

• 高等学校教学用书 •

晶闸管变流技术

(专 科 教 材)

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

晶 闸 管 变 流 技 术

(专科教材)

吉林电气化专科学校 王会群 邢学文 主编

冶金工业出版社



B

521274

高等学校教学用书
晶 闸 管 变 流 技 术
(专科教材)

吉林电气化专科学校 王会群 邢学文 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

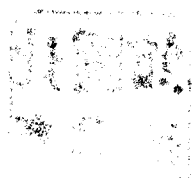
787×1092 1/16 印张 15 1/2 字数 367 千字

1988年10月第一版 1988年10月第一次印刷

印数00,001~7,900册

ISBN 7-5024-0303-5

TP·11(课)定价3.10元



前 言

本书是根据全国冶金、有色系统高等工业专科学校工业自动化、电气化专业统一制订的教学大纲编写的。

本书适用于高等工业专科学校工业自动化、电气化专业，也适用于职工大学、业余大学、函授专科的同类专业，亦可供其它有关专业师生和工程技术人员参考。

本书内容包括：各种晶闸管元件，单相、三相可控整流电路、逆变电路，晶闸管触发电路，晶闸管主电路元器件选择，变频电路基础，斩波器及交流开关等。

本书力求作到少而精，以定性分析为主，只作必要的定量分析对新技术和结合实际内容，如集成化触发电路、主电路波形分析和元器件选择，触发电路定相和调试，改善功率因数及抑制谐波等方面，都给与一定篇幅。各章附有习题和思考题，以培养学生两个能力。

本书由吉林电气化专科学校王会群（第四章、第五章）、邢学文（第二章、第三章）主编，云南矿冶专科学校胡兴珉（第七章）、重庆钢铁专科学校汤仕龙（第一章、第六章）参加编写，沈阳黄金专科学校吴会元主审，参加审稿的还有蔡维中、沈乔喜。

由于编者能力与经验有限，缺点及错误之处在所难免，恳切希望广大读者提出宝贵意见。

编 者

1987年12月

目 录

绪论	1
1 晶 闸 管	3
1.1 晶闸管的结构及工作原理	3
1.1.1 晶闸管的结构	3
1.1.2 晶闸管的工作原理	4
1.2 晶闸管的特性与主要参数	7
1.2.1 晶闸管的阳极伏安特性和电压定额	8
1.2.2 晶闸管的电流定额与温升	9
1.2.3 门极伏安特性与触发电流 I_{GT} , 触发电压 U_{GT}	13
1.2.4 晶闸管的开通、关断过程和动态参数	14
1.2.5 晶闸管型号及粗测	17
2 单相可控整流电路	20
2.1 单相半波可控整流电路	20
2.1.1 电阻性负载	20
2.1.2 电感性负载	23
2.1.3 续流二极管的作用	27
2.2 单相桥式全控整流电路	29
2.2.1 电阻性负载	29
2.2.2 电感性负载	32
2.2.3 反电势负载	34
2.3 单相桥式半控整流电路	38
2.3.1 电感性负载	38
2.3.2 反电势负载	42
3 三相可控整流电路	46
3.1 三相半波可控整流电路	46
3.1.1 三相半波(三相零式)共阴极可控整流电路	46
3.1.2 三相半波共阳极可控整流电路	55
3.2 三相桥式全控整流电路	56
3.2.1 三相桥式全控整流电路的工作原理	56
3.2.2 对触发脉冲的要求	57
3.3 三相桥式半控整流电路	61
3.4 整流变压器漏抗对整流电路的影响	64
3.4.1 换相期间的瞬时输出电压 U_d 值	64
3.4.2 考虑变压器漏抗时换相压降 ΔU_γ 值的计算	66
3.4.3 可控整流电路的外特性 $U_d = f(I_d)$	66
3.4.4 变压器漏抗对晶闸管换相电流的影响	67
3.4.5 换相重叠角 γ 的计算	68
3.5 晶闸管可控整流供电的电动机系统	69

3.5.1	整流电压电流波形分析	69
3.5.2	晶闸管可控整流供电的直流电动机的机械特性 $n = f(I_d)$	72
4	有源逆变电路	79
4.1	有源逆变工作原理	79
4.1.1	变流器-电动机系统的功率传递	79
4.1.2	三相半波有源逆变电路	80
4.1.3	三相桥式有源逆变电路	83
4.1.4	逆变失败和逆变角 β 的限制	84
4.2	可逆电路	85
4.2.1	位能负载的可逆电路	85
4.2.2	有环流可逆电路	88
4.2.3	无环流可逆电路	94
4.3	改善可控整流电路功率因数和抑制谐波	95
4.3.1	可控整流电路功率因数的意义	95
4.3.2	可控整流电路的谐波	97
4.3.3	改善功率因数和抑制谐波的措施	101
5	晶闸管触发电路	106
5.1	对触发电路的要求	106
5.2	单结晶体管触发电路	107
5.2.1	单结晶体管	107
5.2.2	单结晶体管的自激振荡电路	109
5.2.3	单结晶体管的触发电路	111
5.3	锯齿波同步的晶体管触发电路	112
5.3.1	同步移相控制	112
5.3.2	同步检测和锯齿波形成环节	114
5.3.3	脉冲形成与放大环节	115
5.3.4	其它环节	116
5.3.5	触发电路与主电路的同步	118
5.4	集成电路触发器	120
5.4.1	KC04晶闸管移相触发器	121
5.4.2	KC41六路双脉冲形成器	123
5.4.3	KC42脉冲列调制形成器	123
5.4.4	KCZ6集成化六脉冲触发组件	125
5.5	数字式触发电路简介	126
6	晶闸管变流电路的参数计算及保护	130
6.1	整流变压器额定参数的计算	130
6.1.1	变压器次级相电压 U_2 的计算	130
6.1.2	初次级相电流	131
6.1.3	初、次级容量及平均计算容量	132
6.2	晶闸管的串并联	134
6.2.1	晶闸管的串联	134

6.2.2 晶闸管的并联	135
6.3 晶闸管的保护	138
6.3.1 过电压保护及其 $\frac{du}{dt}$ 的限制	138
6.3.2 过电流保护及 $\frac{di}{dt}$ 的限制	154
6.4 晶闸管额定参数计算	159
6.5 电抗器参数的计算	160
6.5.1 临界电感 L_c 的计算	160
6.5.2 平波电感 L_p 的计算	161
6.5.3 均衡电感 L_j 的计算	163
变频电路	168
7.1 变频电路的基本概念	168
7.1.1 变频器的分类	168
7.1.2 无源逆变器的简单工作原理	169
7.1.3 无源逆变器的换流	169
7.2 并联谐振式逆变器的工作原理	171
7.2.1 逆变器的主电路	171
7.2.2 电路的工作过程	172
7.2.3 主电路的基本数量关系	173
7.2.4 逆变器晶闸管的选择	175
7.3 串联谐振式逆变器的工作原理	175
7.3.1 串联逆变器的主电路	176
7.3.2 电路的工作原理	176
7.3.3 串联逆变器的实用电路	178
7.3.4 串联逆变器与并联逆变器的比较	179
7.4 电压型逆变器	180
7.4.1 串联电感式逆变器的工作原理	180
7.4.2 带有辅助晶闸管换流的逆变器	186
7.5 电流型逆变器	189
7.5.1 异步电动机等值电路的简化	189
7.5.2 串联二极管式电流型逆变器的工作原理	190
7.5.3 电流型逆变器与电压型逆变器的比较	193
7.5.4 电流型逆变器的多重化	194
7.6 交-交变频器	196
7.6.1 交-交变频器的简单原理	197
7.6.2 方波型交-交变频器	197
7.6.3 正弦型交-交变频器	199
7.7 晶闸管中频装置	205
7.7.1 晶闸管中频装置方框图	207
7.7.2 逆变器控制	207

7.7.3 逆变触发器.....	208
7.7.4 逆变器的起动.....	209
7.7.5 保护电路.....	209
7.7.6 继电器接触控制.....	212
附录A 其它晶闸管	215
附录B 双向晶闸管的应用	225
附录C 斩波器	233
主要参考资料	240

绪 论

晶闸管原名可控硅，是一种大功率半导体器件。自从1958年美国试制成功第一只晶闸管到现在近三十年的时间内，由于晶闸管所具有的独特优点，引起了世界各国的重视，使其研制和应用得到迅猛的发展，推进了弱电对强电的控制，把电子工业从弱电扩大到了强电领域，使大功率变流技术进到了一个以弱电为控制、强电为输出的新时代。晶闸管变流技术的研究已成为横跨电子、电力、控制三个技术领域的独立学科，是八十年代的新学科——电力电子技术的主要内容。

我国自1962年试制成功晶闸管以来，对器件的生产、控制装置的研制已形成了一支庞大的队伍，取得了巨大的成果。目前已能大规模生产各种类型的晶闸管元件，单个元件的容量已达电流1500~2500A、电压3000~4500V以上，派生元件如快速、双向、可关断和逆导晶闸管等均有产品，元件的质量及容量在不断提高和扩大。晶闸管装置已定型生产的有直流可逆和不可逆传动控制装置、电解电镀的直流大电流可控电源装置、同步电机直流励磁电源、中频电源及交流传动中串级调速与变频调速装置等十几个系列，一些新的器件技术及其应用不断涌现。现在，晶闸管变流技术的应用已遍及各个工业部门及人民生活之中。

晶闸管变流技术主要是进行电力变换及控制，按其功能有以下几种类型：

（1）可控整流

利用晶闸管单向导电的可控性，把交流电整流成电压可调的直流电。这种可调的直流电源，广泛地应用于电解、电镀、充电、励磁、及合闸操作电源等领域。另一个主要用途是做成直流拖动的调速装置。以往对于要求调速或起制动性能较高的拖动装置，一般均采用电动机-发电机变流机组来得到可控直流电压，以实现控制要求。晶闸管问世以后，静止的可控整流装置，以它一系列的优点代替了机组，并可得到更佳的静态及动态指标。在冶金厂，目前从4600kW容量的大型轧钢电动机，到各中小型辅助机械的直流电动机中，均采用晶闸管供电或励磁的调速装置。其它如机床、造纸、纺织、交通运输等工业部门的中小容量直流拖动中也广泛采用晶闸管整流装置。

（2）逆变与变频

利用晶闸管的特性，将直流变换成交流的过程称为逆变，将某一频率的交流变换成其它各种频率的交流的过程称为变频。整流、逆变、变频常常是结合在一起，或者联合运用的。电流、电压通过这些变换，常做成中频（400~8000Hz）加热电源，用于熔炼、透热、淬火、焊接。现在最经济的长途高压直流输电，就是将交流整流成直流输送，然后，再将直流逆变成交流供使用。另一个应用是对交流电机进行调速，如串级调速和变频调速中使用的各种形式的变频装置等。这是目前的技术发展方向，国外的交流调速拖动装置发展非常迅速，日本1975年直流拖动占80%，交流拖动占20%，到1985年，交流拖动已上升到80%。我国在这方面的研制及应用也已取得了很大成绩。目前，冶金、矿山、化工等工业部门中的轧机、卷扬机、大容量的风机水泵类设备、低速辊道、磨床上的高速磨头等已有不少采用了晶闸管交流变频调速装置。

（3）斩波调压

利用晶闸管作为直流开关，控制晶闸管的通断比和通断频率，将一固定直流电压变换成可调的直流电压称斩波电压。它主要用于直流拖动的脉冲调速（或称斩波调速），在地铁、电车、电气机车及作为码头和厂内运输的电瓶车上广泛使用，它代替了直流机电枢串电阻的调速方法，控制方便，节能显著。

（4）电力电子开关

利用晶闸管作为电子开关，代替频繁通断的接触器和继电器。具有无火花、无磨损、无噪音及寿命长的特点，并可得到较好的开关性能及节能效果。常作成交流调压器，用于机场、摄影及舞台灯的调光；作成调功器，用于加热炉的温度控制；以及电机的调压调速与正反转控制。

晶闸管变流控制装置，有以下优点：

（1）装置的功率放大倍数大，晶闸管的放大倍数可达 10^4 以上，与直流传动中的机组相比，要高三个数量级。

（2）快速响应好，晶闸管是 10^{-3} 秒级，与机组相比，机组为秒级。

（3）功耗小，效率高。加上装置本身性能的改善，节能效果显著。

（4）是静止式的电子装置，体积小，重量轻，无噪音污染，无火花及磨损，维护工作量小，可靠性高。

（5）设备投资省。特别是随着元器件生产的发展，成本的降低，装置所需费用将进一步降低。

晶闸管变流控制装置的主要缺点是：

（1）过载能力小，常要求有可靠的保护措施。

（2）交流侧产生高次谐波，对电网有不良影响。

（3）控制角大时，功率因数低。

目前已出现了各种线路及装置，克服以上缺点，完善装置的性能。

“晶闸管变流技术”是工业电气化与自动化专业的一门主要的技术基础课，既包括了一些基本概念与理论，又与生产实际紧密联系，实践性很强。因此在学习上要注意以下几点：

（1）注意掌握物理概念，学习分析方法，尤其是波形分析，从波形分析中进一步理解元件、电路的工作状态。

（2）注意基本电路的参数计算与选择，使有一定的计算与设计能力。

（3）注意培养读图能力，因为晶闸管变流技术发展快，电路类型多，教材中只是典型的基本电路，要结合练习及实际线路，学会分析电路的工作情况。

（4）要特别重视实验，通过实验（及实习）提高接线、测量、调试及故障分析能力。

为今后学习“自动控制系统”等专业课及进行毕业设计打好基础。

1 晶 闸 管

晶闸管是硅晶体闸流管的简称。它能以较小的电流控制上千安 的 电 流 和数千伏的电 压，是一种大功率的半导体可控器件。它包括有普通硅晶体闸流管（即普通可控硅管）、双向硅晶闸管、逆导硅晶闸管及可关断晶闸管等。由于普通晶闸管的普遍使用，人们习惯用“晶闸管”来代替“普通硅晶闸管”的名称，而省略“普通”二字，其它硅晶闸管则冠以别的名称。本章着重说明普通硅晶闸管的结构、工作原理、伏安特性和主要参数。而其它晶闸管将在附录A中介绍。

1.1 晶闸管的结构及工作原理

1.1.1 晶闸管的结构

目前我国大量生产的硅晶闸管主要有两种结构型式：螺栓型和平板型，其外型示于图1-1。它有三个电极：阳极A、阴极K和门极G（又称控制极）。工程上的表示符号如图1-1（c）。

由于晶闸管工作时会有损耗，发热较大，因此必须加装散热器及采取必要的冷却措

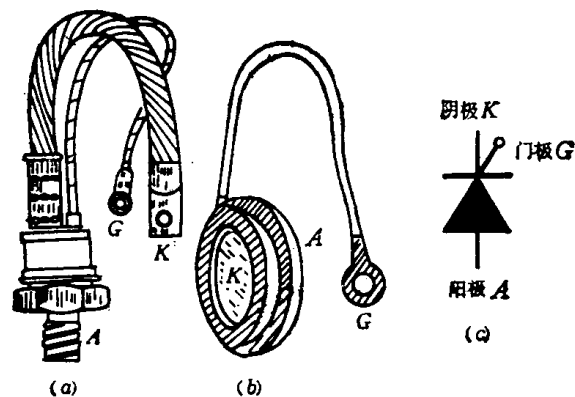


图 1-1 晶闸管的外型及符号

(a) 螺栓型；(b) 平板型；(c) 符号

施。对于螺栓型晶闸管，螺栓端是阳极，螺栓用以拧装散热器，粗辫子为阴极，细辫子为门极。它一般只作成为200A以下。大容量硅晶闸管都采用平板型结构，它的外形似圆饼，两侧压装散热器，饼中金属环状边缘引出门极线，圆饼离门极较厚的一侧是阳极，较薄的一侧是阴极，两侧的散热器是互相绝缘的，用铝排引出阳、阴极。图1-2画出了几种散热器的外形。

硅晶闸管的内部是一个管芯。管芯的原理性结构如图1-3所示。它是先在N型硅基片 N_1 两侧扩散铝或硼（P型杂质），以形成 $P_1N_1P_2$ 结构。再在其中一侧面的大部份区域扩散磷或锑（N型杂质），以形成 N_2 区作阴极，在小部份区域引出作门极。在另一侧面整个区域放上铝片（P型金属），与硅基片上扩散的铝（ P_1 区）形成欧姆接触作阳极。然后经过合金化热循环，形成 $P_1N_1P_2N_2$ 四层结构，封装引线便成管芯。螺栓型及平板型管芯

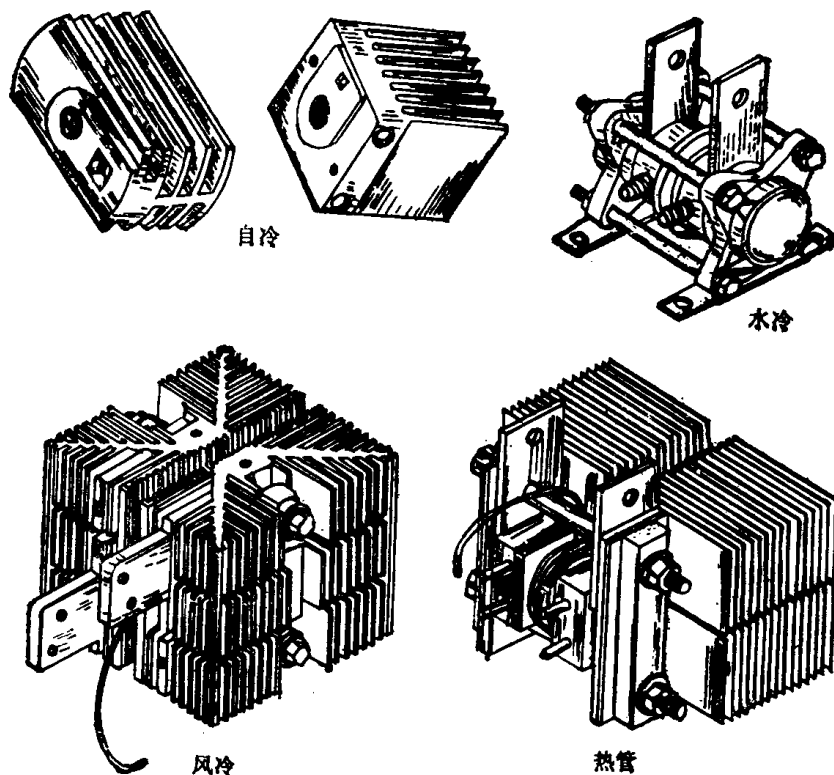


图 1-2 晶闸管的散热器

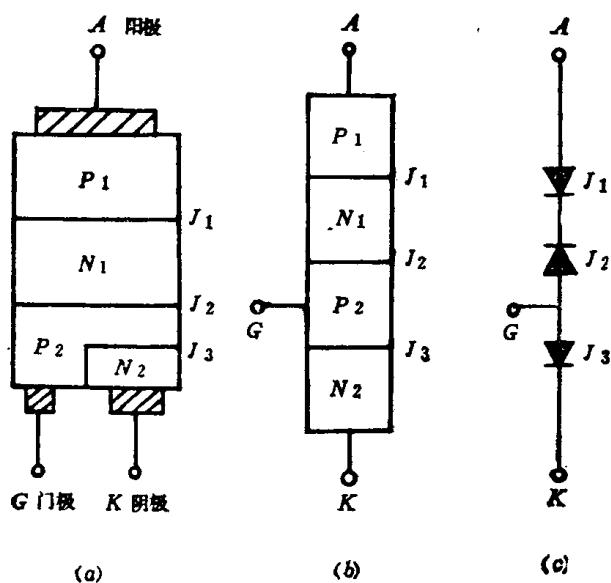


图 1-3 晶闸管管芯原理性结构

的具体结构如图1-4所示。可见晶闸管是个三端（ A 、 K 、 G ）四层（ $P_1N_1P_2N_2$ ）元件，在阳极与阴极间形成了三个PN结 J_1 、 J_2 、 J_3 （图1-3b、c），它决定了晶闸管的性能。

1.1.2 晶闸管的工作原理

晶闸管在工作过程中，阳极 A 、阴极 K 和电源、负载相连，组成了晶闸管的主电路，门极 G 、阴极 K 和控制装置相连，组成了晶闸管的控制电路（或称触发电路）。下面以灯

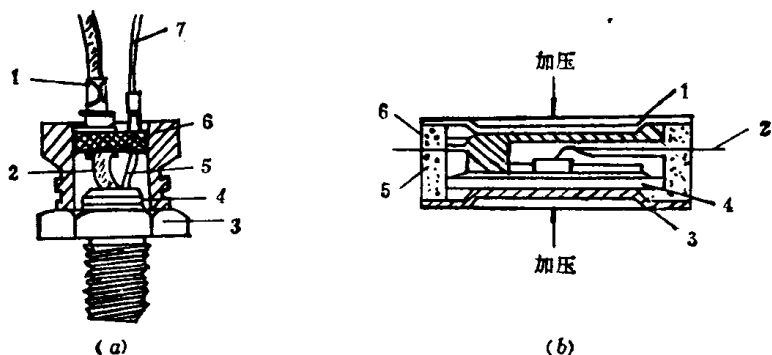


图 1-4 螺栓型和平板型晶闸管内部结构

- (a) 螺栓型：1—阴极；2—阴极内引线；3—阳极铜底座；4—管芯；5—控制极内引线；6—玻璃绝缘子；7—控制极
- (b) 平板型：1—上金属件（阴极）；2—控制极金属件（氩弧焊）；3—下金属件（阳极）；4—管芯；5—下陶瓷片；6—上陶瓷片

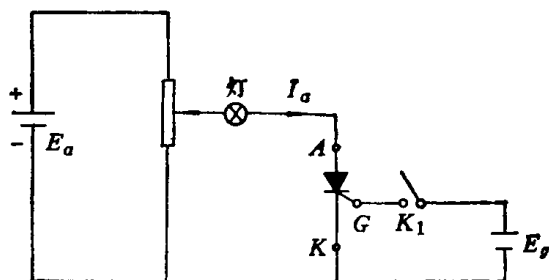


图 1-5 晶闸管导通关断实验

泡作负载，接入直流电源组成一实验装置（图1-5），来说明晶闸管的工作情况。

当主电源通过负载加在晶闸管上，阳极接正阴极接负时，称晶闸管承受正向阳极电压。若门极开路，由于 J_2 结的阻挡作用，灯泡不亮。同样若阳极接负阴极接正时，称晶闸管承受反向电压。若门极开路，由于 J_1 、 J_3 结的阻挡作用也使灯泡不亮。晶闸管则一直处于高电阻小电流状态，称断态。断态时，若接入电流计，可以看到有极微小的正、反向漏电流流过电路。

当晶闸管承受正向阳极电压时，合上开关 K_1 ，门极接入正向电压（ G 正 K 负），则灯泡立即燃亮，说明晶闸管处于低电阻，低电压的状态，称通态。通态时晶闸管两主端管压降很小（约1V多），全部压降落在负载上，即电路电流将由电源和负载决定， $I_a = U / R_{灯}$ 。当晶闸管导通后，如果拆去门极电压，甚至门极加反向电压（ G 负 K 正），电路仍然导通。说明门极只需加一正向脉冲电压即可，这个电压常称为门极触发电压（简称触发脉冲）。若要使灯泡熄灭，只有将电源电压降低，使负载电流减小到某一值（维持电流 I_H ）以下，电路恢复阻断。当晶闸管承受正向电压而门极加反向电压，灯泡也不亮。

当晶闸管承受反向电压时，则无论门极加正向或反向电压，晶闸管均不导通。

可见晶闸管的导通条件是阳极承受正向电压时，门极加适当的正向触发电压。晶闸管一旦导通，门极立即失去控制作用。当晶闸管的阳极电压减小（或反向）到使阳极电流小于晶闸管的维持电流 I_H 时，管子恢复阻断。

为什么晶闸管有这种性能？下面将晶闸管的内部结构等效于一对互补三极管的电路模

型来加以说明。

如图1-6所示，将晶闸管的中间层 N_1P_2 分为两部分，则可构成一个 $P_1N_1P_2$ 型三极管 BG_1 及一个 $N_1P_2N_2$ 型三极管 BG_2 。两只三极管中，每一管的集电极电流同时就是另一管的基极电流。两管的这种连接，当有足够的门极电流 I_g 流入，就将形成强烈的正反馈而使两管均饱和导通，即晶闸管导通。

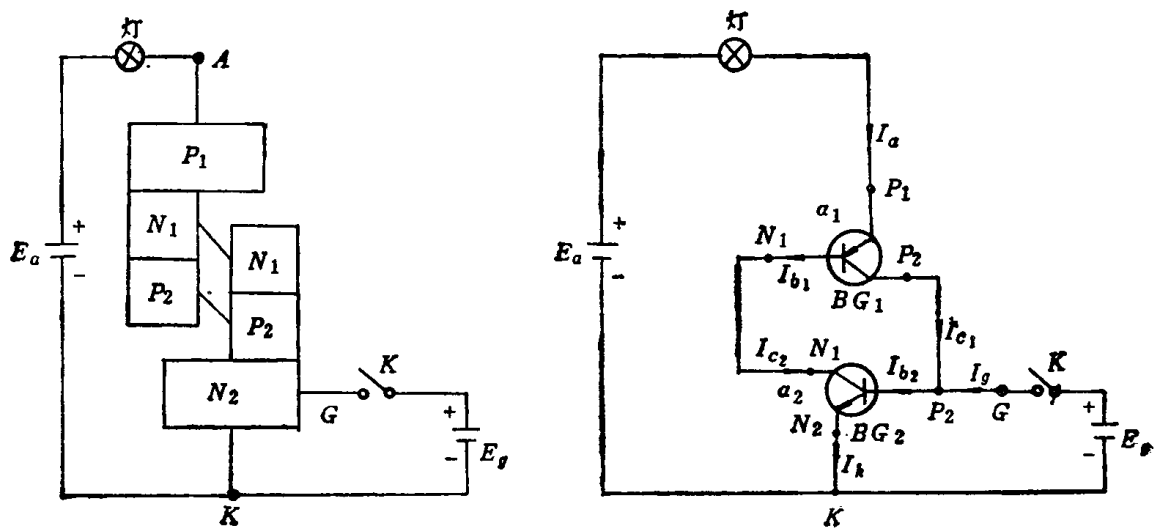


图 1-6 晶闸管的工作原理

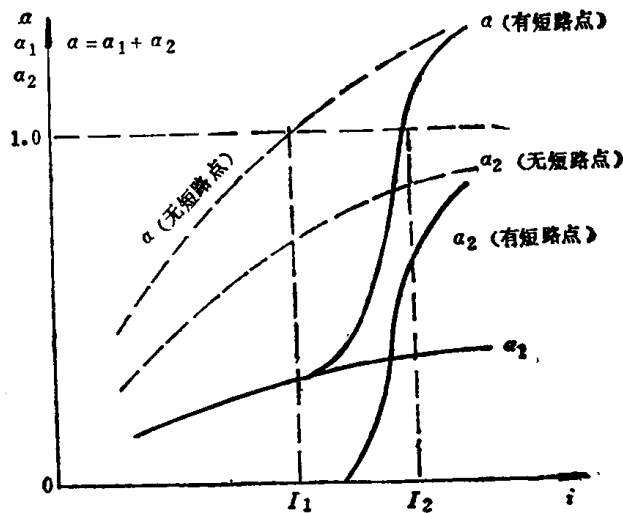


图 1-7 电流放大倍数与电流的关系 “有短路点”是指管芯的一种结构型式

当晶闸管加上阳极正向电压时，且门极流入电流为 I_g ，设 BG_1 、 BG_2 两管集电极电流相应为 I_{c1} 、 I_{c2} ，发射极电流相应为 I_a 、 I_k ，共基极接法的电流放大倍数相应为 $\alpha_1 = I_{c1}/I_a$ 、 $\alpha_2 = I_{c2}/I_k$ ，流过 J_2 结的反向漏电为 I_{c0} 。则流过晶闸管阳极的总电流 I_a 应为：

$$\begin{aligned} I_a &= I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} = I_a \alpha_1 + I_k \alpha_2 + I_{c0} \\ &= I_a \alpha_1 + (I_k + I_g) \alpha_2 + I_{c0} \end{aligned}$$

$$\therefore I_a = \frac{I_{c0} + \alpha_2 I_g}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (1-1)$$

硅晶体管的电流放大倍数是随发射极电流大小而急剧变化的，图 1-7 画出了硅晶体管的电流放大倍数随电流变化的关系。

当门极开路时， $I_g = 0$ ， $I_a = I_k$ 很小， α_1 、 α_2 均很小，由 (1-1) 式可知晶闸管的阳极电流 $I_a \approx I_{c0}$ ，管子处于正向阻断状态。

当门极流入足够大触发电流 I_g 时，将形成下列正反馈过程：

$$I_g \rightarrow I_k (= I_{c1} + I_g + I_{c2}) \uparrow \rightarrow \alpha_2 \uparrow \rightarrow I_{c2} (= \alpha_2 I_k) \uparrow \rightarrow I_a (= I_{c1} + I_{c2}) \uparrow \rightarrow \alpha_1 \uparrow \rightarrow I_{c1} (= \alpha_1 I_a) \uparrow \leftarrow$$

当 $\alpha_1 \uparrow$ 、 $\alpha_2 \uparrow$ 到 $1 - (\alpha_1 + \alpha_2) \approx 0$ 时，由 (1-1) 式可知， I_a 将急剧增大而成为不可控制，这时流过晶闸管的电流将由电源电压和回路电阻所决定，晶闸管处于正向导通状态。在晶闸管导通后，由于 $(\alpha_1 + \alpha_2) \approx 1$ ，即使 $I_g = 0$ 仍维持 I_a 不变，管子继续导通，即门极失去控制作用。此外，若阳极电压过高， I_{c0} 过大，即使 $I_g = 0$ ，由于正反馈作用也可能造成晶闸管导通，称为硬开通（误开通）。

当电源电压降低使 I_a 减小时， α_1 、 α_2 亦随之减小，在 I_a 减小到维持电流 I_H 以下，即当 $(\alpha_1 + \alpha_2) \approx 0$ 时，由 (1-1) 式知，晶闸管恢复阻断。

当晶闸管加反向阳极电压时，两只三极管均处于反向电压下，则不论门极电压极性如何，管子都不能工作。此时流过 J_1 、 J_3 结的漏电流将比正向漏电流更小。

例如，当以上实验装置在主电路加正弦交流电源 u_2 ，门极开关在 t_1 时关合， t_4 时打开，则灯负载上的电压波形 u_d 将如图 1-8 所示。在 $t = 0 \sim t_1$ 区间：管子受正向阳极电压，但门极电压为零，管子处于断态，灯负载上之压降 $u_d = 0$ 。在 $t = t_1 \sim t_2$ 区间：阳极电压为正，门极有正向触发电压，管子导通，管压降很小，灯负载上的压降近似等于电源电压，故 u_d 波形同于 u_2 。在 $t = t_2 \sim t_3$ 区间：阳极电压过零反向， $i_d < I_H$ ，管子恢复断态。在 $t = t_3 \sim t_4$ 区间：阳极电压及门极电压均为正，管子处于通态。在 $t = t_4 \sim t_5$ 区间：阳极电压为正，管子已经导通，门极失去控制作用，虽 $u_g = 0$ ，管子仍维持导通， u_d 波形同于 u_2 。

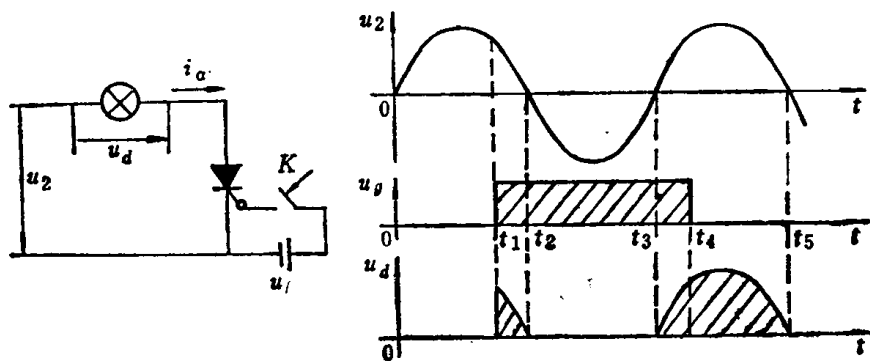


图 1-8 例题电路和波形

1.2 晶闸管的特性与主要参数

为了正确使用晶闸管，就必须对晶闸管的特性有定性地了解 and 掌握主要参数的意义。

下面把特性和参数结合起来分析,以便更清楚地了解它们的含义及实质。

1.2.1 晶闸管的阳极伏安特性和电压定额

晶闸管阳极电压 U_a 与阳极电流 I_a 间的关系称阳极伏安特性,如图1-9所示。

在晶闸管承受正向阳极电压时,当门极开路 $I_g=0$,随着电压 U_a 升高,漏电流开始变化不大,达一定电压后,漏电流显著增大特性上翘,这点电压称断态正向不重复峰值电压

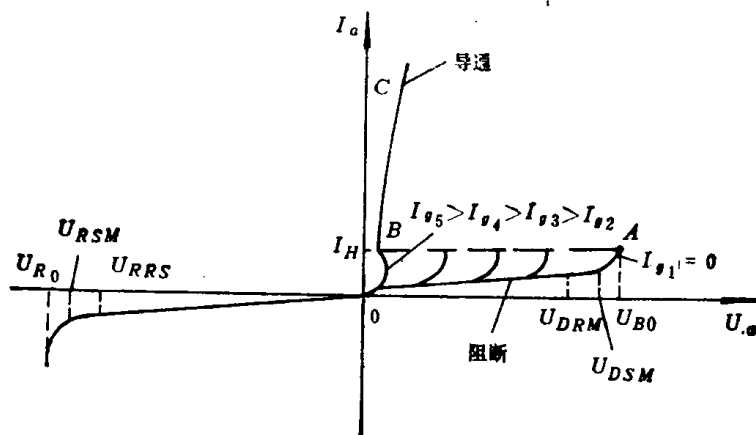


图 1-9 晶闸管阳极伏安特性

U_{DSM} 此电压不可连续或重复施加。若 U_a 继续增大,晶闸管突然由阻断变为导通,相应于曲线上由A点经过负阻区突变到B点,A点电压称为正向转折电压 U_{B0} 。晶闸管导通后的特性和一般整流二极管正向特性一样,此时管压降较小,在规定环境温度标准散热条件下,当 I_a 达到元件的额定平均电流且结温稳定时,相应的管压降称为通态平均电压 $U_{T(AV)}$ (见图1-14b)。若减小负载使阳极电流 I_a 减小,则工作点将沿图1-9中曲线的C点返回B点,在阳极电流 $I_a < I_H$ 时,晶闸管恢复阻断。

当门极供给触发电流 I_g 时,转折电压 U_{B0} 明显降低,且 I_g 愈大 U_{B0} 愈低。晶闸管正常工作均是加足够大的 I_g 使其在较小的转折电压下迅速导通的。 $I_g=0$ 在较高电压下转折导通,多次后会大大降低元件的性能以致损坏,因之这种“硬开通”是不允许的。

当晶闸管承受反向阳极电压时,漏电流较正向为小。和正向特性相似,当 U_a 增大到一定程度,漏流增大特性上翘,并进而发生反向击穿。图上标明了这两个电压——反向断态不重复峰值电压 U_{RSM} 及反向击穿电压 U_{R0} 。

以上伏安特性变化的物理过程,读者可自行解释。

晶闸管是一个可控单向导电器件。可控的范围,从电压来看就是阳极电压加到多高管子仍可靠的保持断态。所谓不重复峰值电压就是很接近反向击穿和正向(硬开通)转折电压而在工作中不允许重复施加的电压。为工作可靠起见,取不重复峰值电压的0.8倍为重复峰值电压(允许重复频率为50Hz,每次持续时间不大于 $10^{-2}s$),并取断态正向重复峰值电压 U_{DRM} 及反向重复峰值电压 U_{RRM} 中数值较小者,定为晶闸管的额定电压 U_{Te} ,并把它标在出厂元件的铭牌上。电压等级标准如表1-1所示。

例如,某晶闸管元件实测得 $U_{DSM}=960V$, $U_{RSM}=1100V$,则 $U_{DRM}=0.8 \times 960=768V$, $U_{RRM}=0.8 \times 1100=880V$,取其中数值较小者为768V,按上表电压等级标准中有700V一级,故此元件的额定电压为 $U_{Te}=700V$ 。

实际工作中考虑到瞬间过电压均可能使晶闸管元件遭到永久性破坏,而元件的发热及

表 1-1 晶闸管元件的正向重复峰值电压等级

级 别	正反向重复峰值电压 U_{T_e} (V)	级 别	正反向重复峰值电压 U_{T_e} (V)	级 别	正反向重复峰值电压 U_{T_e} (V)
1	100	8	800	20	2000
2	200	9	900	22	2200
3	300	10	1000	24	2400
4	400	12	1200	26	2600
5	500	14	1400	28	2800
6	600	16	1600	30	3000
7	700	18	1800		

环境温度升高, 转折电压可能降低。因而选用晶闸管的额定电压时, 常取正常工作中的峰值电压 U_{TM} 的2~3倍, 以作安全裕量。

例如, 上节实验装置若电源电压为工频交流220V, 正常的最大峰值电压为 $U_{TM} = \sqrt{2} \times 220 = 311V$, 应选用 $U_{T_e} = (2 \sim 3) \times 311 = 622 \sim 933V$ 电压等级中的元件为宜。

从减小损耗和温升出发, 晶闸管的通态平均电压 $U_{T(AV)}$ 规定不得超过1.2V, 且应选较小值。它是衡量元件质量的一个重要指标。晶闸管元件按 $U_{T(AV)}$ 大小分成9组, 并标在元件铭牌上, 如表1-2所示。

表 1-2 通态平均电压分组

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

1.2.2 晶闸管的电流定额与温升

1.2.2.1 通态平均电流 $I_{T(AV)}$ ——额定电流

晶闸管的额定电流是按通态平均电流标定的。它是指该元件工作在环境温度为 $+40^{\circ}C$ 和规定的冷却条件下, 在电阻性负载的单相工频正弦半波、导通角不小于 170° 的电路中, 当结温达到稳定且不超过额定结温时, 所允许的最大通态平均电流值。将此电流按照标准的电流系列取相应的电流等级(见表1-4), 定为该元件的额定电流, 并标在元件的铭牌上。

以上规定说明:

(1) 晶闸管也同其它电气设备一样, 允许通过多大电流最根本的是由管芯的允许温度决定的。晶闸管管芯(三个PN结)的温度称结温, 对元件来说, 额定结温是一定的, 而工作中元件达到的稳定结温是由发热和散热两方面的情况所决定。造成元件发热的是损耗, 它主要包括:

1) 正向通态时的损耗。由正向电流和管压降的乘积决定, 它是总损耗的最主要部份, 决定了元件的结温和容量。

2) 断态时漏流所引起的损耗, 漏流愈小损耗愈小。

3) 开关损耗。元件在开通和关断过程中, 电流、电压的大小均在变化, 两者的乘积