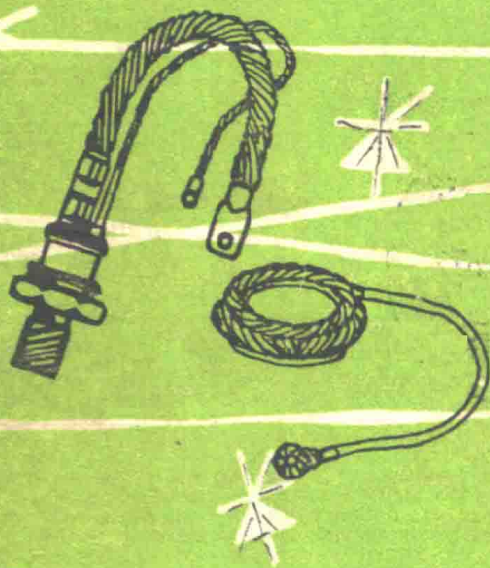


425587

23234
F. 2

晶闸管技术



科学普及出版社广州分社

晶 闸 管 技 术

冯友亮 刘钧成 编

科学普及出版社广州分社

晶 闸 管 技 术

冯友亮 刘钧成 编

责任编辑：黄晓屏

封面设计：廖炳森

*

科学普及出版社广州分社出版
(广州市应元路大华街兴平里3号)

广东省新华书店发行

肇庆新华印刷厂印刷

*

开本787×1092毫米 1/32 印张：7.5 字数：150千字

1985年3月第一版 1985年3月第一次印刷

印数：6400册 统一书号：15051·60324

定价：1.10 元

目 录

第一章 晶闸管..... (1)

第一节 晶闸管的结构..... (1)

第二节 晶闸管的工作原理..... (5)

第三节 晶闸管的阳极伏安特性和门极特性..... (8)

第四节 晶闸管的主要参数..... (10)

第五节 晶闸管的型号及简易测试..... (20)

第六节 特种用途的晶闸管简介..... (22)

习题和思考题..... (24)

第二章 单相可控整流电路..... (26)

第一节 单相半波可控整流电路..... (26)

第二节 单相全波可控整流电路..... (40)

第三节 单相桥式可控整流电路..... (44)

习题和思考题..... (54)

第三章 三相可控整流电路..... (55)

第一节 三相半波可控整流电路..... (55)

第二节 三相桥式半控整流电路..... (65)

第三节 三相桥式全控整流电路..... (73)

第四节	双反星形可控整流电路	(77)
第五节	可控整流电路的选用比较	(83)
第六节	晶闸管的串联与并联	(85)
第七节	晶闸管的保护	(92)
习题和思考题		(105)
第四章 晶闸管的触发电路和可控整流应用实例		(106)
第一节	对触发电路的要求	(107)
第二节	电阻—电容桥式移相的触发电路	(108)
第三节	单结晶体管及其触发电路	(115)
第四节	用小晶闸管放大脉冲功率的触发电路	(130)
第五节	晶体管触发电路	(133)
第六节	主电路与触发电路的同步问题	(152)
第七节	晶闸管自励恒压装置	(154)
第八节	滑差电动机的晶闸管控制装置	(157)
第九节	直流电动机的调速	(160)
习题和思考题		(182)
第五章 应用晶闸管的其它电路		(183)
第一节	晶闸管交流调压电路	(183)
第二节	晶闸管无触点开关	(188)
第三节	晶闸管有源逆变电路	(196)
第四节	可控整流电路的功率因数	(211)
习题和思考题		(214)
习题解答		(215)

第一章 晶 闸 管

晶闸管就是硅晶体闸流管,国外名称为Thyristor,译为晶闸管。晶闸管是一种大功率的半导体器件。开始只用于可控整流,所以又叫可控硅。目前在交流调压、无触点开关、变频、逆变等方面也得到了广泛的应用。

晶闸管包括普通晶闸管、双向晶闸管、逆导晶闸管、可关断晶闸管等半导体元件的总称。由于普通晶闸管已大量和广泛的应用,因此通常用晶闸管这总称来代替普通晶闸管的名称。本书着重介绍普通晶闸管,其它几种类型的晶闸管仅作简单的介绍。

在讨论、分析晶闸管的各种电路以前,对晶闸管本身也应有一些基本的认识。本章从使用晶闸管的角度出发,简要说明晶闸管的结构、工作原理、伏安特性及主要参数。

第一节 晶闸管的结构

一、晶闸管的结构

目前生产的晶闸管,从外形上来分,有两种形式:螺栓式和平板式,如图 1—1—1 (a) 和 (b) 所示。晶闸管

T 具有三个电极：阳极 A、阴极 K 和门极（或称控制极）G。
在电路原理图中用图 1—1—1 (c) 的符号表示。



图1—1—1 晶闸管的外形及符号

在螺栓式晶闸管中，螺栓是晶闸管的阳极 A，阳极必须与散热器紧密连接；粗线是晶闸管的阴极 K；细线是门极 G。螺栓式晶闸管在安装和更换时比较方便，但散热效果较差。因此，仅在部分 200 安以下的晶闸管中采用螺栓式结构。

在平板式晶闸管中，它两个平面分别是阴极和阳极，而细线则是门极。使用时两个互相绝缘的散热器把晶闸管紧紧地夹在中间。平板式晶闸管的散热效果较好，但安装和更换时比较麻烦。目前，200 安以上的晶闸管都采用平板式结构。

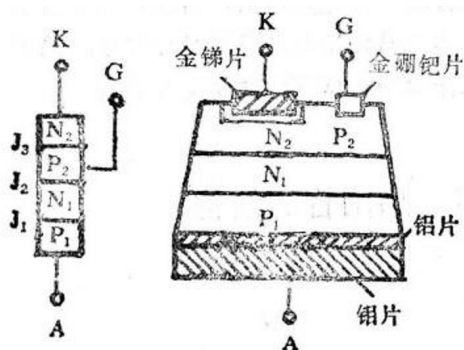


图 1—1—2 晶闸管的内部结构

晶闸管的内部有一个由硅半导体材料做成的管芯。管芯是一个圆形薄片，它是四层 (P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2) 三端 (A、K、G) 器件，如图 1—1—2 所示，它共有三个 PN 结： J_1 、 J_2 、 J_3 ，它决定了晶闸管的性能。

二、晶闸管的实验电路与导通条件

前面我们介绍了晶闸管的结构，现做几个实验说明其工作情况。

实验电路如图 1—1—3 所示，其中 E_a 和 E_g 都是直流电源（ E_a 用 6 伏， E_g 用 3 伏左右）。

当晶闸管阳极经灯泡接电源 E_a 的正极，阴极接电源 E_a 负极（此时加在晶闸管阳极与阴极间的电压称为正向阳极电

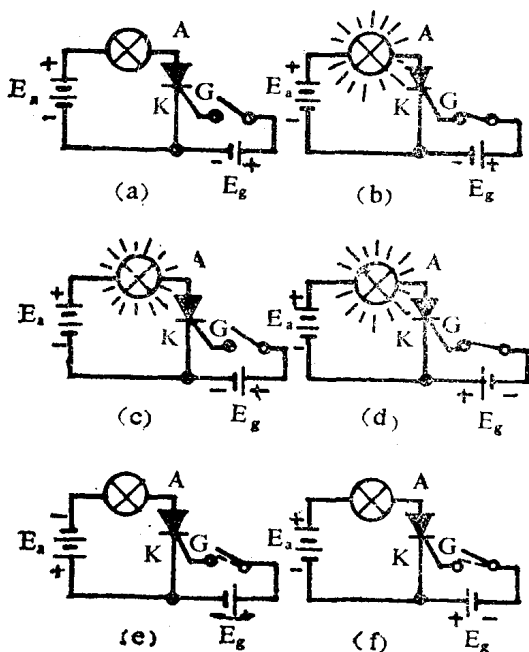


图1—1—3 晶闸管实验电路

压)，门极经开关接电源 E_g 的正极，阴极接电源 E_g 负极（此时加在门极与阴极间的电压称为正向门极电压），开关未合

上时，灯泡不亮，如图 1—1—3 (a)；开关合上时，灯泡亮了，如图 1—1—3 (b)；如果此后再断开开关，灯泡仍会亮着，如图 1—1—3 (c)；甚至将门极电源 E_g 反接，灯泡也不会熄灭，如图 1—1—3 (d)。这表明晶闸管导通后门极电压已对晶闸管失去了作用。要使灯泡熄灭，必须把正向阳极电压降低到一定值，或使电路断开，或使阳极电压反向。

若将晶闸管阳极经灯泡接电源 E_a 的负极，阴极接电源 E_a 正极(此时称为反向阳极电压)，不管 E_g 极性如何，开关的开合都不能使灯泡发亮，说明晶闸管在反向阳极电压下不能导通，如图 1—1—3 (e)。

当晶闸管在正向阳极电压作用下，如果门极接电源 E_g 的负极，阴极接电源 E_g 的正极(此时称为反向门极电压)，那末，不管开关接通或断开，灯泡也始终不亮，说明晶闸管即使在正向阳极电压作用下，如果门极电压接反，晶闸管也不会导通，如图 1—1—3 (f)。

从上面实验中，我们可以了解到晶闸管相当于一只无触点开关，它的工作特点为：

(1) 晶闸管和二极管一样，同样具有单向导电特性，但是晶闸管的导通是由门极电压控制的。

(2) 只有同时具备正向阳极电压和正向门极电压这两个条件时，晶闸管才能导通。

晶闸管导通后，门极电压就失去控制作用，要使其关断，必须把正向阳极电压降低，如果阳极中串进电流表，很明显，电流小于一定值时，晶闸管便会从导通(称为通态)变为阻断(称为断态)。维持晶闸管导通所需的最小电流称为维持电流。当然正向阳极电压断开或反向，晶闸管也会关断。

为了分析电路方便起见，可以把图 1—1—3 电路看成由两部分组成：

(1) 由阳极电源 E_a 、晶闸管 阳极 A 和 阴极 K 与负载（实验中用灯泡）组成的回路，称为“主电路”。

(2) 由门极电源 E_g 、开关与门极 G、阴极 K 组成的回路，称为“控制电路”（又称触发电路）。

任何复杂的晶闸管应用电路，都必须由这两部分组成，只是组成形式不同而已，同时主电路可以容许通过大电流，而触发电路只要求小电流，如一般为几十到几百毫安便可以了。

第二节 晶闸管的工作原理

依图 1—1—2 晶闸管的内部结构，我们可把它看成如图 1—2—1 那样相互连接的两个晶体三极管，其中一个为 NPN 型，另一个 PNP 型，分别用 BG_1 和 BG_2 表示，下面的 N_2 区相当于 NPN 管的发射区，上面的 P_1 区相当于 PNP 管的发射区，中间的 N_1 区和 P_2 区为两管所共有，门极相当于 NPN 管的基极。

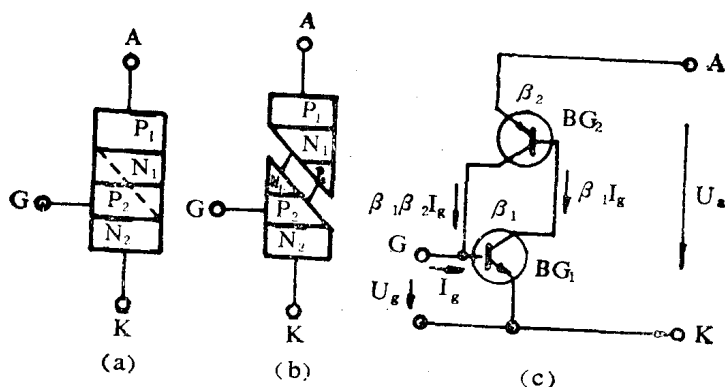


图1—2—1 晶闸管工作原理

由图 1—2—1 (c) 可见, 当未加入门极电流时, 相当于 BG_1 管无基极电流, 尽管阳极 A 和阴极 K 之间有正向电压 U_a , BG_1 不会产生发射极电流和集电极电流, 因此, BG_2 管无基极电流, 也不会有集电极电流和发射极电流, 所以, A、K 之间不导通, 即晶闸管处于阻断状态。如门极和阴极间一旦加上正向电压 U_g , 使门极有适当的 (一般为几十到几百毫安) 电流 I_g 流入时, BG_1 管便会出现集电极电流 $\beta_1 I_g$ (β_1 是 BG_1 管的电流放大系数), 同时 $\beta_1 I_g$ 是 BG_2 管的基极电流, 从而使 BG_2 管产生比 $\beta_1 I_g$ 还要大的集电极电流 $\beta_1 \beta_2 I_g$ (β_2 是 BG_2 管的电流放大系数), 这个电流又通入 BG_1 管的基极, 使它的集电极电流进一步加大, 如此反复进行, 使两个晶体管迅速进入饱和导通, 即晶闸管处于正向导通状态, 此后, 即使把门极电流 I_g 切断, 这两个晶体管仍维持饱和导通。所以, 晶闸管一经导通, 其门极便失去控制作用, 要使晶闸管重新关断, 就要降低阳极电源电压, 使其正向电流下降到低于能维持导通的电流值, 或者将阳极电压反接, 使 K 点电位高于 A 点电位, 从晶闸管内部来看, 这就相当于使两个相互连接的晶体管进入截止状态。

第二节 晶闸管的阳极伏安特性和门极特性

一、晶闸管的阳极伏安特性

晶闸管阳极与阴极间的电压与晶闸管阳极电流的关系, 称为晶闸管的阳极伏安特性。

图 1—3—1 是晶闸管的阳极正向和反向伏安特性。

晶闸管阳极伏安特性，在图 1—3—1 第 I 象限为正向特性，第 III 象限为反向特性。晶闸管加正向阳极电压时，晶闸管中有一个 P N 结是反向的，所以其伏安特性大致与二极管的反向特性相似。当正向电压达到某一数值（称为转折电

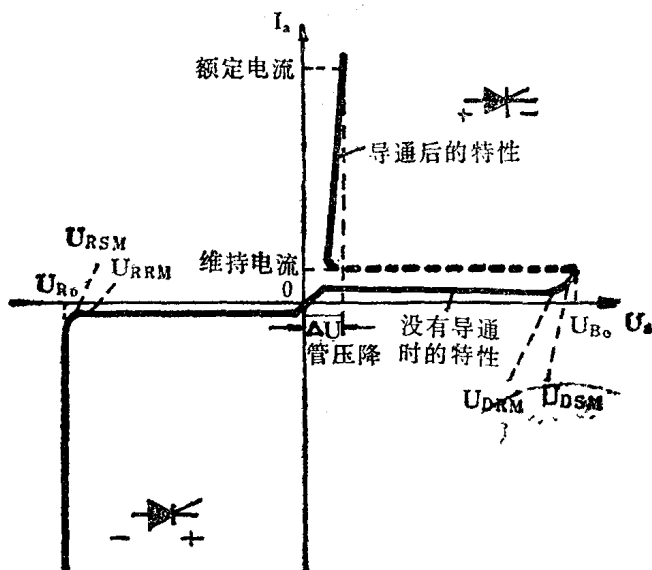


图1—3—1 晶闸管的阳极伏安特性

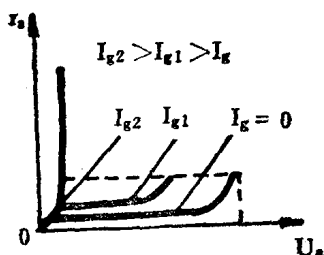


图1—3—2 门极电流对正向阳极伏安特性的影响

压，用 U_{BO} 表示）时，反向 PN 结的漏电流突然增大，使晶闸管突然导通，导通时又和二极管的正向特性相似，即通过较大的电流，而其本身的管压降也只有 1 伏左右。显然在正常工作时，不允许把正向阳极电压加到转

折值 U_{BO} ，这种不加控制电压，而是在很高的阳极电压作用下使晶闸管从关断转化为导通的条件，不是正常的工作条件。晶闸管的正常导通应是在加入门极电流 I_g 的条件下发生的。门极电流 I_g 越大，转折电压越低，见图1—3—2。

图1—3—1第Ⅲ象限为晶闸管的反向特性，是反向阳极电压与阳极漏电流的伏安特性。由于反向电压时，晶闸管内部有两个反向的PN结，因此，它的反向特性与一般二极管反向特性差不多。正常情况下，当晶闸管承受反向阳极电压时，晶闸管处于阻断状态，当反向电压高到一定程度时，反向漏电流急剧增大，这个反向电压叫做击穿电压（用 U_{RO} 表示），显然，在使用时应低于击穿电压 U_{RO} 。

二、晶闸管门极特性

晶闸管在正向阳极电压的作用下，在门极再加入适当的信号，则晶闸管可由“断态”变为“通态”，所以晶闸管的门极又叫控制极。

晶闸管门极与阴极间是一个PN结，若加上正向电压，就显示出PN结的正向伏安特性，但这个PN结的伏安特性与一般二极管不大一样。由于这个PN结压降较大且不固定，加上工艺上的原因，所以每个晶闸管门极PN结的伏安特性很分散，且差别很大，即使是同工艺同型号的晶闸管，其伏安特性也不同。通常以一条典型的极限高阻门极伏安特性（如图1—3—3（a）中OG）和一条极限低阻门极伏安特性（如图1—3—3（a）中的OD）之间区域来代表所有元件的伏安特性。在图1—3—3中给出了KP—500系列晶闸管的门极伏安特性区域。

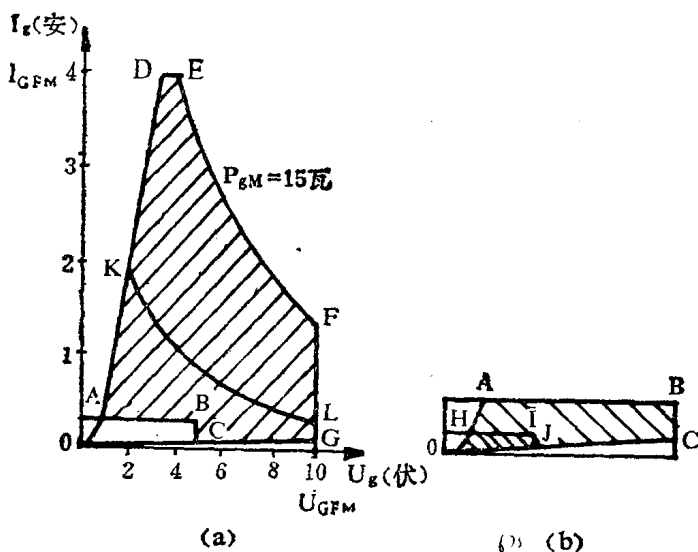


图1—3—3 门极伏安特性

在图中可以看出，门极最大电压 U_{gFM} 不能超过10伏，门极最大电流 I_{gFM} 不超过4安，门极最大功率 P_{gM} 不超过15瓦。图1—3—3 (a) 中可以看出门极电压为5伏，门极电流300毫安时，这系列所有晶闸管都能触发导通。因此ADE FLG CBA的区域为可靠触发区。在正常使用时，由触发电路送给门极的触发电压和电流都应该处在这个区域内。

如果把门极伏安特性靠近O点的区域加以放大，则得图1—3—3 (b)，图中HABCJIH区域称为不可靠触发区，在这区域中有些元件能被触发，而对于触发电流或电压较高的元件，触发将是不可靠的。晶闸管的触发电压和触发电流一般是这样规定的：当元件的阳极和阴极之间加上6伏

的直流电压时，能使元件触发导通的门极最小电流和电压称为触发电流和电压。例如元件的合格证上写的触发电流为100毫安，触发电压为2伏，就是说要使元件触发导通所要的脉冲信号电流必须大于100毫安，电压必须大于2伏。另外，温度对门极触发电压和触发电流的影响是很大的，合格证上给的是在常温下测得的数据。一般情况下，高温时触发电压和电流会显著下降。

从图1—3—3 (b) 左下角OHIJO为不触发区，对于KP—500系列触发电压小于0.15伏，电流小于1毫安。显然，如果将进入门极的干扰信号限制在这个数据以下，就可以保证该型号晶闸管不致于受干扰而产生误导通。有时为了防止晶闸管受干扰而误触发导通，可以在门极上加负电压，其数据不超过5伏，否则会造成门极PN结反向击穿或过热而烧毁。

当门极加上一定的功率后，引起门极发热，当加入过大功率，便会使整个结温上升，直接影响晶闸管正常工作，甚至会烧坏门极。表1—2中标出了门极电流、门极电压和功率有一定限度。例如KP—500系列门极瞬时峰值功率不超过15瓦，门极平均功率如图1—3—3 KL所示不超过4瓦等等。

第四节 晶闸管的主要参数

为了正确使用晶闸管，应了解它的各项技术参数的意义及应用条件，但它的参数很多，现仅就主要参数作一介绍。

根据一机部部颁标准把一些主要参数列于表1—1和表1—2中。

一、晶闸管的电压定额 (参阅图 1—3—1)

1. 断态不重复峰值电压 U_{DSM} ——门极断路时, 特性曲线急剧弯曲处决定的断态峰值电压, 它是不可重复施加的电压, 且每次持续时间不大于10毫秒的断态最大脉冲电压。

2. 反向不重复峰值电压 U_{RSM} ——门极断路时, 特性曲线急剧弯曲处决定的反向峰值电压, 它是不可重复施加的电压, 且每次持续时间不大于10毫秒的反向最大脉冲电压。

3. 断态重复峰值电压 U_{DRM} ——门极断路时, 重复频率为每秒50次, 每次持续时间不大于10毫秒的断态最大脉冲电压。

$$\text{取 } U_{DRM} = 80\% U_{DSM}$$

4. 反向重复峰值电压 U_{RRM} ——门极断路时, 重复频率为每秒50次、每次持续时间不大于10毫秒的反向最大脉冲电压。

$$\text{取 } U_{RRM} = 80\% U_{RSM}$$

取室温下断态重复峰值电压及反向重复峰值电压和额定结温下的断态重复峰值电压及反向重复峰值电压四者最低值纳入等于或小于该值的电压级别作为该元件反向重复峰值电压。在额定结温下此电压对应的正反向平均漏电流称为断态重复平均电流 $I_{DR(AV)}$ 和反向重复平均电流 $I_{RR(AV)}$ 。

表 1—3 列出了晶闸管元件正反向重复峰值电压等级。

由于晶闸管的工作电压瞬时超过反向不重复峰值电压即可造成晶闸管的永久性损坏, 超过断态不重复峰值电压时, 也会造成元件特性下降, 甚至损坏, 所以选用元件时, 元件的正反向重复峰值电压应选为实际工作电压最大值的1.5~2倍, 作为安全余量。

表 1—1 普通晶闸管主要额定值

参 数 系 列	通态平 均电流 $I_T(AV)$ A	断态重复峰 电压 U_{DRM} 反向重复峰 电压 U_{RRM} V	断态重复平均 电流 $I_{DR(AV)}$ 反向重复平均 电流 $I_{RR(AV)}$ mA	门极触 发电流 I_{GT} mA	门极触 发电压 U_{GT} V	断态电 压上升率 du/dt V/ μ s	通态电 流临界 上升率 di/dt A/ μ s	额定 结温 T_j $^{\circ}C$	浪 涌 电 流 I_{TSM} A
KP1	1	100~3000	<1	3~30	≤ 2.5	30	—	100	20
KP5	5	100~3000	<1	5~70	≤ 3.5	30	—	100	90
KP10	10	100~3000	<1	5~100	≤ 3.5	30	—	100	190
KP20	20	100~3000	<1	5~100	≤ 3.5	30	—	100	380
KP30	30	100~3000	<2	8~150	≤ 3.5	30	—	100	590
KP50	50	100~3000	<2	8~150	≤ 3.5	30	30	100	940
KP100	100	100~3000	<4	10~250	≤ 4	100	50	115	1880
KP200	200	100~3000	<4	10~250	≤ 4	100	80	115	3770
KP300	300	100~3000	<8	20~300	≤ 5	100	80	115	5650
KP400	400	100~3000	<8	20~300	≤ 5	100	80	115	7540
KP500	500	100~3000	<8	20~300	≤ 5	100	80	115	9420
KP600	600	100~3000	<9	30~350	≤ 5	100	100	115	11160
KP800	800	100~3000	<9	30~350	≤ 5	100	100	115	14920
KP1000	1000	100~3000	<10	40~400	≤ 5	100	100	115	18600