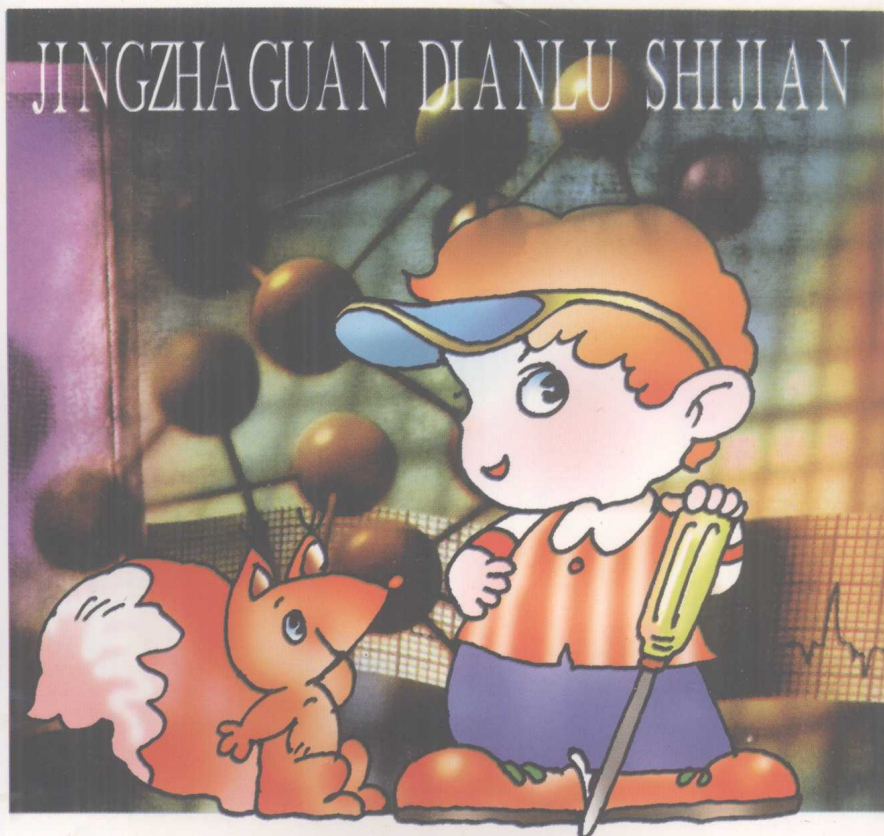


晶闸管电路实践

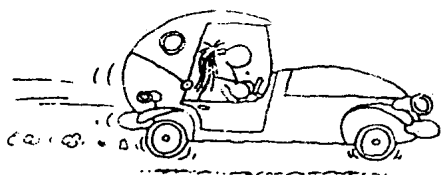
青少年电子入门快车

王乃成 郭振武

一



福建科学技术出版社



●青少年电子入门快车

晶闸管电路实践

王乃成 郭振武

福建科学技术出版社

(闽)新登字 03 号

青少年电子入门快车

晶闸管电路实践

王乃成 郭振武

*

福建科学技术出版社出版、发行

(福州市东水路 76 号)

各地新华书店经销

福建省科发电脑排版服务公司排版

福建地质印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 3.625 印张 2 插页 81 千字

1998 年 7 月第 1 版

1998 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—8 000

ISBN 7-5335-1285-5/TN·174

定价:6.60 元

书中如有印装质量问题,可直接向承印厂调换

丛书编委：（按姓氏笔划为序）

王乃成（中国人民解放军运输工程学院）

孙 漪（西安交通大学）

孙威娜（华中理工大学）

吴淑泉（华南理工大学）

杜效农（天津理工学院）

周亦武（大连海事大学）

林成武（沈阳工业大学）

柯锡明（东南大学）

徐洪水（浙江大学）

徐宝琨（吉林大学）

程卫东（中国科学技术大学）

蔡声镇（福建师范大学）

青少年电子入门
快车

吕新奎
一九九九年
育旨

国家信息产业部吕新奎副部长题词



编辑的话

近 20 年来，电子技术得到了飞速的发展，从航天飞机的发射升空、“火星探路者”号的成功登陆，到卫星全球定位系统 (GPS)、巨型计算机的研制，从海湾战争、抗震救灾、维和行动，到与我们生活息息相关的大屏幕高清晰度彩色电视机、VCD、DVD 视盘机、手提电话……我们无不感受到电子技术的无穷魅力以及对我们社会生活的巨大影响。同时，电子技术又是那么地“平易近人”。一把烙铁、几个元件、一本书，迷得一代代的青少年“乐不思蜀”……谁能否认当今的电子大师们不正是从这条路上走来的？谁又敢说今天的“小电子迷”不能成为明日的电子大师？即便是平平凡凡，他们也乐此不疲，沉迷于电子世界，增长知识，陶冶情操，服务社会。

“青少年电子入门快车丛书”是一套面向青少年朋友的电子入门读本。丛书将电子学知识分成各个相对独立的专题，分册论述。各个分册大致包括了基本知识、元器件特性、基本电路原理与分析、实用电路制作等内容，并注重反映电子科学发展的最新技术及其应用。丛书力求通俗易懂，同时强调知识性、实用性、系统性，让青少年

朋友们能够在较短时间内掌握电子技术的基本知识及制作技能。

在丛书出版之际，特别要感谢参加本丛书编写的专家们，他们大都来自全国各大院校。在为国家培养高级电子人才之余，他们仍不忘普及科技知识的社会责任，百忙之中，天南海北，共同为本丛书的出版而辛劳。国家信息产业部吕新奎副部长、清华大学的李鹤轩教授、中国电子科技大学的过璧君教授、浙江大学的陈曾济教授、大连海事大学的吕健先生以及福州市少年宫的林正山高级工程师等，也为全书的策划组稿提出了宝贵的建议，福建师范大学的许瑞珍老师为丛书编写了生动有趣的电子知识短文，在此一并致谢。

我们诚恳地希望全国电子行业的专家们能继续关注“青少年电子入门快车丛书”的成长，并希望广大青少年朋友能将学习中遇到的问题及萌发的建议告诉我们，让我们一起为普及电子知识而努力。

前 言

晶闸管是晶体闸流管的简称，又称作可控硅，是一种大功率半导体器件。

晶闸管自 1957 年首次被研究出来到现在已有 40 年的历史。它的出现极大地发展了弱电对强电的控制技术。一般的半导体器件（包括集成器件）只能在低电压（几伏或几十伏）、小电流（几百毫安以下）的条件下工作。而晶闸管不仅可以在低电压、小电流的条件下工作，还可以在高电压（可达几千伏）、大电流（可达几千安）的条件下工作，所以它的出现使半导体器件从弱电领域进入了强电领域。

在最近 20 年的时间内，晶闸管的制造和应用技术发展很快。它以其体积小、重量轻、效率高、动作迅速、维护简单、操作方便、寿命长等许多优点，在各工业部门和日常生活中获得了广泛的应用，主要用于：

1. 整流——把交流电转变成大小可调的直流电。
2. 逆变——把直流电转变成交流电，或把交流电转变成另一种频率的交流电。
3. 无触点开关——作直流回路或交流回路的开关元件。
4. 交流调压——通过控制晶闸管导通的时间，改变负载上交流电压的大小。

晶闸管虽然优点很多，但也有不足之处。如过载能力及抗干扰能力差，控制比较复杂等。

本书在介绍了晶闸管的结构、原理等基本知识后，对可控整流、交流调压、逆变和无触点开关电路均作了简要的分析。为便于读者理解，还列举了部分应用电路实例及制作方法。

编著者

1998 年 1 月



目 录

第一章 晶闸管	(1)
一、晶闸管的构造及工作原理	(1)
二、晶闸管的伏安特性	(7)
三、晶闸管的主要参数	(9)
四、晶闸管的型号及简易测试	(10)
五、特殊晶闸管简介	(11)
第二章 晶闸管可控整流电路	(14)
一、单相半波可控整流电路	(14)
二、单相桥式半控整流电路	(20)
三、三相半波可控整流电路	(23)
四、三相桥式半控整流电路	(29)
五、晶闸管的保护	(34)
第三章 晶闸管触发电路	(39)
一、单结晶体管触发电路	(39)
二、晶体管触发电路	(48)
三、集成电路触发器	(51)

第四章 晶闸管交流调压电路 (55)

一、反向并联晶闸管调压电路 (55)

二、双向晶闸管调压电路 (57)

三、晶闸管调功器和过零触发电路 (59)

第五章 晶闸管应用电路举例及制作 (66)

一、晶闸管可控整流电路应用举例 (66)

(一) 简易充电电源 (66)

(二) 自动终止电池充电器 (70)

(三) 晶闸管直流调速电路 (72)

二、晶闸管逆变电路应用举例 (75)

(一) 并联逆变电路的工作原理 (75)

(二) 可控逆变器 (78)

三、晶闸管开关电路应用举例 (81)

(一) 直流开关电路 (81)

(二) 交流开关电路 (84)

四、晶闸管交流调压电路应用举例 (89)

五、晶闸管实用电路小制作 (91)

(一) 日光灯电子起辉器 (91)

(二) 家用调光台灯 (93)

(三) 无触点冰箱保护器 (97)

(四) 简易应急照明灯 (100)

(五) 节日彩灯控制器 (103)

附录一 KP 型晶闸管的主要参数 (107)

附录二 单结晶体管的主要参数 (107)



第一章 晶闸管

一、晶闸管的构造及工作原理

(一) 基本结构

晶闸管的种类很多,目前使用较为普遍的是普通型晶闸管,其外形有螺栓式和平板式,如图 1-1 所示。

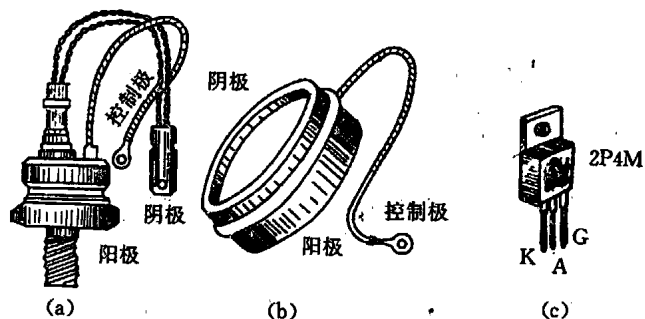


图 1-1 晶闸管的外形

(a) 螺栓式 (b) 平板式 (c) 塑封小功率管

晶闸管有三个电极:阳极 A、阴极 K 和控制极 G。螺栓式晶闸管有螺栓的一端是阳极,使用时可用它固定在散热器上;另一端有两根引线,其中较粗的一根是阴极,较细的一根是控制极。平板式晶闸管的中间金属环的引出线是控制极,离控制极较远的端

面是阳极，离控制极近的端面是阴极，使用时，可把晶闸管夹在两个散热器的中间，散热效果较好。

晶闸管的内部结构如图 1-2 所示。它是由 P 型和 N 型半导体四层交替叠合而成，具有三个 PN 结。由外层 P 型半导体引出阳极 A，由外层 N 型半导体引出阴极 K，由中间 P 型半导体引出控制极 G。

图 1-3 是晶闸管的图形符号。

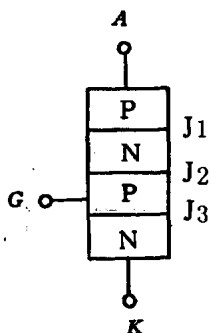


图 1-2 晶闸管的内部结构

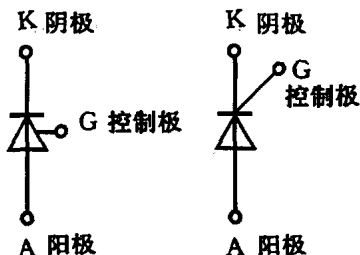


图 1-3 晶闸管的图形符号

(二) 工作原理

为便于理解，下面我们用实验来说明晶闸管的工作原理。

1. 晶闸管的反向阻断

如图 1-4 (a) 所示，将晶闸管的阴极接电源 U 的正极，阳极通过灯泡 H 接电源 U 的负极，使晶闸管承受反向电压。这时，不管开关 S 闭合与否，灯泡始终不亮。这说明当晶闸管加反向电压时，不管控制极是否加上正向电压，它都不会导通而处于阻断状态。这种阻断状态称为反向阻断状态。

晶闸管反向阻断的原因是什么呢？由图 1-2 可知，晶闸管加反向电压时，其三个 PN 结中 J_1 、 J_3 两个 PN 结都处于反向偏置，反向电阻很大，反向电流很小（近似为零），故晶闸管不能导通。

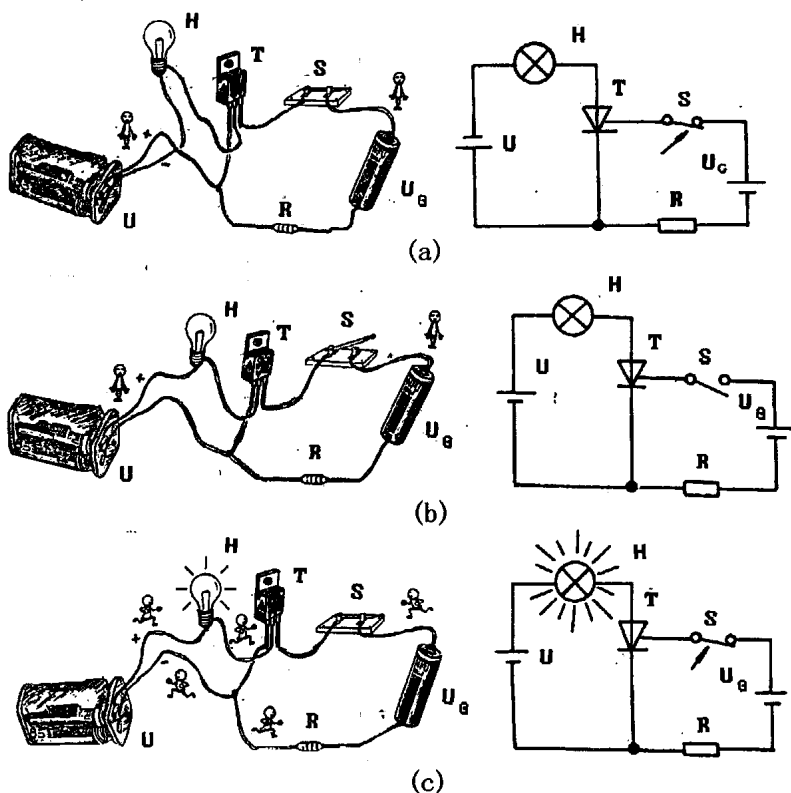


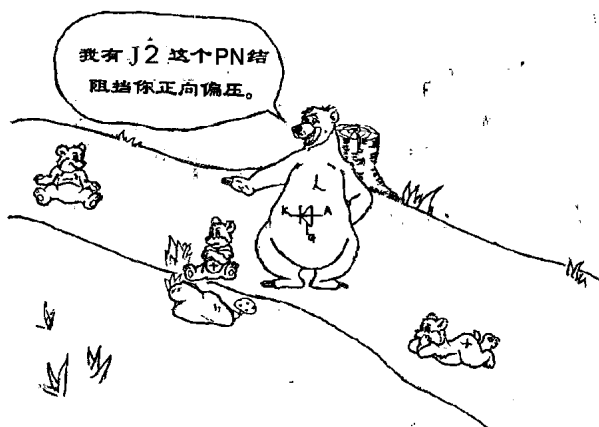
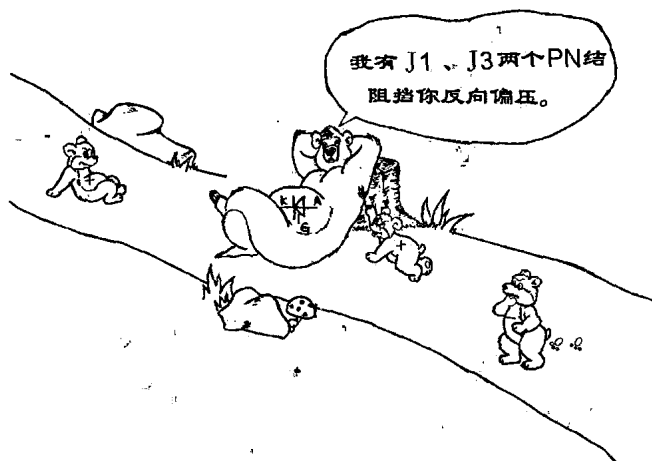
图 1-4 晶闸管工作原理实验图

(a) 反向阻断 (b) 正向阻断 (c) 正向导通

2. 晶闸管的正向阻断

如图 1-4 (b) 所示, 晶闸管加上正向电压, 开关 S 不闭合, 灯泡 H 也不亮。这说明晶闸管加正向电压, 控制极未加正向电压时, 也不会导通, 这种状态称为晶闸管的正向阻断状态。

晶闸管形成正向阻断的原因是: 当晶闸管加正向电压, 而控制极没有加正向电压时, 由图 1-2 可知, 晶闸管三个 PN 结中的 J_2 处于反向偏置, 其反向电阻很大, 电流很小。所以晶闸管也不会

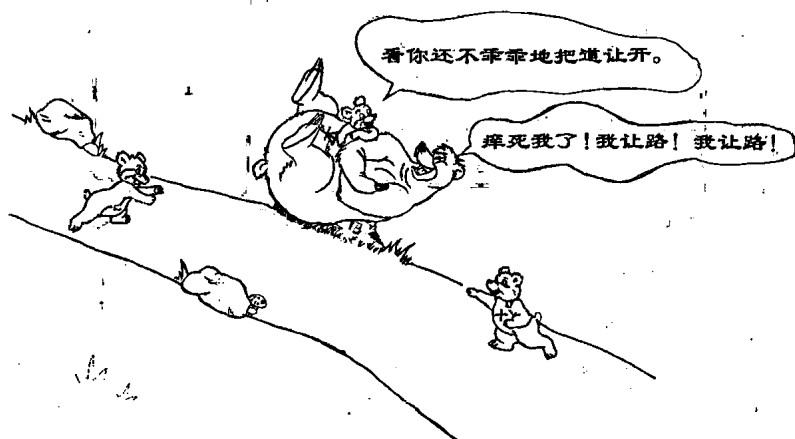


导通。

3. 晶闸管的导通

如图 1-4 (c) 所示, 在晶闸管加正向电压的同时, 合上开关 S, 使控制极也加上正向电压。此时, 灯泡 H 发光, 说明晶闸管导通了。灯亮后, 若把开关 S 断开, 灯泡则继续发光。这说明晶闸管一旦导通后, 控制极便失去了控制作用。

由上述实验可以看出, 晶闸管导通必须同时具备两个条件:



- (1) 晶闸管阳极电路加正向电压;
- (2) 控制极电路加适当的正向电压。

由于晶闸管导通后, 控制极不再起控制作用, 实际工作中, 控制极只需施加短暂的正脉冲电压便可触发晶闸管导通。

为了说明晶闸管导通的工作原理, 我们可以把晶闸管看成是由 PNP 型和 NPN 型两个晶体管连接而成, 每个晶体管的基极与另一个晶体管的集电极相连, 如图 1-5 所示。阳极 A 相当于 PNP 型管 T1 的发射极, 阴极 K 相当于 NPN 型管 T2 的发射极。

由晶体管放大电路已知, 晶体管工作在放大状态的必要条件是发射结加正向电压 (正偏), 集电结加反向电压 (反偏)。如果晶闸管阳极加正向电压, 控制极也加正向电压, 如图 1-6 所示, 那么, 两个等效晶体管的各个 PN 结均符合放大条件。在控制极正向电压 U_G 刚加入的瞬间, 在其作用下产生的控制极电流 I_G 就是 T2 管的基极电流 I_{B2} 。经 T2 放大, 集电极电流 $I_{C2} = \beta_2 I_G$ (β_2 是 T2 管的电流放大系数)。而 I_{C2} 又是 T1 管的基极电流 I_{B1} , 再经 T1 管放大, 则 T1 管的集电极电流 $I_{C1} = \beta_1 I_{C2} = \beta_1 \beta_2 I_G$ (β_1 为 T1 管的电流

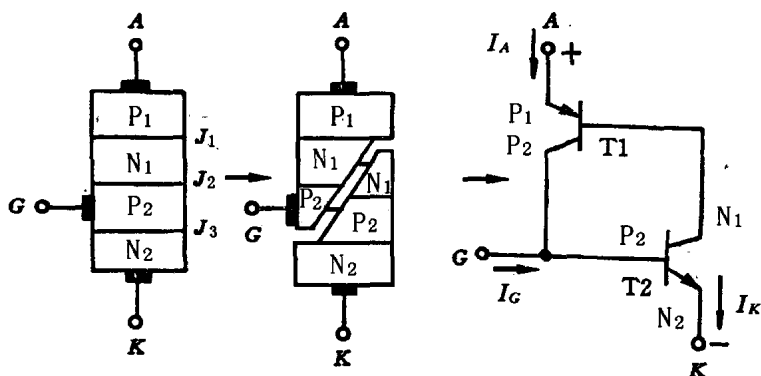


图 1-5 晶闸管用等效晶体管表示

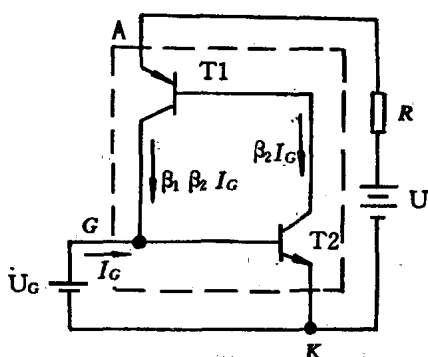


图 1-6 晶闸管正向导通原理

放大系数)。此电流又流入 T2 的基极,再一次放大……这样循环下去,尤如在山坡上滚雪球一般,形成强烈的正反馈,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。

晶闸管一旦导通后,它的导通状态完全依靠管子本身的正反馈来维持,即使控制极电流消失,晶闸管仍处于导通状态。所以,控制极的作用仅仅是触发晶闸管使其导通,导通之后,控制极就失去控制作用了。

晶闸管导通后,其管压降很小,仅 1V 左右,电源电压几乎全部加在负载上。

4. 晶闸管导通后的关断

晶闸管导通后,若将外电路负载 R_L 加大,晶闸管的阳极电流 I 将降低。当阳极电流降到某一数值 I_H 时,晶闸管不能维持正反