逆变电路	(52)
2.4.1	有源逆变的工作原理	(53)
2.4.2	有源逆变产生的条件	(54)
2.4.3	逆变失败与最小逆变角限制	(55)
	技能训练	(57)
	训练项目 单相半控桥式整流电路实验	(57)
	思考题	(59)
项目 3	晶闸管触发电路的制作与分析	(61)
3.1	对晶闸管触发电路的要求	(62)
3.2	单结晶体管的结构及伏安特性	(63)
3.3	单结晶体管的外观与测试	(64)
3.4	单结晶体管自激振荡电路	(64)
3.5	具有同步环节的单结晶体管触发电路	(66)
3.6	锯齿波触发电路	(66)
3.7	触发电路的定相	(71)
3.7.1	概述	(71)
3.7.2	触发器定相的方法	(72)
3.8	集成触发器	(74)
3.8.1	国产 KC 系列集成触发器	(74)
3.8.2	集成触发电路 TCA785	(76)
3.9	数字触发器	(82)
3.9.1	由硬件构成的数字触发器	(82)
3.9.2	微机数字触发器	(84)
	技能训练	(87)
	训练项目 1 安装、测试单结晶体管触发电路	(87)
	训练项目 2 锯齿波同步移相触发电路实验	(89)
	训练项目 3 集成触发电路与单相桥式全控整流电路实验	(91)
	思考题	(93)
项目 4	全控器件的驱动与保护电路分析	(94)
4.1	绝缘栅双极型晶体管驱动与保护电路	(95)
4.1.1	对 IGBT 栅极驱动电路的要求	(95)
4.1.2	IGBT 栅极驱动电路	(96)
4.1.3	绝缘栅双极型晶体管保护电路	(100)
	拓展知识	(102)

4.2	门极可关断晶闸管 GTO 的驱动和保护	(102)
4.2.1	GTO 晶闸管的驱动电路	(102)
4.2.2	GTO 晶闸管的保护和缓冲	(103)
4.3	电力晶体管的驱动与保护	(104)
4.3.1	GTR 晶闸管的驱动电路	(104)
4.3.2	GTR 的保护	(106)
4.4	电力场效应晶体管的驱动与保护	(107)
4.4.1	MOSFET 晶闸管的驱动	(107)
4.4.2	MOSFET 的保护措施	(110)
	技能训练	(111)
	训练项目 自关断器件及驱动与保护电路实验	(111)
	思考题	(114)
项目 5	交流调光台灯的制作	(115)
5.1	双向晶闸管的结构与符号	(115)
5.2	双向晶闸管的特性与参数	(116)
5.3	双向晶闸管的触发方式	(118)
5.4	双向晶闸管的触发电路	(118)
5.5	双向触发二极管	(119)
5.6	晶闸管交流开关	(120)
5.6.1	晶闸管交流开关的基本形式	(121)
5.6.2	晶闸管交流调压器及应用	(122)
5.7	单相交流调压电路	(124)
5.7.1	电阻负载	(124)
5.7.2	电感性负载	(125)
5.8	三相交流调压电路	(126)
5.8.1	三相反并联晶闸管连接成三相三线交流调压电路	(126)
5.8.2	三相交流调压电路其他连接方式	(128)
	技能训练	(130)
	训练项目 1 安装、测试单相交流调压电路	(130)
	训练项目 2 三相交流调压电路	(132)
	思考题	(134)
项目 6	电动机斩波调速电路分析	(136)
6.1	直流斩波器的工作原理与分类	(137)
6.1.1	直流斩波器的基本结构和工作原理	(137)
6.1.2	直流斩波器的分类	(138)
6.2	单象限直流斩波器	(138)
6.2.1	降压式直流斩波电路	(138)
6.2.2	升压式直流斩波电路	(139)
6.2.3	升—降压式直流斩波电路	(140)

6.2.4 Cuk 直流斩波电路	(141)
6.3 多象限直流斩波器	(141)
6.3.1 A 型双象限斩波器	(141)
6.3.2 B 型双象限斩波器	(142)
6.3.3 四象限斩波器	(143)
6.4 直流电动机负载时的直流斩波器	(144)
6.4.1 不可逆 PWM 斩波电路	(144)
6.4.2 可逆 PWM 斩波电路 (四象限斩波器)	(146)
6.5 具有复合制动功能的 GTO 斩波调速电路	(148)
技能训练	(150)
训练项目 直流斩波电路实训	(150)
思考题	(152)
项目 7 中频炉逆变电路分析	(153)
7.1 无源逆变原理	(153)
7.1.1 逆变器的工作原理	(154)
7.1.2 逆变器电路	(155)
7.2 谐振式逆变电路	(157)
7.2.1 串联谐振式逆变电路	(157)
7.2.2 并联谐振式逆变电路	(158)
7.3 电压型三相桥式逆变电路	(160)
7.4 电流型三相桥式逆变电路	(162)
7.5 交—交型变频电路	(164)
7.5.1 单相交—交变频电路	(164)
7.5.2 三相交—交变频电路	(166)
7.5.3 正弦波输出电压的控制方法	(166)
7.5.4 交—交变频器的特点	(169)
技能训练	(169)
训练项目 单相并联逆变电路实训	(169)
思考题	(171)
项目 8 不间断电源 (UPS) 电路分析	(172)
8.1 UPS 的类型	(173)
8.1.1 离线式 UPS	(173)
8.1.2 在线式 UPS	(174)
8.1.3 在线交互式 UPS	(174)
8.2 UPS 的整流器和逆变器	(175)
8.2.1 UPS 的整流器	(175)
8.2.2 UPS 的逆变器	(177)
8.2.3 UPS 的静态开关	(178)
8.3 PWM 控制原理	(179)

8.4	单相桥式 PWM 变频电路	(180)
8.5	三相桥式 PWM 变频电路	(182)
8.6	UPS 系统设计	(183)
8.6.1	稳压调整电路	(184)
8.6.2	逆变电路	(186)
8.7	UPS 应用	(187)
8.7.1	UPS 的选用	(187)
8.7.2	UPS 使用注意事项	(188)
8.7.3	智能型 UPS 及应用	(189)
8.7.4	UPS 多重装机技术及其应用	(189)
8.8	软开关技术	(189)
8.8.1	软开关的基本概念	(190)
8.8.2	软开关电路的分类	(191)
8.8.3	典型的软开关电路	(193)
	技能训练	(195)
	训练项目 UPS 性能测试	(195)
	思考题	(197)

项目 1 光控频闪指示灯电路设计与制作



教学目标

掌握晶闸管的结构、工作原理及伏安特性。

掌握晶闸管导通条件和关断条件。

掌握晶闸管主要参数、测试方法和选用方法。

了解全控型电力电子器件及其他新型电力电子器件的结构、工作原理。

掌握全控型电力电子器件及其他新型电力电子器件的特性、主要参数及选用方法。

掌握晶闸管过电压、过电流保护方法。



引例：光控频闪指示灯电路

城建施工常需在临时开挖的沟槽坑穴等上方设警示路标灯，以提醒路人注意安全。这种自动指示灯不需要专人管理，根据施工现场的光线亮度自动点亮或熄灭。光控频闪指示灯电路如图 1-1 所示。

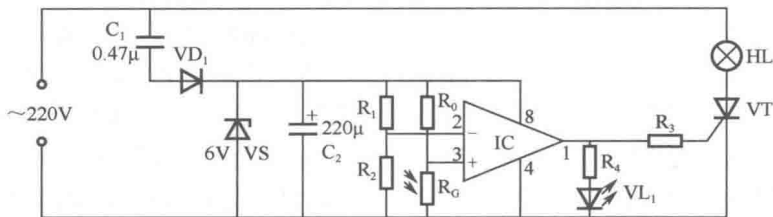


图 1-1 光控频闪指示灯电路

220V 交流电经电容 C_1 降压限流、 VD_1 半波整流、 VS 稳压和 C_2 滤波后，输出约 6V 直流电压供电路工作。IC (LM358) 用做比较器，白天光线强，光敏电阻 R_G 阻值小于 R_2 阻值，比较器输出低电平，晶闸管不导通，指示灯 HL 不发光。当光线暗时照在 R_G 上的自然光减弱，其阻值增大。当 R_G 阻值大于 R_2 阻值时，IC 的 3 脚电位高于 2 脚电位，IC 的 1 脚输出高电平，发光二极管 VL_1 发光，晶闸管触发导通，指示灯 HL 点亮。

光线亮暗变化时， R_G 阻值在 $5k\Omega \sim 5M\Omega$ 间变化，适当选取 R_2 阻值，在光线暗到一定程度后，自动点亮指示灯 HL。电路中， R_G ——MG45， VS ——2CW21， VD_1 ——1N4001， VT ——2N6565， $R_0=R_1$ 。



相关知识

1.1 晶闸管

晶闸管 (Thyristor) 是硅晶体闸流管的简称, 也称为可控硅 SCR (Semiconductor Control Rectifier)。晶闸管作为大功率的半导体器件, 只要用几十至几百毫安的电流就可以控制几百至几千安的大电流, 实现了弱电对强电的控制。

1.1.1 晶闸管的结构

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

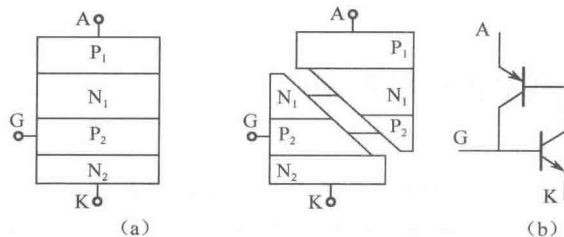


图 1-2 晶闸管的内部结构和等效电路

晶闸管的符号及外形如图 1-3 所示, 图 1-3 (a) 为晶闸管的符号, 图 1-3 (b) 为晶闸管的外形。晶闸管的类型大致有 4 种: 塑封型、螺栓型、平板型和模块型。塑封型晶闸管多用于额定电流 5A 以下; 螺栓型晶闸管额定电流一般为 5~200A; 平板型晶闸管用于额定电流 200A 以上; 模块型晶闸管额定电流可达数百安培。晶闸管由于体积小、安装方便, 常用于紧凑型设备中。晶闸管工作时, 由于器件损耗会产生热量, 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。

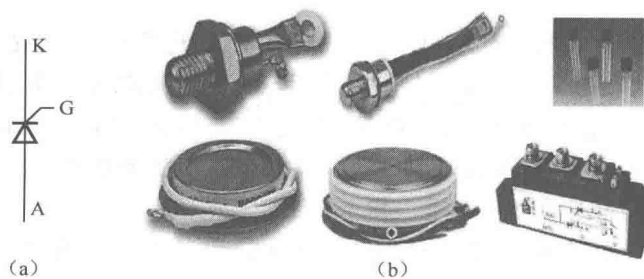


图 1-3 晶闸管的符号及外形

晶闸管的散热器如图 1-4 所示。

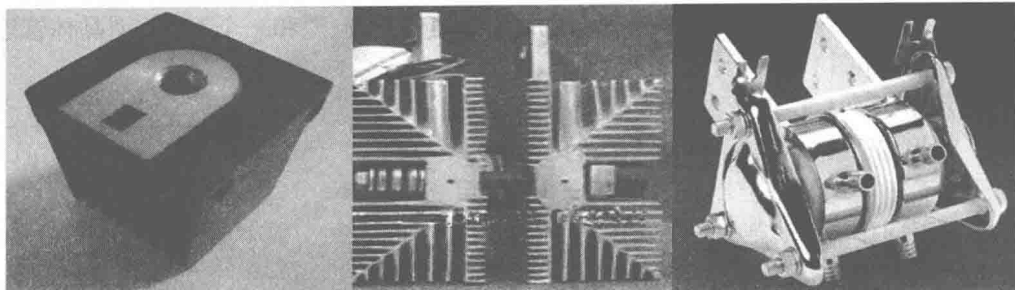


图 1-4 晶闸管的散热器

1.1.2 晶闸管的工作原理

以图 1-5 所示的晶闸管的导通实验电路来说明晶闸管的工作原理。在该电路中, 由电源 E_A 、晶闸管的阳极和阴极、白炽灯组成晶闸管主电路, 由电源 E_G 、开关 S、晶闸管的门极和阴极组成控制电路 (触发电路)。

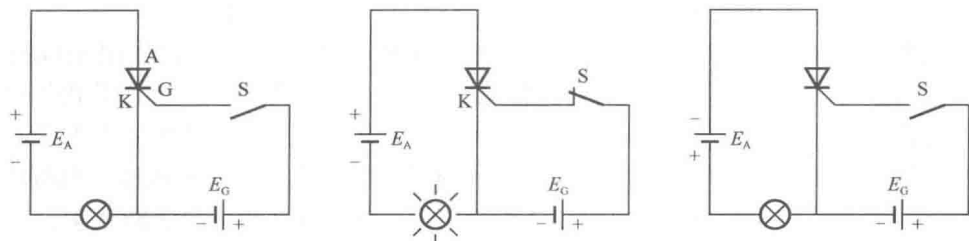


图 1-5 晶闸管的导通实验电路

实验步骤及结果说明如下。

(1) 将晶闸管的阳极接电源 E_A 的正极, 阴极经白炽灯接电源的负极, 此时晶闸管承受正向电压。当控制电路中的开关 S 断开时, 灯不亮, 说明晶闸管不导通。

(2) 当晶闸管的阳极和阴极承受正向电压, 控制电路中开关 S 闭合, 使控制极也加正向电压 (控制极相对阴极) 时, 灯亮说明晶闸管导通。

(3) 当晶闸管导通时, 将控制极上的电压去掉 (即将开关 S 断开), 灯依然亮, 说明一旦晶闸管导通, 控制极就失去了控制作用。

(4) 当晶闸管的阳极和阴极间加反向电压时, 不管控制极加不加正向电压, 灯都不亮, 说明晶闸管截止。如果控制极加反向电压, 无论晶闸管主电路加正向电压还是反向电压, 晶闸管都不导通。

通过上述实验可知, 晶闸管导通必须同时具备以下两个条件。

- (1) 晶闸管主电路加正向电压。
- (2) 晶闸管控制电路加合适的正向电压。

晶闸管一旦导通, 门极即失去控制作用, 故晶闸管为半控型器件。为了使晶闸管关断, 必须使其阳极电流减小到一定数值以下 (可以通过使阳极电压减小到零或反向的方法, 也可以加大主回路电阻值来实现)。

为了进一步说明晶闸管的工作原理, 下面通过晶闸管的等效电路来分析。



将内部是四层 PNPN 结构的晶闸管，看成是由一个 PNP 型和一个 NPN 型晶体管连接而成的等效电路，如图 1-6 所示。

晶闸管的阳极 A 相当于 PNP 型晶体管 VT₁ 的发射极，阴极 K 相当于 NPN 型晶体管 VT₂ 的发射极。当晶闸管阳极承受正向电压，控制极也加正向电压时，晶体管 VT₂ 处于正向偏置，E_G 产生的控制极电流 I_G 就是 VT₂ 的基极电流 I_{B2}，VT₂ 的集电极电流 I_{C2}=β₂I_G。而 I_{C2} 又是晶体管 VT₁ 的基极电流 I_{B1}，VT₁ 的集电极电流 I_{C1}=β₁I_{C2}=β₁β₂I_G (β₁ 和 β₂ 分别是 VT₁ 和 VT₂ 的电流放大系数)。电流 I_{c1} 又流入 VT₂ 的基极，再一次被放大。这样循环下去，形成了强烈的正反馈，使两个晶体管很快达到饱和导通，这就是晶闸管的导通过程。导通后晶闸管上的压降很小，电源电压几乎全部加在负载上，晶闸管中流过的电流即负载电流。正反馈过程如下：

$$I_G \uparrow \rightarrow I_{B2} \uparrow \rightarrow I_{C2} (I_{B1}) \uparrow \rightarrow I_{c1} \uparrow \rightarrow I_{B2} \uparrow$$

在晶闸管导通之后，它的导通状态完全依靠晶闸管本身的正反馈作用来维持，此时 I_{B2}=I_{c1}+I_G，而 I_{c1}≫I_G，即使控制极电流消失 (I_G=0)，I_{B2} 仍足够大，晶闸管仍将处于导通状态。控制极的作用只能触发晶闸管导通，晶闸管导通之后，控制极就失去作用了。

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，也可增大阳极回路的阻抗，使流过晶闸管的阳极电流小于维持电流，晶闸管才可恢复关断状态。

1.1.3 晶闸管的特性

晶闸管的伏安特性是指晶闸管阳、阴极间电压 U_A 和阳极电流 I_A 之间的关系特性，如图 1-7 所示。图 1-7 中各量的物理意义：U_{DRM}、U_{RRM}——正、反向断态重复峰值电压；U_{DSM}、U_{RSM}——正、反向断态不重复峰值电压；U_{BO}——正向转折电压；U_{RO}——反向击穿电压。

晶闸管的伏安特性包括正向特性（第 I 象限）和反向特性（第 III 象限）两部分。

1. 正向特性

在门极电流 I_G=0 的情况下，逐渐增大晶闸管的正向阳极电压，这时晶闸管处于关断状态，只有很小的正向漏电流。随着正向阳极电压的增加，当达到正向转折电压 U_{BO} 时，漏电流突然剧增，特性从正向关断状态突变为正向导通状态。导通时的晶闸管状态和二极管的正向特性相似，即流过较大的阳极电流，而晶闸管本身的压降却很小。正常工作时，不允许把正向阳极电压加到转折值 U_{BO}，而是从门极输入触发电流 I_G，使晶闸管导通。门极电流越大，阳极电压转折点越低（图 1-7 中 I_{G2}>I_{G1}）。晶闸管正向导通后，要使晶闸管恢复关断，只有逐步减少阳极电流，当 I_A 小到等于维持电流 I_H 时，晶闸管由导通变为关断。维持电流 I_H 是维持晶闸管导通所需的最小电流。

2. 反向特性

晶闸管的反向特性是指晶闸管的反向阳极电压（阳极相对阴极为负电位）与阳极漏电流的伏安特性。晶闸管的反向特性与一般二极管的反向特性相似。当晶闸管承受反向阳极电压

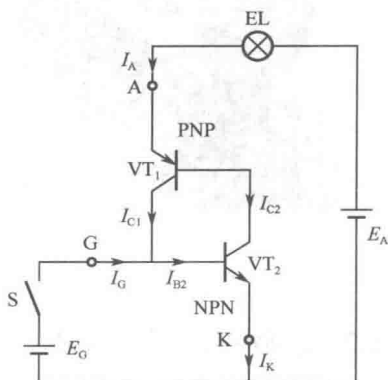


图 1-6 晶闸管工作原理的等效电路

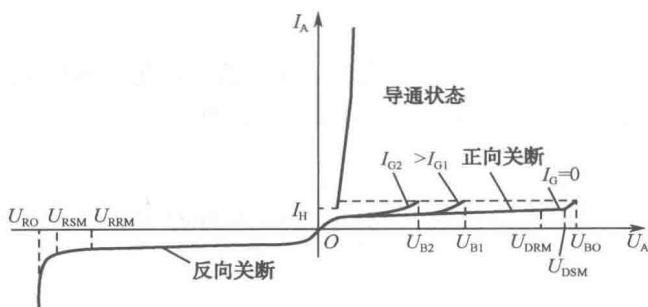


图 1-7 晶闸管的伏安特性曲线

时,晶闸管总是处于关断状态。当反向电压增加到一定数值时,反向漏电流增加较快。再继续增大反向阳极电压,会导致晶闸管反向击穿,造成晶闸管的损坏。

1.1.4 晶闸管的主要参数

1. 额定电压 U_{Tn}

(1) 正向重复峰值电压 U_{DRM} 。在控制极断路和晶闸管正向阻断的条件下,可重复加在晶闸管两端的正向峰值电压称为正向重复峰值电压 U_{DRM} 。一般规定此电压为正向不重复峰值电压 U_{DSM} 的 80%。

(2) 反向重复峰值电压 U_{RRM} 。在控制极断路时,可以重复加在晶闸管两端的反向峰值电压称为反向重复峰值电压 U_{RRM} 。此电压取反向不重复峰值电压 U_{RSM} 的 80%。

晶闸管的额定电压则取 U_{DRM} 和 U_{RRM} 的较小值且靠近标准电压等级所对应的电压值。

由于瞬时过电压也会造成晶闸管损坏,因而选择晶闸管的额定电压 U_{Tn} 应为晶闸管在电路中可能承受的最大峰值电压的 2~3 倍。晶闸管额定电压的等级与说明如表 1-1 所示。

表 1-1 晶闸管额定电压的等级与说明

级 别	额 定 电 压	说 明
1, 2, 3, ..., 10	100, 200, 300, ..., 1000	额定电压 1000V 以下, 每增加 100V, 级别数加 1
12, 14, 16, ...	1200, 1400, 1600, ...	额定电压 1000V 以上, 每增加 200V, 级别数加 2

2. 额定电流 $I_{T(AV)}$

晶闸管的额定电流 $I_{T(AV)}$ 是指在环境温度为 40℃ 和规定的散热条件下,晶闸管在电阻性负载的单相、工频 (50Hz)、正弦半波 (导通角不小于 170°) 的电路中,结温稳定在额定值 125℃ 时所允许的通态平均电流。

值得注意的是,晶闸管是以平均电流而非有效值电流作为它的额定电流,这是因为晶闸管较多用于可控整流电路,而整流电路往往是按直流平均值来计算的。然而,在实际应用中,限制晶闸管最大电流的是晶闸管的工作温度。而晶闸管的工作温度主要由电流的有效值决定,因此要将额定电流 $I_{T(AV)}$ 换算成额定电流

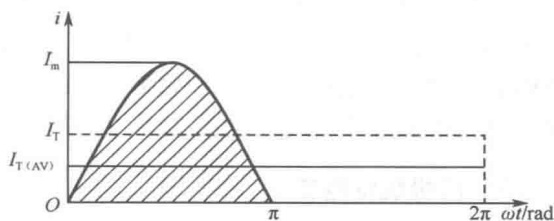


图 1-8 流过晶闸管的工频正弦半波电流波形



有效值 I_{Tn} 。

根据晶闸管额定电流 $I_{T(AV)}$ 的定义，设流过晶闸管的正弦半波电流的最大值为 I_m 。依据电流平均值、有效值的定义（导通角不小于 170° ），则

额定电流为

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

电流有效值为

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

正弦半波电流的有效值与通态平均值之比为

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

K_f 为波形系数，表明额定电流为 $I_{T(AV)}$ 的晶闸管可以流过 $1.57 I_{T(AV)}$ 的正弦半波电流有效值。在实际应用中，不论流过晶闸管的电流波形如何，导通角有多大，只要流过元件的实际电流最大有效值小于或等于晶闸管的额定有效值，且散热条件符合规定，管芯的发热就能限制在允许范围内。

不同的电流波形有不同的平均值与有效值，波形系数 K_f 也不同。在选用晶闸管的时候，首先要根据晶闸管的额定电流（通态平均电流）求出晶闸管允许流过的电流有效值；然后要求所选晶闸管允许流过的电流有效值大于或等于晶闸管在电路中实际可能通过的最大电流有效值 I_{Tn} ；考虑元件的过载能力，实际选择时应有 $1.5 \sim 2$ 倍的安全裕量。

3. 通态平均电压 $U_{T(AV)}$

通态平均电压 $U_{T(AV)}$ 是指在额定通态平均电流和稳定结温下，晶闸管阳、阴极间电压的平均值，一般称为管压降，其范围在 $0.4 \sim 1.2V$ 之间。晶闸管正向通态平均电压的组别如表 1-2 所示。

表 1-2 晶闸管正向通态平均电压的组别

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

4. 维持电流 I_H 和擎住电流 I_L

在室温且控制极开路时，能维持晶闸管继续导通的最小电流称为维持电流 I_H 。维持电流大的晶闸管容易关断。给晶闸管门极加上触发电压，当元件刚从阻断状态转为导通状态时就撤除触发电压，此时元件维持导通所需要的最小阳极电流称为擎住电流 I_L 。对同一晶闸管来说，擎住电流 I_L 要比维持电流 I_H 大 $2 \sim 4$ 倍。

5. 门极触发电流 I_G

门极触发电流 I_G 是指在室温下，阳极电压为 $6V$ 直流电压时，使晶闸管从阻断到完全开



通所必需的最小门极直流电流。

6. 门极触发电压 U_G

门极触发电压 U_G 是指对应于门极触发电流时的门极触发电压。对于晶闸管的使用者来说,为使触发器适用于所有同型号的晶闸管,触发器送给门极的电压和电流应适当地大于所规定的 U_G 和 I_G 上限值,但不应超过其峰值 U_{GM} 和 I_{GM} 。门极平均功率 P_G , 和峰值功率(允许的最大瞬时功率) P_{GM} 也不应超过规定值。

7. 断态电压临界上升率 du/dt

在额定结温和门极断路条件下,使器件从断态转入通态的最低电压上升率称为断态电压临界上升率 du/dt 。

断态电压临界上升率的级别如表 1-3 所示。

表 1-3 断态电压临界上升率的级别

du/dt (V/ μ s)	25	50	100	200	500	800	1000
级别	A	B	C	D	E	F	G

8. 通态电流临界上升率 di/dt

在规定条件下,由门极触发晶闸管使其导通时,晶闸管能够承受而不导致损坏的通态电流的最大上升率称为通态电流临界上升率 di/dt 。晶闸管所允许的最大电流上升率应小于此值。通态电流临界上升率的级别如表 1-4 所示。

表 1-4 通态电流临界上升率的级别

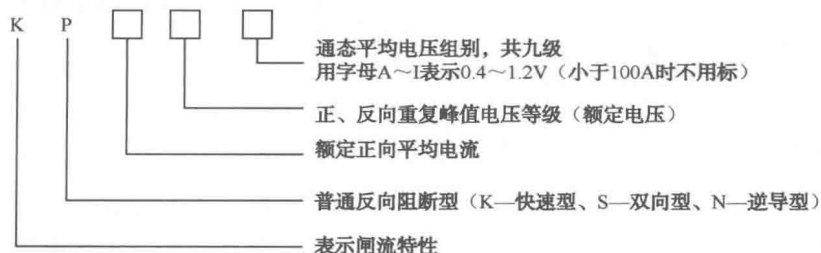
di/dt (A/ μ s)	25	50	100	150	200	300	500
级别	A	B	C	D	E	F	G

另外,还有晶闸管的开通与关断时间等参数。

1.1.5 晶闸管的型号和简单测试

1. 普通晶闸管的型号

按国家 JB 1144—1975 规定,国产普通晶闸管型号中各部分的含义如下:



例如, KP100-10H 表示额定电流为 100A, 额定电压为 1000V, 管压降为 1.1V 的普通晶闸管。



2. 用万用表进行晶闸管的简单测试

(1) 晶闸管电极的判定。螺栓型、平板型晶闸管从外观上很容易判断，螺栓型的螺栓端为阳极，另一主接线端为阴极，控制极（门极）比阴极细小；平板型晶闸管的金属圆环靠近阴极，另一端为阳极，控制极则用辫子形状的金属软线引出。

(2) 晶闸管好坏的简单判别。根据 PN 结的单向导电原理，对于晶闸管的三个电极，用万用表欧姆档测试元器件的三个电极之间的阻值，可初步判断管子是否完好。

① 由于晶闸管在其门极未加触发电压时是关断的，如用数字万用表二极管挡（带蜂鸣器）测量阳极 A 和阴极 K 之间的电阻，其正、反向电阻应该都很大，在几百千欧以上，且正、反向电阻相差很小。

② 其次，用万用表的红表棒（该端接内部电池的正端）接到阳极，黑表棒接到阴极，在这种情况下，将红表棒移动一点，使其刚好碰到控制极上（操作要点是红表棒固定接在阳极，同时触碰一下控制极）。这样，晶闸管将成为导通状态，万用表的度数有变化。

③ 用同一挡测量控制极 G 和阴极 K 之间的阻值，其正向电阻应小于或接近于反向电阻，这样的晶闸管是好的。

如果阳极与阴极或阳极与控制极间有短路，阴极与控制极间为短路或断路，则晶闸管是坏的。

1.1.6 晶闸管的其他派生器件

1. 快速晶闸管 FST (Fast switching Thyristor)

快速晶闸管是为提高工作频率、缩短开关时间、提高允许电流上升率而采用特殊工艺制造的并可以在 400Hz 以上频率工作的晶闸管。它主要用于较高频率的整流、斩波、逆变和变频电路。快速晶闸管包括常规的快速晶闸管和工作频率更高的高频晶闸管两种。

快速晶闸管在额定频率内其额定电流不随频率的增加而下降或下降很少。而普通晶闸管在 400Hz 以上时，因开关损耗随频率的提高而增大，并且在总损耗中所占比重也增加，所以，其额定电流随频率增加而急速下降。快速晶闸管的外观、电气符号、基本结构、伏安特性与普通晶闸管相同。快速晶闸管的特点如下。

(1) 开通时间和关断时间比普通晶闸管短。一般开通时间为 $1\sim 2\mu\text{s}$ ，关断时间为 $10\sim 60\mu\text{s}$ 。

(2) 开关损耗小。

(3) 允许较高的电流上升率和电压上升率。通态电流临界上升率 $di/dt \geq 100\text{A}/\mu\text{s}$ ，断态电压临界上升率 $du/dt \geq 100\text{V}/\mu\text{s}$ 。

(4) 允许使用频率范围几十赫兹至几千赫兹。

2. 逆导晶闸管 RCT (Reverse-conducting Thyristor)

逆导晶闸管也称为反向导通晶闸管，是将一个晶闸管和一个二极管反向并联集成在同一硅片上而构成的器件，它具有反向导通的能力。其符号、基本结构、等效电路和伏安特性如图 1-9 所示。