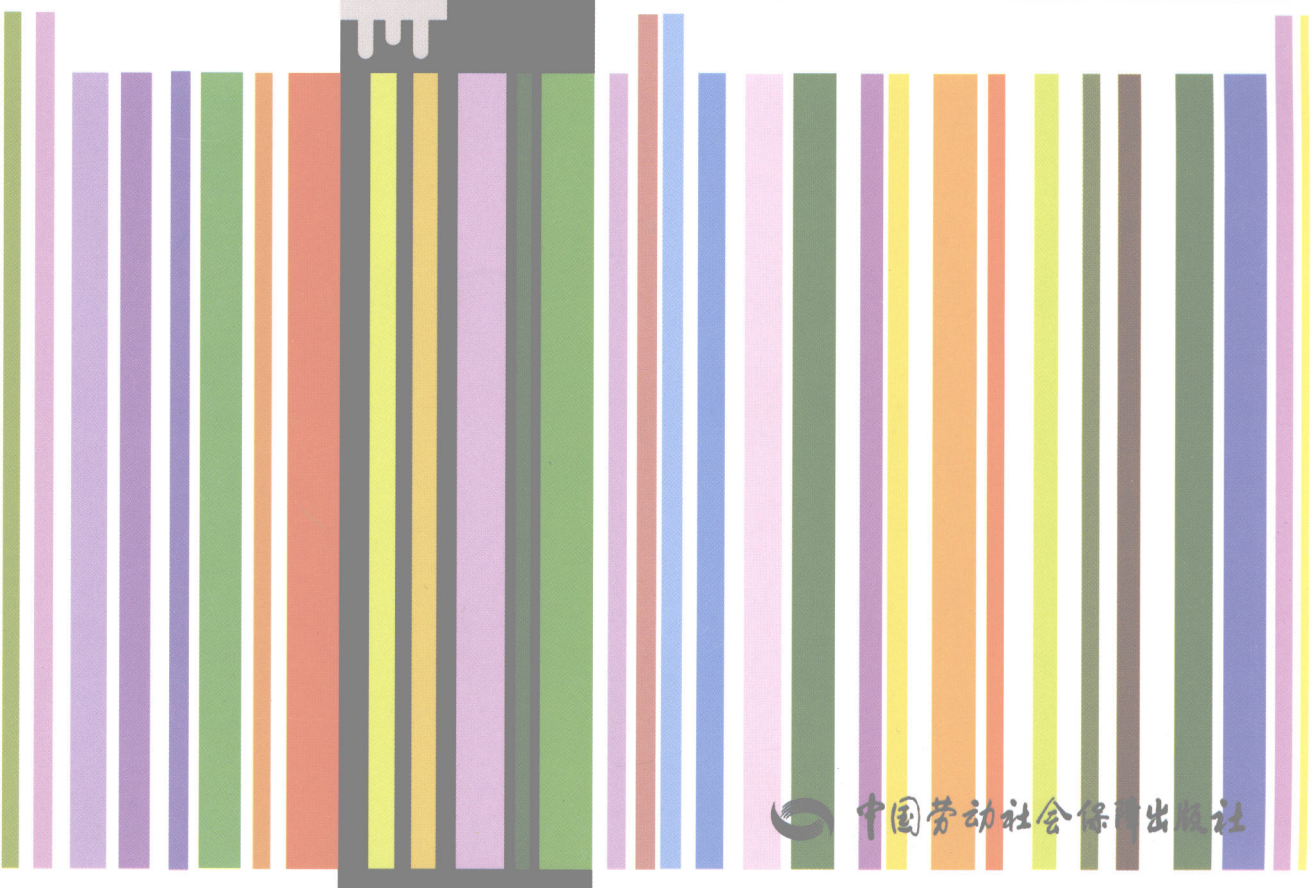
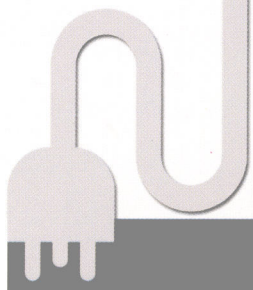
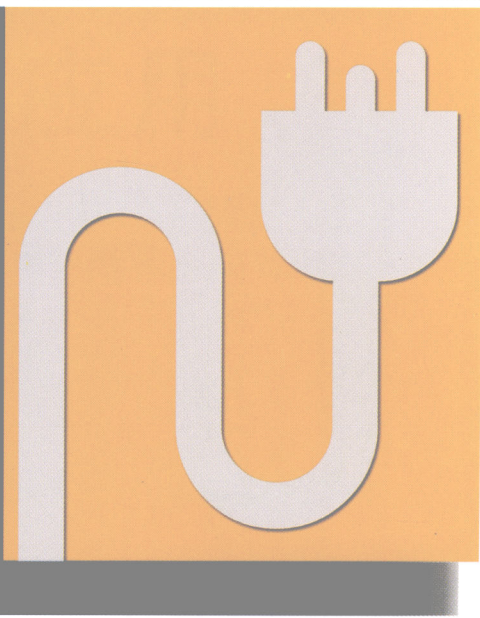


全国中等职业技术学校电工模块教材



变流技术及应用

diangongmokuaijiaocai





国家级职业教育培训规划教材
劳动保障部培训就业司推荐

全国中等职业技术学校电工模块教材

变流技术及应用

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

变流技术及应用/张静之编著. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2006
全国中等职业技术学校电工模块教材

ISBN 7 - 5045 - 5434 - 0

I. 变… II. 张… III. 晶闸管 - 变流技术 - 专业学校 - 教材 IV. TN34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 040892 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京外文印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.75 印张 217 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷

定价: 13.00 元

读者服务部电话: 010 - 64929211

发行部电话: 010 - 64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010 - 64911344

前 言

为了更好地适应全国中等职业技术学校电工类专业的教学要求，劳动和社会保障部教材办公室组织全国有关学校的教师 and 行业专家编写了这套电工模块教材。

这次教材编写工作坚持了以下几个原则：

第一，根据电工类专业毕业生所从事职业的实际需要，合理确定学生应具备的能力结构与知识结构，对教材内容的深度、难度作了较大程度的调整，坚持以能力为本位教学理念，强调基本技能的培养。

第二，吸收和借鉴各地中等职业技术学校教学改革的成功经验，以模块化教学的方式实现理论知识与技能训练相结合，以任务驱动法的编写方式导入教学内容，使教材内容更加符合学生的认知规律，易于激发学生的学习兴趣。

第三，根据科学技术发展，合理更新教材内容，尽可能多地在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，力求使教材具有较鲜明的时代特征。

第四，努力贯彻国家关于职业资格证书与学生证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，力求使教材内容涵盖有关国家职业标准（中级）的知识和技能要求。同时，在教材编写过程中，严格贯彻了国家有关技术标准的要求。

第五，教材编写模式上力求突出模块化特点，每个模块都有其明确的教学目的，并针对各自教学目的的要求展开相关知识的介绍及技能训练，且给出了每个模块的任务评分表，以供教学参考。同时，还针对每个模块设置了相应的巩固与提高练习，以便学生切实掌握相关知识与技能。

第六，在内容的承载方式上，力求图文并茂，尽可能使用图片或表格形式将各个知识点生动的展示出来，从而提高了教材的可读性和亲和力。

本套教材主要包括《模拟电子电路》《脉冲与数字电路》《气液传动》《电动机》《变压器》《电气控制线路安装与维修》《变流技术及应用》《变频调速技术》《直流调速技术》《PLC 操作技能（松下系列）》《PLC 操作技能（西门子系列）》《电工基本技能训练》《钳工基本技能训练》《焊工基本技能训练》《工厂配电装置的安装与维修》《常用机床电气设备维修》《生产自动线结构与调试》《数控机床电气设备维修（2007 年出版）》《电工 EDA（2007 年出版）》等，可供中等职业技术学校电工类专业使用，也可作为职工培训教材。

本次教材的编写得到了天津、上海、江苏、广东、山东、河南、辽宁、湖南等省、市劳动和社会保障厅（局），以及天津工程师范学院、上海工程技术大学高等职业技术学院等学校的大力支持，在此我们表示诚挚的谢意。

《变流技术及应用》的主要内容有：晶闸管单相调光灯电路安装与调试、单相可控整流大电感负载电路的安装与调试、晶闸管三相调光灯电路安装与调试、晶闸管三相可控整流大电感负载电路安装与调试、晶闸管系统拖动的位能性负载电路的安装与调试等。

本书由张静之、刘建华编写，张静之主编；宋峰青审稿。

劳动和社会保障部教材办公室

2006 年 2 月

目 录

第一单元 晶闸管单相调光灯电路安装与调试.....	(1)
课题一 单相半波可控整流调光灯电路安装与调试.....	(1)
课题二 单相半控桥式整流调光灯电路安装与调试.....	(21)
课题三 单相全控桥式整流调光灯电路安装与调试.....	(29)
第二单元 单相可控整流大电感负载电路的安装与调试	(37)
课题一 单相半控桥式整流大电感负载电路的安装与调试.....	(37)
课题二 单相全控桥式整流大电感负载电路的安装与调试.....	(45)
第三单元 晶闸管三相调光灯电路安装与调试.....	(54)
课题一 三相半波可控整流调光灯电路安装与调试.....	(54)
课题二 三相全控桥式整流调光灯电路安装与调试.....	(69)
课题三 三相半控桥式整流调光灯电路安装与调试.....	(79)
第四单元 晶闸管三相可控整流大电感负载电路安装与调试	(90)
课题一 三相半波可控整流大电感负载电路安装与调试.....	(90)
课题二 三相全控桥式整流大电感负载电路安装与调试.....	(99)
课题三 三相半控桥式整流大电感负载电路安装与调试.....	(109)
第五单元 晶闸管系统拖动的位能性负载电路的安装与调试	(122)
课题一 单相晶闸管系统拖动的位能性负载电路的安装与调试.....	(122)
课题二 三相晶闸管系统拖动的位能性负载电路的安装与调试.....	(129)

第一单元

晶闸管单相调光灯电路安装与调试

教学目标

1. 理解晶闸管的工作原理，熟悉晶闸管的参数。
2. 能够在理解单相调光灯电路工作原理的基础上，根据要求画出输出电压和管子两端电压的波形。
3. 能够根据要求计算电路参数，并根据计算结果选择元器件。
4. 能够独立进行电路的安装与调试。

课题一 单相半波可控整流调光灯电路安装与调试

教学目标

要求学生在了解晶闸管的特性和理解单相半波可控整流调光灯电路工作原理的基础上，进行元件的选择，独立完成电路的安装与调试，具备分析电路各点波形的能力。

任务分析及引入

调光灯在日常生活中的应用非常广泛且种类繁多，图 1—1a 是一个由晶闸管构成的单相半波可控整流调光灯实际电路图，图 1—1b 所示为电路原理图。本课题将以调光电路为切入点进行分析。

如图 1—1 所示，电路由主电路和触发电路两部分构成，通过对主电路及触发电路的分析使学生能够理解电路的工作原理，进而掌握分析电路的方法。

相关知识

一、主电路的分析

1. 晶闸管外观和管脚的辨别

晶闸管又称为可控硅，是一种由硅单晶材料制成的大功率半导体元器件，其管芯由四层半导体材料组成，具有三个 PN 结，实物如图 1—2a 所示，各管脚名称标于图中，分别为：阳极（A）、阴极（K）、门极（G）。图 1—2b 所示为晶闸管的图形符号。

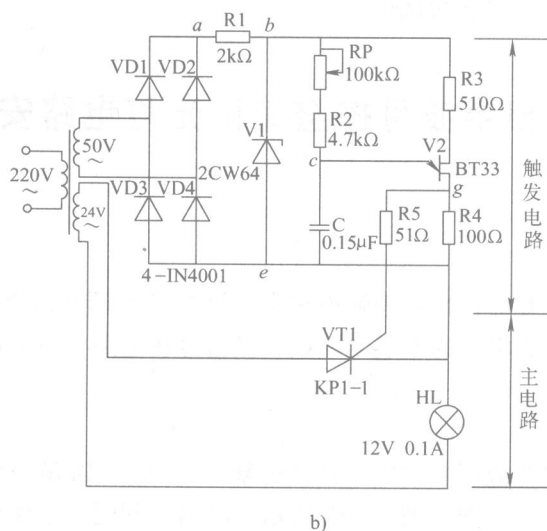
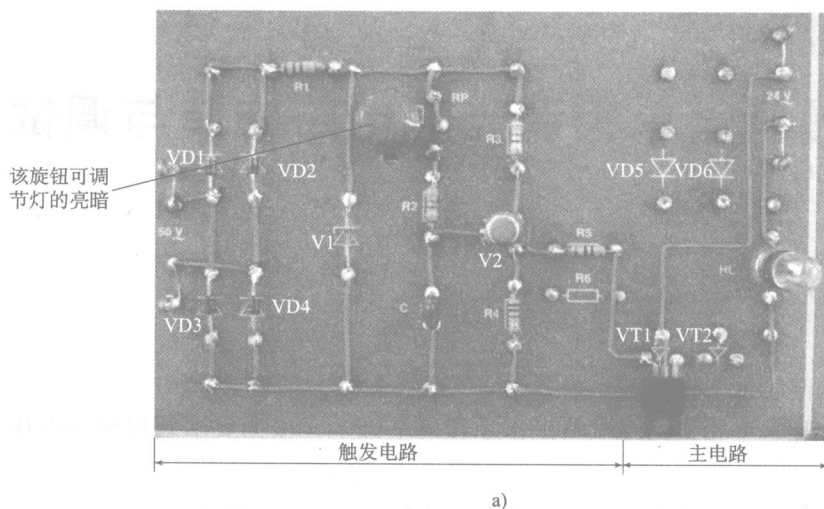


图 1—1

a) 实际电路图 b) 电路原理图

2. 晶闸管的简单测试

在实际的使用过程中，首先需要对晶闸管的好坏进行简单的判断，我们常用万用表进行判别。

(1) 将万用表置于欧姆 $R \times 100$ 挡，红表笔接晶闸管的阳极，黑表笔接晶闸管的阴极，观察指针摆动情况，如图 1—3 所示。

(2) 将黑表笔接晶闸管的阳极，红表笔接晶闸管的阴极，观察指针摆动情况，如图 1—4 所示。

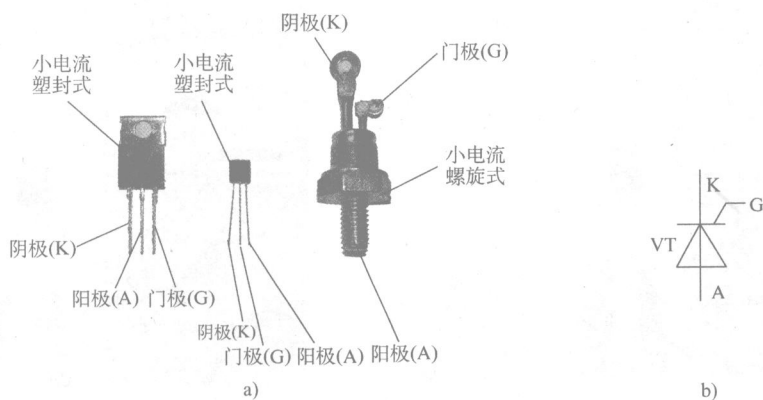


图 1—2

a) 管脚名称 b) 图形符号

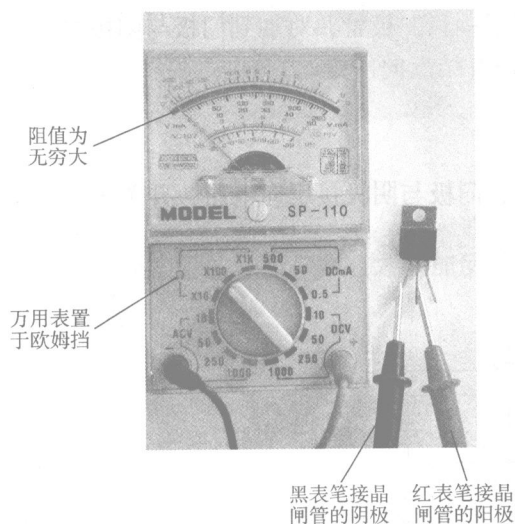


图 1—3

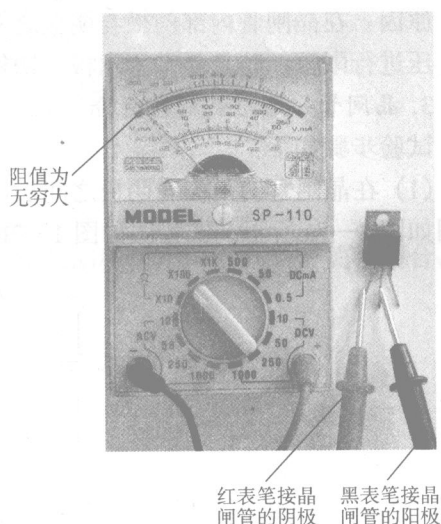


图 1—4

结果：正反相阻值均为无穷大。

原因：晶闸管是四层三端半导体器件，在阳极和阴极之间有三个 PN 结，无论如何加电压，至少有一个 PN 结处于反向阻断状态，因此正反相阻值均为无穷大。

(3) 红表笔接晶闸管的门极，黑表笔接晶闸管的阴极，观察指针摆动情况，如图 1—5 所示。

(4) 黑表笔接晶闸管的门极，红表笔接晶闸管的阴极，观察指针摆动情况，如图 1—6 所示。

理论结果：当黑表笔接门极，红表笔接阴极时，阻值较小；当红表笔接门极，黑表笔接阴极时，阻值略大一些。

实测结果：两次测量的阻值均不大。

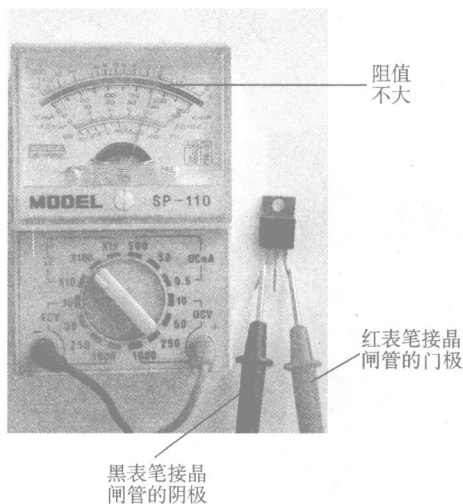


图 1—5

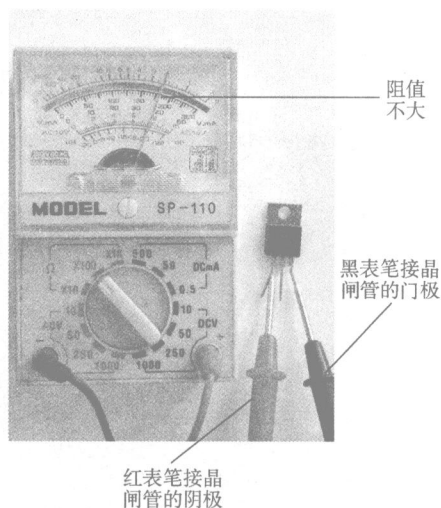


图 1—6

原因：在晶闸管内部门极与阴极之间反并联了一只二极管，对加到门极与阴极之间的反向电压进行限幅，防止晶闸管门极与阴极之间的 PN 结反向击穿。

3. 晶闸管导通与关断的试验

试验步骤如下：

(1) 在晶闸管的阳极与阴极之间加反向电压，门极与阴极接反向电压，开关 S 打开，原理图如图 1—7a 所示，实物图如图 1—7b 所示。

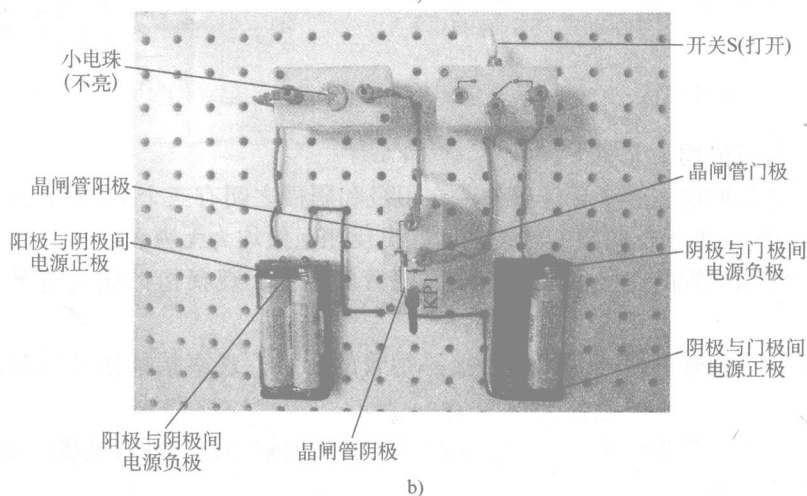
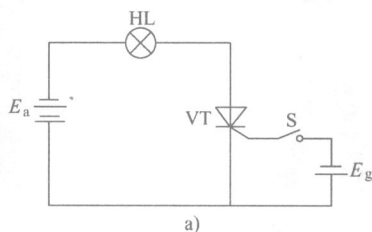


图 1—7

a) 电路图 b) 实物图

(2) 在第一步的基础上使开关 S 闭合，如图 1—8 所示。

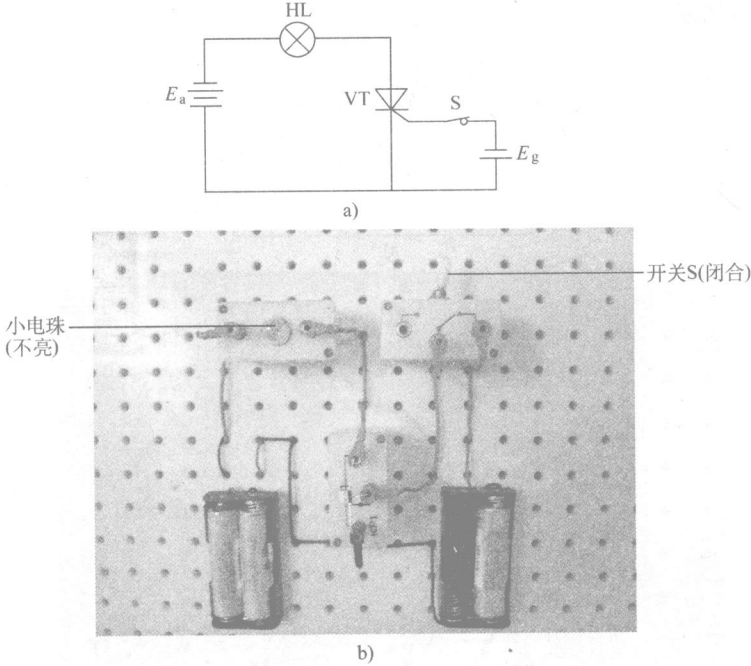


图 1—8

a) 电路图 b) 实物图

(3) 在晶闸管的阳极与阴极之间加反向电压，门极与阴极接正向电压，开关 S 闭合，如图 1—9 所示。

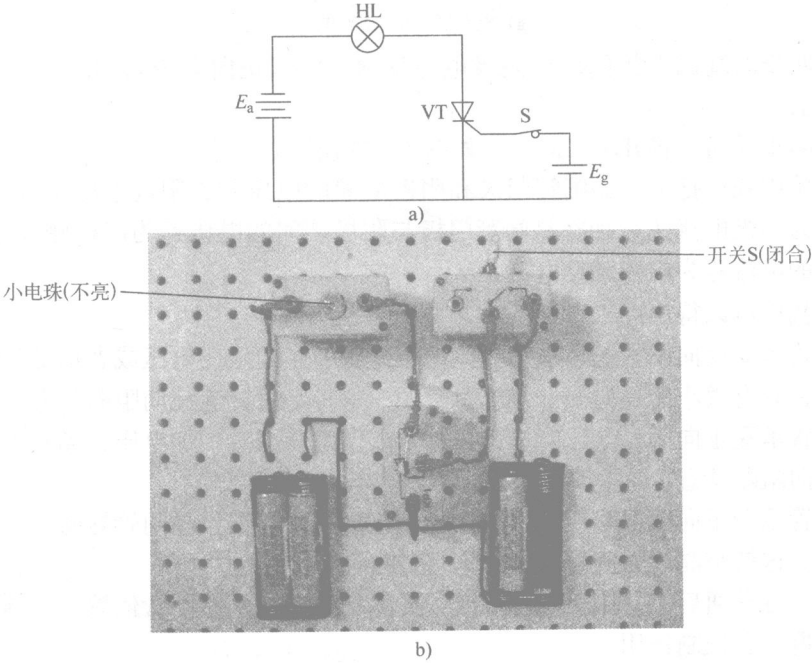


图 1—9

a) 电路图 b) 实物图

(4) 在晶闸管的阳极与阴极之间加正向电压，在门极与阴极之间加上反向电压，开关 S 闭合，如图 1—10 所示。

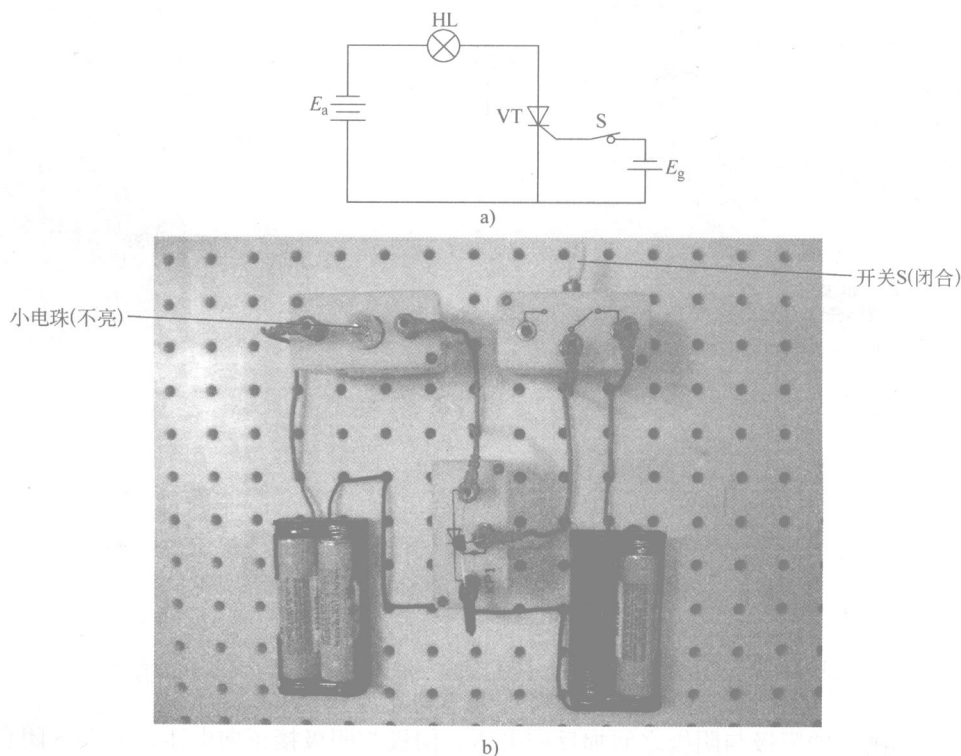


图 1—10

a) 电路图 b) 实物图

(5) 在第四步的基础上将门极与阴极电源反向（加入正向电压），并且使开关 S 闭合，如图 1—11 所示。

(6) 在晶闸管导通后将开关 S 断开，如图 1—12 所示。

在上述试验中我们把加在晶闸管阳极和阴极之间的电压称为阳极电压 U_a ，流过晶闸管阳极的电流称为阳极电流 I_a ，加在晶闸管门极与阴极之间的电压称为门极触发电压 U_g ，流过晶闸管门极的电流称为门极触发电流 I_g 。

通过实验我们可以得出以下结论：

①当晶闸管承受反向阳极电压时，无论门极是否有正向触发电压或者承受反向电压，晶闸管均不导通，只有很小的反向漏电流流过管子，这种状态称为反向阻断状态。

②当晶闸管承受正向阳极电压时，门极加上反向电压或者不加电压，晶闸管不导通，这种状态称为正向阻断状态。这是二极管所不具备的。

③当晶闸管承受正向阳极电压时，门极加上正向触发电压，晶闸管导通，这种状态称为正向导通状态。这就是晶闸管闸流特性，即可控特性。

④晶闸管一旦导通后维持阳极电压不变，撤除触发电压，晶闸管依然处于导通状态，即门极对管子不再具有控制作用。

4. 单相半波可控整流调光灯电路工作原理

单相半波可控整流调光灯电路实际上就是负载为阻性的单相半波可控整流电路，通过对

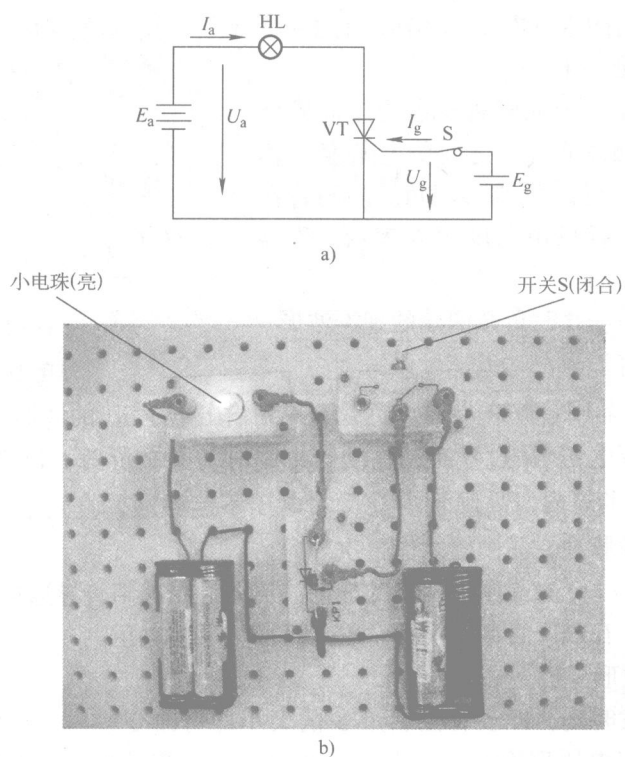


图 1—11

a) 电路图 b) 实物图

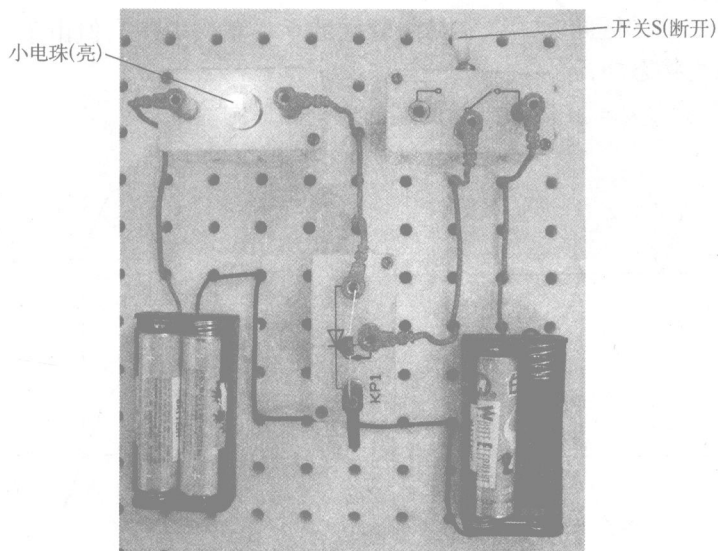


图 1—12

电路的输出波形 u_d 和晶闸管两端电压 u_{VT} 波形的分析来判断电路工作是否正常是调试及维修过程中非常重要的方法。现在假设触发电路正常工作，对电路工作情况进行分析。

图 1—13 所示为主电路部分（该电路是从图 1—1b 中分解出来的），当电源接通后，便

可在负载两端得到脉动的直流电压，其输出电压的波形可以用示波器进行测量，分析如下：

(1) $\alpha = 0^\circ$ 时的波形分析

在单相整流电路中，把晶闸管从承受正向阳极电压起到受触发脉冲触发而导通之间的电角度 α 称为控制角，亦称为触发延迟角或移相角。晶闸管在一个周期内导通时间对应的电角度用 θ 表示，称为导通角，且 $\theta = \pi - \alpha$ 。

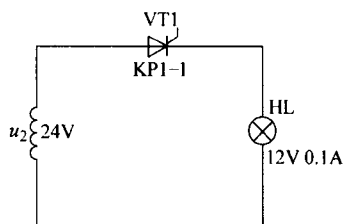


图 1—13

图 1—14a 所示为 $\alpha = 0^\circ$ 时负载两端的理论波形。

分析理论波形图可得出：在电源电压 u_2 正半周区间内，在电源电压的过零点，即 $\alpha = 0^\circ$ 时刻加入触发脉冲，晶闸管 VT1 导通，负载上得到输出电压 u_d 的波形是与电源电压 u_2 相同形状的波形；当电源电压 u_2 过零时，晶闸管也同时关断，负载上得到的输出电压 u_d 为零；在电源电压 u_2 负半周内，晶闸管承受反向电压不能导通，直到下一个周期 $\alpha = 0^\circ$ 时，触发电路再次加入触发脉冲，晶闸管才能再次导通。

图 1—14b 所示为 $\alpha = 0^\circ$ 时晶闸管两端的理论波形图。在晶闸管导通期间，忽略晶闸管的管压降，有 $u_{VT1} = 0V$ ；在晶闸管截止期间，管子将承受反向电压。

(2) $\alpha = 30^\circ$ 时的波形分析

改变晶闸管的触发时刻，即改变控制角 α 的大小即可改变输出电压的波形，图 1—15a 所示为 $\alpha = 30^\circ$ 时的输出电压理论波形。当 $\alpha = 30^\circ$ 时，晶闸管承受正向电压，此时加入触发脉冲，晶闸管导通，负载上得到输出电压 u_d 的波形与电源电压 u_2 的波形相同；当电源电压 u_2 为负半周时，晶闸管承受反向电压而关断，负载上得到的输出电压 u_d 为零；从电源电压过零点到 $\alpha = 30^\circ$ 之前的区间内，虽然晶闸管已经承受正向电压，但由于没有触发脉冲，晶闸管依然处于截止状态。

图 1—15b 所示为 $\alpha = 30^\circ$ 时晶闸管两端的理论波形图。

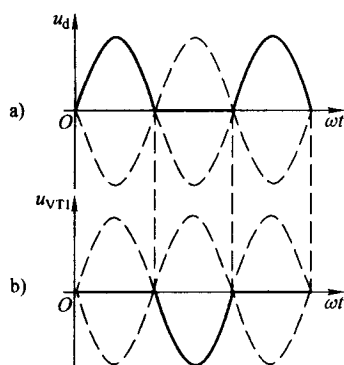


图 1—14

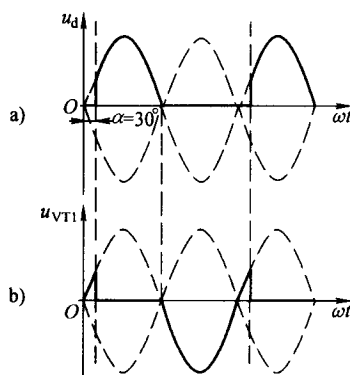
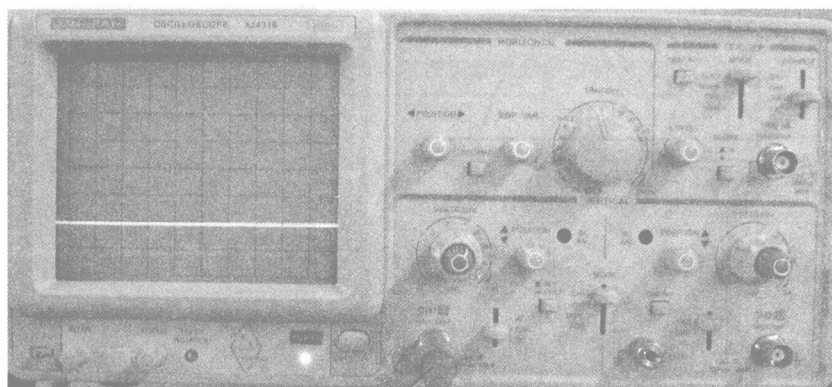


图 1—15

借助示波器，可以观察输出电压和晶闸管两端波形。

打开示波器的电源，选择输入通道模式 (MODE) 为“CH1”，显示方式为直流 DC 显示，适当调整辉度、聚焦等旋钮，使扫描线位于屏幕有效的工作区内，如图 1—16 所示。



CH1输入端

图 1—16

将示波器探头的测试端和接地端分别接于白炽灯两端，调节“t/div”和“V/div”旋钮，使示波器稳定显示至少一个周期的完整波形。如图 1—17 所示，可与理论波形进行比较。

将示波器探头的测试端接于晶闸管的阳极，接地端接于晶闸管的阴极，测试晶闸管在控制角 α 的角度为 30° 时两端电压的波形，如图 1—18 所示，可与理论波形进行比较。

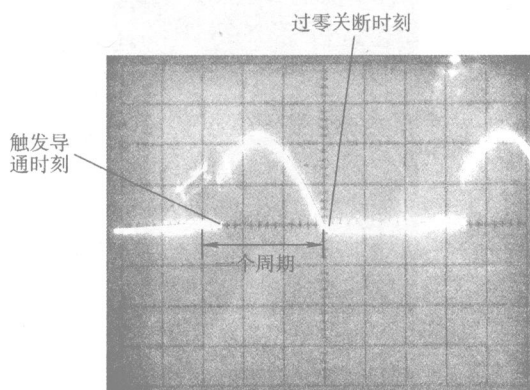


图 1—17

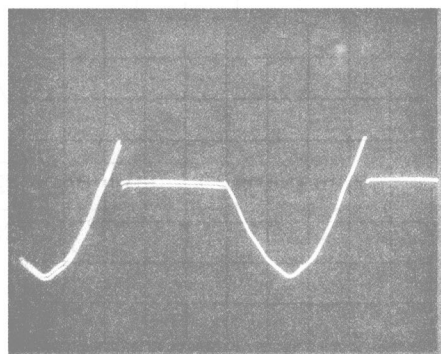


图 1—18

(3) 不同控制角 α 下的电路工作波形分析

继续改变触发脉冲的加入时刻，可以分别得到控制角 α 为 60° 、 90° 、 120° 时输出电压和管子两端的理论波形与实测波形，如图 1—19、图 1—20、图 1—21 所示。

由以上的分析和测试可以得出：

①在单相半波整流电路中，改变 α 大小即改变触发脉冲在每周期内出现的时刻， u_d 和 i_d 的波形也随之改变，但是直流输出电压瞬时值 u_d 的极性不变，其波形只在 u_2 的正半周出现，这种通过对触发脉冲的控制来实现改变直流输出电压大小的控制方式称为相位控制方式，简称相控方式。

②理论上移相范围 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。在本课题中若要实现移相范围达到 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，则需要改进触发电路以扩大移向范围。

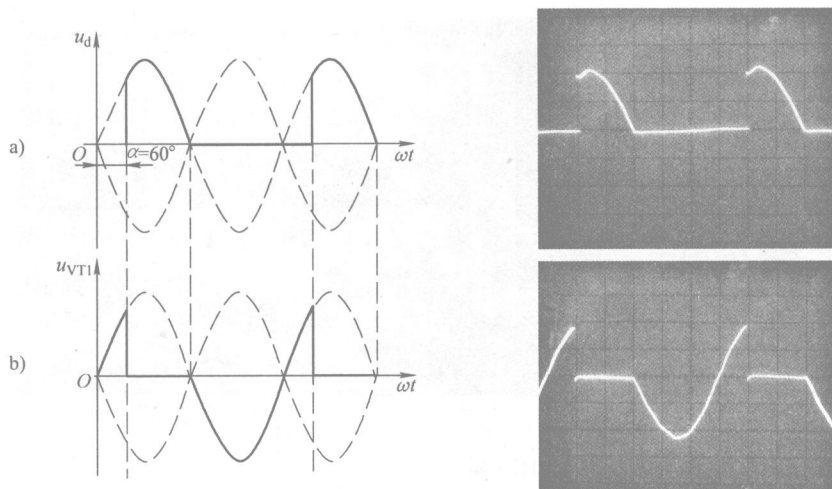


图 1—19

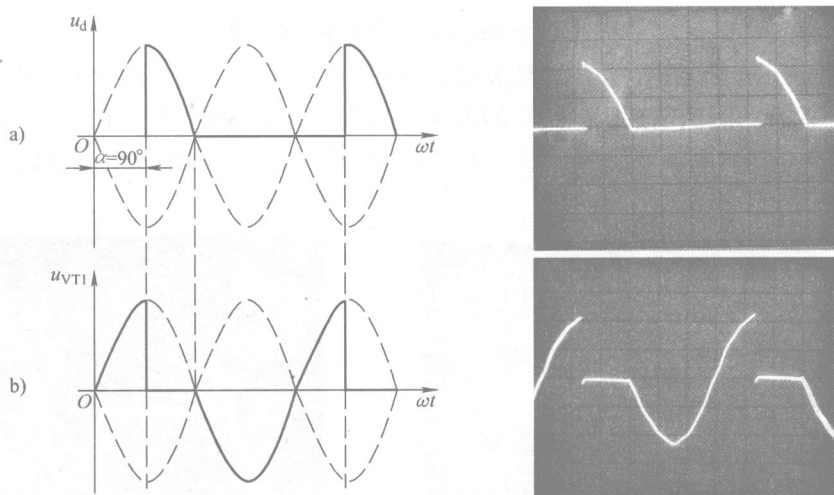


图 1—20

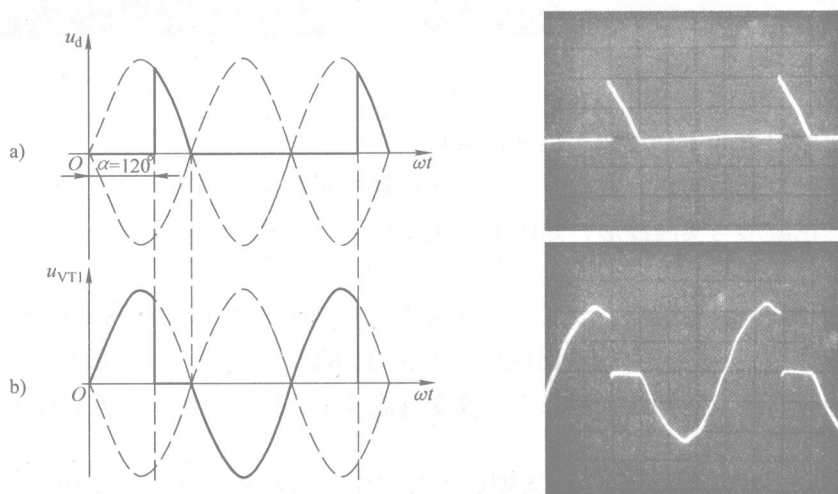


图 1—21

③单相半波可控整流带电阻性负载电路参数的计算公式，见表 1—1。

表 1—1 单相半波可控整流带电阻性负载电路参数计算公式

电 路 参 数	计 算 公 式
输出电压平均值	$U_d = 0.45 U_2 \frac{1 + \cos\alpha}{2}$
负载电流平均值	$I_d = \frac{U_d}{R_d} = 0.45 \frac{U_2}{R_d} \frac{1 + \cos\alpha}{2}$
负载电流有效值	$I = \frac{U_2}{R_d} \sqrt{\frac{1}{4\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{2\pi}}$
晶闸管最大耐压电压	$U_{TM} = \sqrt{2} U_2$

5. 主电路晶闸管的选择

在实际使用过程中，我们往往要根据工作条件进行管子的合理选择，以达到满意的技术、经济效果。正确选择管子主要包括两个方面：一是要根据情况确定所需晶闸管的额定值；二是根据额定值确定晶闸管的型号。

晶闸管的各项额定参数在晶闸管生产后，由厂家经过严格测试而确定，作为使用者来说，只需要能够正确地选择管子即可。

(1) 晶闸管额定电压 U_{Tn} 的确定

在晶闸管的铭牌上，额定电压是以电压等级的形式给出的，通常标准电压等级规定为：电压在 1 000 V 以下，每 100 V 为一级；电压在 1 000 ~ 3 000 V，每 200 V 为一级。电压等级见表 1—2。

表 1—2 晶闸管标准电压等级

级 别	正反向重复峰值电压 (V)	级 别	正反向重复峰值电压 (V)	级 别	正反向重复峰值电压 (V)
1	100	8	800	20	2 000
2	200	9	900	22	2 200
3	300	10	1 000	24	2 400
4	400	12	1 200	26	2 600
5	500	14	1 400	28	2 800
6	600	16	1 600	30	3 000
7	700	18	1 800		

在使用过程中，环境温度的变化、散热条件以及出现的各种过电压都会对晶闸管产生影响，因此在选择管子时，应当使晶闸管的额定电压至少为实际工作时可能承受的最大电压 U_{TM} 的 2~3 倍，即：

$$U_{Tn} \geq (2 \sim 3) U_{TM}$$

(2) 晶闸管额定电流 $I_{T(AV)}$ 的确定

由于整流设备的输出端所接负载常用平均电流来表示，晶闸管额定电流的标定与其他电