

• 先进制造业职业教育规划教材 •

# 变流与调速技术应用

BIANLIU YU TIAOSU JISHU YINGYONG

谭爱平 主编 曹金福 副主编

第二版



化学工业出版社

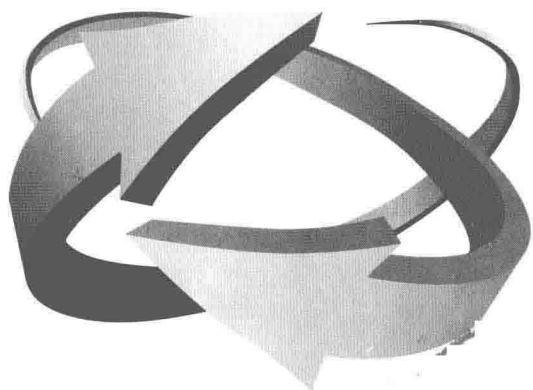
· 先进制造业职业教育规划教材 ·

# 变流与调速技术应用

BIANLIU YU TIAOSU JISHU YINGYONG

谭爱平 主编 曹金福 副主编

第二版



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要内容有：晶闸管、晶闸管单相可控整流电路、晶闸管三相可控整流电路、晶闸管的保护、晶闸管交流调压技术、晶闸管直流斩波技术、有源逆变电路、变频器与变频调速、可编程控制器控制的变频器运行等。

本书以来源于生活和生产中的实际问题为中心，按模块方式将变流与调速技术应用分成晶闸管可控整流技术、交流调压与直流斩波技术、逆变技术三个课题，每个课题分成若干个项目，每个项目下设若干知识点。全书编写突出技能培养，降低理论难度，理论讲授与技能训练也可分开进行。

本书可作为中职学校机电专业、工业企业电气化及工业自动化等专业的教材；也可作为有关行业的岗位培训教材。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

变流与调速技术应用/谭爱平主编. —2 版. —北京：  
化学工业出版社，2011. 4

先进制造业职业教育规划教材

ISBN 978-7-122-10659-9

I. 变… II. 谭… III. 变频调速-职业教育-教材  
IV. TM921.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 033673 号

---

责任编辑：宋 薇

装帧设计：韩 飞

责任校对：战河红

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 7 字数 173 千字 2011 年 6 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：18.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

变流与调速技术应用

BIANLIU YU TIAOSU JISHU YINGYONG

进入 21 世纪后,由晶闸管及其它电力电子器件实现的变流与调速技术得到了迅猛发展,这些技术已普及到了我国国民经济的各个领域,变频调速技术的应用实现了节能、节材的实效,对提高综合经济效益产生了巨大的影响。行业的快速发展,对人才提出了更高的要求。

本书在编写过程中本着以就业为导向、以职业能力为本位、以学生为主体的教学理念,根据企业用人现状、岗位人才需求进行内容安排,主要具有以下特点:

## 1. 以学生发展为本,加强技能训练,突出知识应用

本书的内容安排由浅入深、循序渐进,考虑到中职学生的实际情况,教材中不涉及任何定量定性计算,对理论知识的介绍以必需、够用为度,对工作原理的分析采用图文并茂的表现形式,力求语言通俗易懂。对于书中较重要的或易混淆的知识,通过“想一想”环节提出问题,便于学生在学习过程中抓住重点。每个项目都从生产生活实际出发,以问题的形式提出本项目所要讲述的主要内容;在每个知识点中,都列出了通过学习所要达到的目标;在每个项目单元后,有“阅读提高”环节,帮助学生了解变流与调速技术在实际生产、生活中有怎样的应用。针对变频技术日益广泛应用的现状,增加了变频器综合应用能力的训练,并在“试一试”和“想一想”环节中让学生学会举一反三,真正掌握。

## 2. 通用性强,体现了最新发展动向

本书将传统的先学习理论知识,再通过实训环节来加强巩固所学理论知识的模式,变为先动手做再学习理论知识的模式,使学生有目的地去学习理论知识,教师的教学也更有针对性。动手做与理论讲授两部分可根据实训条件分开独立进行,实训部分不影响理论教学。本书在编写内容上力求与工厂实际情况相结合,体现新知识、新技术、新工艺,体现调速技术发展的最新动向,在编写内容中增加了新型电力电子器件的介绍、变频空调器的原理等内容。

本书共有 3 个课题,下设 9 个项目,每个项目下分有若干个知识点,每个知识点下包括知识目标、做一做、理论知识、想一想或试一试等,各项目后有阅读提高的内容。本书由谭爱平主编,曹金福副主编,参加编写的还有周书荣、王秋菊、万中东、张玲和张洪。

由于编写时间紧,又限于编者水平与经验,若有错误和疏漏之处,恳切希望同仁和读者批评指正。

编者

2011 年 2 月

# 目 录

变流与调速技术应用  
BIANLIU YU TIAOSU JISHU YINGYONG

## 课题一 晶闸管可控整流技术 1

### 项目一 晶闸管 1

- 知识一 晶闸管的结构及工作原理 1
- 知识二 晶闸管的伏安特性和主要参数 4
- 阅读提高 晶闸管的检测与使用 6
- 思考练习 8

### 项目二 晶闸管单相可控整流电路 8

- 知识一 单相半波和全控桥可控整流电路 9
- 知识二 单相半控桥可控整流电路 11
- 知识三 单结晶体管触发电路 14
- 阅读提高 单相可控整流技术的应用 17
- 思考练习 18

### 项目三 晶闸管三相可控整流电路 19

- 知识一 三相半波可控整流电路 19
- 知识二 三相全控桥式可控整流电路 22
- 知识三 三相半控桥可控整流电路 24
- 知识四 锯齿波同步触发电路 27
- 阅读提高 其它三相触发电路 29
- 思考练习 30

### 项目四 晶闸管的保护 30

- 知识一 晶闸管的过电压保护 31
- 知识二 晶闸管过电流保护及电压、电流上升率的限制 34
- 阅读提高 晶闸管的串并联使用及直流调速装置 36
- 思考练习 38

## 课题二 晶闸管交流调压技术和直流斩波技术 39

### 项目一 晶闸管交流调压技术 39

- 知识一 晶闸管交流开关 39

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 知识二 单相交流调压电路 .....                     | 41  |
| 阅读提高 晶闸管调压技术的应用 .....                  | 43  |
| 思考练习 .....                             | 44  |
| <b>项目二 晶闸管直流斩波技术</b> .....             | 45  |
| 知识一 斩波器的原理 .....                       | 45  |
| 知识二 晶闸管直流斩波电路 .....                    | 47  |
| 思考练习 .....                             | 49  |
| <b>课题三 逆变技术</b> .....                  | 50  |
| <b>项目一 有源逆变电路</b> .....                | 50  |
| 知识一 有源逆变的原理 .....                      | 50  |
| 知识二 逆变失败和逆变角的限制 .....                  | 53  |
| 阅读提高 晶闸管有源逆变技术的应用 .....                | 55  |
| 思考练习 .....                             | 57  |
| <b>项目二 变频器与变频调速</b> .....              | 58  |
| 知识一 变频器的基本知识 .....                     | 58  |
| 知识二 通用变频器的结构与变频调速的原理 .....             | 62  |
| 知识三 变频器操作面板的使用 .....                   | 66  |
| 知识四 变频器的功能预置 .....                     | 73  |
| 知识五 三相异步电动机变频调速单向运行 .....              | 79  |
| 知识六 三相异步电动机变频调速双方向运行 .....             | 81  |
| 知识七 三相异步电动机变频调速多挡运行 .....              | 84  |
| 知识八 三相异步电动机变频调速多段运行 .....              | 87  |
| 阅读提高 空调器变频原理 .....                     | 89  |
| 思考练习 .....                             | 91  |
| <b>项目三 可编程控制器 (PLC) 控制的变频器运行</b> ..... | 92  |
| 知识一 PLC 控制变频调速单向运行 .....               | 92  |
| 知识二 PLC 控制变频调速双方向运行 .....              | 94  |
| 知识三 PLC 控制的变频与工频切换运行 .....             | 96  |
| 知识四 PLC 控制变频调速多挡运行 .....               | 99  |
| 思考练习 .....                             | 102 |
| <b>参考文献</b> .....                      | 103 |

## 课题一

# 晶闸管可控整流技术



## 项目一 晶闸管

城市的路灯在傍晚光强减弱时会自动开启，在早晨光强变大时会自动熄灭。路灯的工作，是通过路灯自动控制电路实现的。在这个电路中，有一个能根据光的强弱信号自动接通和断开路灯电源的开关元件，这个元件称为晶闸管。什么是晶闸管？它是怎样接通和断开电路的？

### 知识一 晶闸管的结构及工作原理



#### 学习目标

1. 认识常用晶闸管器件。
2. 掌握晶闸管的工作原理及导通、关断的条件。

#### 一、做一做

1. 认识普通晶闸管及它的三个极

图 1-1 所示为不同外形的晶闸管，认真观察所给晶闸管外形结构，找出它的阴极 K、阳

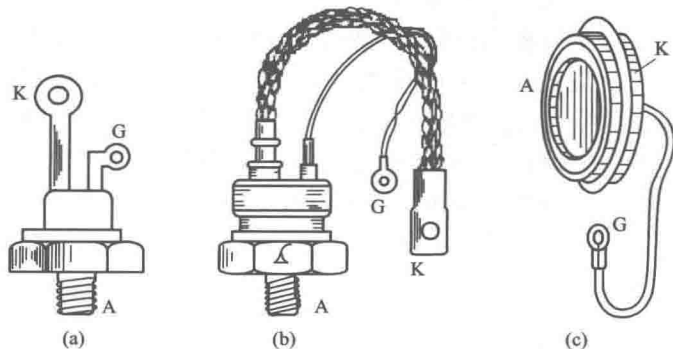


图 1-1 晶闸管的外形

极 A、控制极 G。

## 2. 晶闸管导通和关断条件的测试

(1) 按图 1-2 连接好电路，检查无误后通电实验。

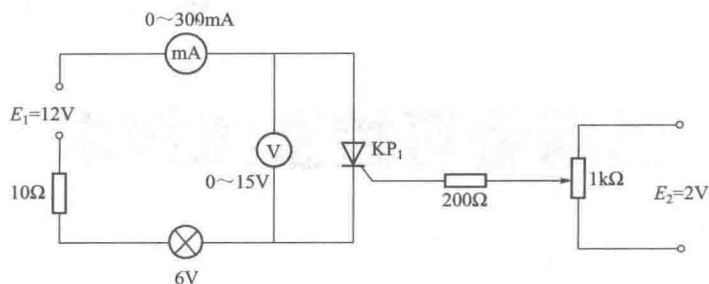


图 1-2 晶闸管导通与关断实验电路

(2) 按表 1-1 内容完成测试，并填写记录，作出结论。

表 1-1 晶闸管导通和关断条件测试

| 实验项目 | 阳极电压                 | 门极电压            | 灯的状态 | 结论 |
|------|----------------------|-----------------|------|----|
| 导通实验 | 反向阳极电压 $A^-$ , $K^+$ | 反向: $G^-$ $K^+$ |      |    |
|      |                      | 不加              |      |    |
|      |                      | 正向: $G^+$ $K^-$ |      |    |
|      | 正向阳极电压 $A^+$ , $K^-$ | 反向: $G^-$ $K^+$ |      |    |
|      |                      | 不加              |      |    |
|      |                      | 正向: $G^+$ $K^-$ |      |    |
| 关断实验 | 正向阳极电压 $A^+$ , $K^-$ | 拆除门极电压          |      |    |
|      |                      | 门极电压反向          |      |    |
|      | 减小正同阳极电压至接近于零        | 任意              |      |    |

## 二、晶闸管的结构

### 1. 晶闸管的结构

晶闸管是硅晶体闸流管的简称，俗称可控硅。晶闸管种类很多，但普通晶闸管应用最普遍。普通晶闸管（以下简称晶闸管）的外形结构有螺旋式和平板式两种，如图 1-1 所示，其中 (a)、(b) 为螺旋式，(c) 为平板式。其管芯由  $P_1N_1P_2N_2$  四层半导体器件构成，具有三个 PN 结，对外引出三个电极：由  $P_1$  区引出的电极称为阳极 A，由  $N_2$  区引出的电极称为阴极 K，由  $P_2$  区引出的电极称为控制极或门极 G，如图 1-3(a) 所示。晶闸管可等效为三个二极管串联，如图 1-3(b) 所示。在电路中晶闸管的表示符号如图 1-3(c) 所示。

### 2. 晶闸管三个电极的判断

(1) 方法一：根据晶闸管的外形结构判断。

如图 1-1 所示，平板式晶闸管的引出线端为控制极 G，平面端为阳极 A，另一端为阴极

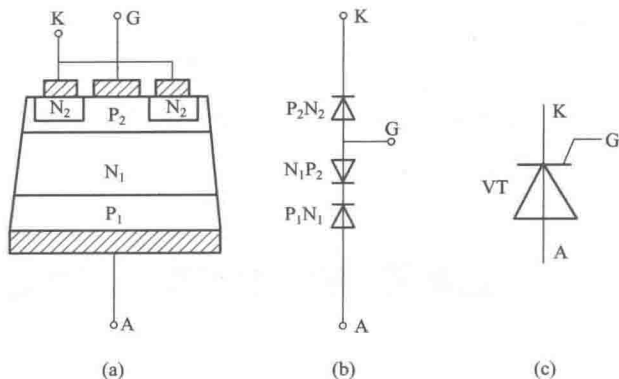


图 1-3 晶闸管的结构、等效电路及图形符号

K。螺旋式晶闸管的螺栓端为阳极 A，较细的引出线端为控制极 G，较粗的引出线端为阴极 K。

(2) 方法二：根据测量三个极之间的正反向电阻大小判断。

用万用表  $R \times 100$  挡测量任意两极间的正反向电阻，直到找出读数为数十欧姆的一对电极，黑表笔所接电极为 G 极，红表笔所接电极为 K 极。

### 三、晶闸管的工作原理

(1) 晶闸管的工作原理。

① 反向阻断。当晶闸管加反向阳极电压，即 A 极接低电位、K 极接高电位时，无论门极加什么极性的电压，晶闸管都处于关断状态。

② 正向阻断。当晶闸管加正向阳极电压，即 A 极接高电位、K 极接低电位时，若在 G、K 两极间加反向电压即 G 极接低电位、K 极接高电位或 G、K 两极间不加电压，晶闸管均处于关断状态。

③ 正向触发导通。当晶闸管加正向阳极电压，且在 G、K 两极间加适当大小的正向电压，即 G 极接高电位、K 极接低电位，晶闸管就转入导通状态。晶闸管导通后，A、K 两极间呈低阻状态，两极间的电压约为 1V。

④ 持续导通。晶闸管导通后，在保持 A、K 间正向阳极电压的情况下，若拆除门极电压，则晶闸管继续保持导通状态，表明晶闸管导通后控制极失去控制作用。可见，门极的作用仅仅是触发晶闸管导通。

⑤ 重新关断。若将正向阳极电压减小到接近于零或反向，则通过晶闸管的阳极电流会减小到维持电流以下，晶闸管进入关断状态。

(2) 晶闸管的导电特性

晶闸管具有单向可控导电特性。所谓单向导电特性，就是指晶闸管加正向阳极电压导通，加反向阳极电压截止。所谓可控导电特性，就是指当晶闸管加正向阳极电压时，还必须加适当正向门极触发电压，才能使它导通。

(3) 晶闸管导通和关断的条件

晶闸管导通的条件：加正向阳极电压且加适当正向门极触发电压，晶闸管就导通。

晶闸管关断的条件：阳极电压减小到零或使阳极电压反向，即阳极电流减小到维持电流以下时，晶闸管关断。



### 想一想

晶闸管加上正向阳极电压后，若再加适当正向门极触发电压，为什么就能导通？

## 知识二 晶闸管的伏安特性和主要参数



### 学习目标

1. 熟悉晶闸管的型号命名及阳极伏安特性。
2. 了解晶闸管的主要参数及选择。

### 一、晶闸管的阳极伏安特性

晶闸管阳极、阴极间的电压  $U_a$  与阳极电流  $I_a$  之间的关系，称为阳极伏安特性。晶闸管阳极伏安特性曲线如图 1-4 所示。特性曲线可分为四个区：正向阻断区、正向导通区、反向阻断区和反向击穿区。

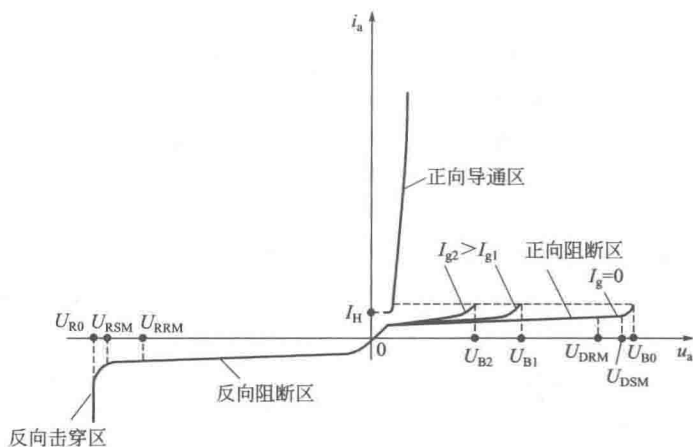


图 1-4 晶闸管阳极伏安特性

(1) 正向阻断区。当晶闸管所加正向阳极电压较小时，即使流入足够的门极电流，如  $I_{g1}$ ，晶闸管的阳极电流也很小，仍处于关断状态。随着正向阳极电压的增大，阳极电流也增大，当阳极电压增大到正向转折电压  $U_{B1}$  时，阳极电流快速增大，管子便进入正向导通状态。门极电流  $I_g$  越小，晶闸管由正向阻断进入正向导通的正向转折电压  $U_B$  就越大。若  $I_g=0$ ，当阳极电压增大至自然正向转折电压  $U_{B0}$  时，晶闸管也能进入导通状态。但这种情况通常是不允许的，因为用这种方法会使管子导通不可控，而且多次这样导通会损坏管子。

(2) 正向导通区。晶闸管导通后，其阳极伏安特性与二极管的正向伏安特性相似。



(3) 反向阻断区。晶闸管加反向阳极电压时处于截止状态, 其特性与二极管的反向伏安特性相似。

(4) 反向击穿区。当晶闸管反向电压增大到反向击穿电压  $U_{R0}$  时, 会使管子击穿, 这将造成管子永久性损坏。因此, 使用时晶闸管两端可能承受的最大峰值电压必须小于管子的反向击穿电压。



### 想一想

晶闸管能和稳压二极管一样工作在特性曲线的反向击穿区吗? 为什么?

## 二、晶闸管的主要参数

### 1. 额定电压 $U_{Tn}$

指正向阻断重复峰值电压  $U_{DRM}$  与反向阻断重复峰值电压  $U_{RRM}$  中较小的值, 再取相应于标准电压等级表 1-2 中偏小的电压值。正向阻断重复峰值电压  $U_{DRM}$  是指在门极开路、结温为额定值时, 允许重复加在管子上的正向峰值电压。若加在管子上的正向电压大于  $U_{DRM}$ , 则管子可能会自行开通而造成失控。反向阻断重复峰值电压  $U_{RRM}$  是指在门极开路、结温为额定值时, 允许重复加在管子上的反向峰值电压。若加在管子上的反向电压大于  $U_{RRM}$ , 则管子可能被击穿。

表 1-2 晶闸管断态正反向重复峰值电压标准等级

| 级别 | 断态正反向重复峰值电压<br>/V | 级别 | 断态正反向重复峰值电压<br>/V | 级别 | 断态正反向重复峰值电压<br>/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              |    |                   |

### 2. 额定电流 $I_T$

实际中是以晶闸管的额定通态平均电流作为它的额定电流。所谓额定通态平均电流是指在规定的环境温度 and 标准散热条件下, 晶闸管正常工作时 A 和 K 间所允许通过电流的平均值。

### 3. 通态平均电压 (或管压降) $U_F$

指在规定的工作温度条件下, 使晶闸管导通的正弦波半个周期内  $U_{AK}$  的平均值, 一般为  $0.4 \sim 1.2V$ 。

### 4. 维持电流 $I_H$

指在常温门极开路时, 晶闸管从较大的通态电流降到刚好能维持导通所需的最小通态

电流。

#### 5. 门极触发电压 $U_{GT}$ 和触发电流 $I_{GT}$

指在规定的环境温度和晶闸管 A、K 间为一定值电压时，使管子从断态转入通态所需的最小门极直流电流，称为门极触发电流，一般为毫安级。对应于触发电流的门极电压，称为门极触发电压，一般为 1.5V 左右。

#### 6. 通态电流临界上升率 $di/dt$

指在规定条件下，元件在门极开通时能承受而不导致损坏的通态电流的最大上升率。若阳极电流上升率过快，将使管子内 PN 结局部过热出现烧焦点，从而造成永久性损坏。

#### 7. 通态电压临界上升率 $du/dt$

指在额定结温和门极开路时，元件从断态转入通态所加的最小正向电压上升率。若阳极电压上升率过大，可能使管子误导通。

### 三、晶闸管的选择

#### 1. 额定电压的选择

晶闸管实际工作时承受的正常峰值电压应低于正、反向重复峰值电压  $U_{DRM}$ 、 $U_{RRM}$ ，并留有 2~3 倍的额定电压值余量，还应有可靠的过电压保护措施。

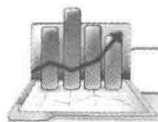
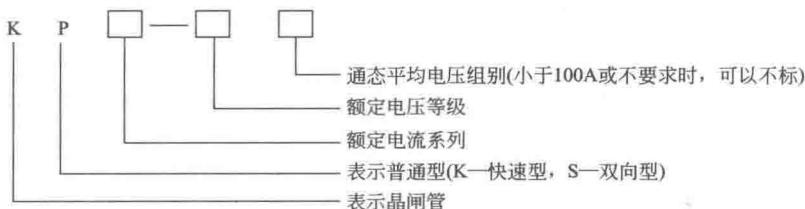
#### 2. 额定电流的选择

晶闸管实际工作时通过的最大平均电流应低于额定通态平均电流  $I_T$ ，并应根据电流波形的变化进行相应换算，还应有 1.5~2 倍的余量及过电流保护措施。

#### 3. 门极触发电压和电流的选择

晶闸管实际触发电压和电流应大于晶闸管参数  $U_{GT}$  和  $I_{GT}$ ，以保证晶闸管可靠地被触发，但也不能超过允许的极限值。

### 四、晶闸管的型号命名



阅读提高

## 晶闸管的检测与使用

### 一、晶闸管好坏的检测

用万用表欧姆挡测量三个电极之间的阻值，就可以判断管子的好坏。好的管子，用  $R \times 1k$  挡测量阳极与阴极间的正反向电阻都应很大，若测得电阻很小或为零，则 A、K 间短路；



用  $R \times 10$  或  $R \times 100$  挡测量门极与阴极间的正反向电阻, 数值应为数十欧姆到数百欧姆, 且正向电阻  $r_{GK}$  应小于或接近于反向电阻  $r_{GK}$ , 若测得的正反向电阻都很大, 则 G、K 间断开, 若测得的正反向电阻都很小, 则 G、K 间短路。

## 二、晶闸管触发能力的检测

### 1. 万用表检测法

对于工作电流为 5A 以下的小功率晶闸管, 用万用表的  $R \times 1k$  挡测量。如图 1-5(a) 所示, 测量时黑表笔接阳极 A、红表笔接阴极 K, 指针应不偏转。然后用导线将阳极和门极短路 (相当于给 G 极加正向触发电压), 此时若电阻值为几欧至几十欧, 则表明晶闸管导通。再重新断开 A、G 间的连接, 若电阻值仍保持在几欧至几十欧位置不动, 则表明晶闸管的触发性能好。对于工作电流在 5A 以上的中、大功率晶闸管, 检测时在黑表笔端串接一只  $200\Omega$  可调电阻和一组干电池, 如图 1-5(b) 所示, 重复上述步骤即可检测其触发性能。

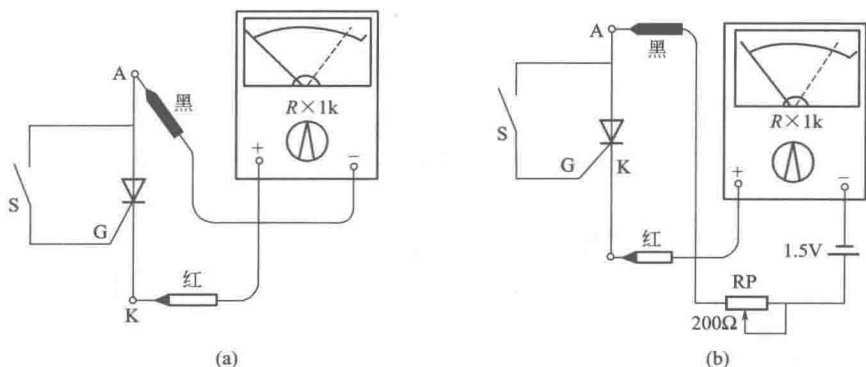


图 1-5 晶闸管触发能力的万用表测试法

### 2. 电珠检测法

如图 1-6 所示, 当开关 S 断开时, 灯 HL 应该不亮, 否则晶闸管 A、K 间已短路。合上开关 S, 灯 HL 亮, 再断开 S, 若灯熄灭, 则表明晶闸管已损坏, 触发性能不良; 若灯保持发亮, 则表明晶闸管触发能力良好; 若灯亮度偏低, 则表明晶闸管的性能不良, 导通压降大。

### 3. 晶闸管的正确使用

晶闸管具有体积小、损耗小、无声、控制灵敏等优点, 但其过电压、过电流的电珠测试法能力差, 因此使用中除采取必要的过电压、过电流保护措施, 在选择晶闸管的额定电压、电流时还应留有足够的安全余量。

使用中晶闸管的散热系统应严格遵守规定要求, 若冷却系统发生故障, 应立即停止使用或将负载减小到原额定值的  $1/3$ , 做短时间应急使用。

此外, 还应定期对设备进行清洗灰尘、拧紧接触螺钉等维护。严禁用兆欧表检查晶闸管的绝缘情况。

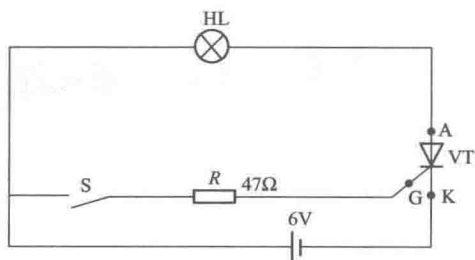
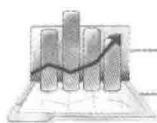
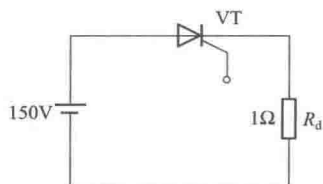
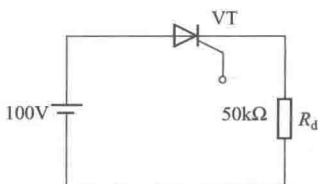
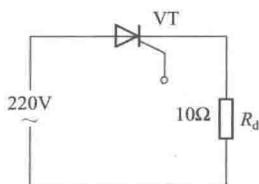


图 1-6 晶闸管触发能力

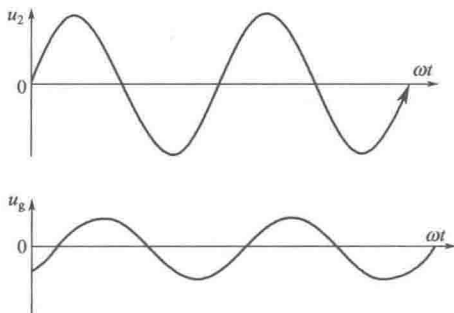
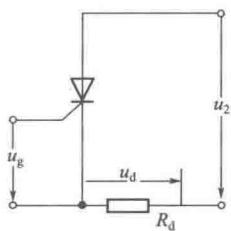


### 思考练习

1. 晶闸管的导通条件是什么？导通后流过晶闸管的电流大小取决于什么？
2. 晶闸管的关断条件是什么？如何使它由导通变为关断？
3. 用万用表如何区分晶闸管的三个极？如何判断晶闸管的好坏？
4. 解释型号 KP200-5 的含义。
5. 型号为 KP100-3 的晶闸管，若维持电流  $I_H=4\text{mA}$ ，且不考虑电压、电流的裕量，在下面的电路中使用是否合理？为什么？



6. 在下面的图形中，画出负载上的电压波形（管压降忽略不计）。



## 项目二 晶闸管单相可控整流电路

龙门刨床的刨削工作过程就是刨台频繁往复运动的过程。早期的刨台拖动系统采用

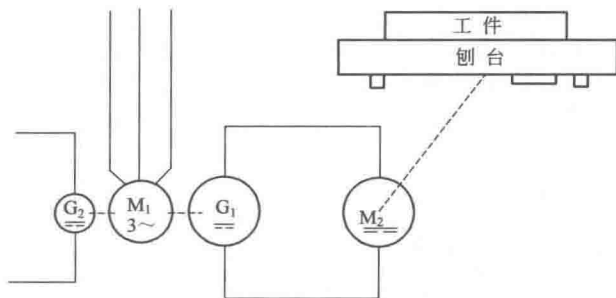


图 1-7 刨台的原拖动系统

的是发电机-电动机直流调速系统,如图1-7所示,三相交流电动机  $M_1$  带动直流发电机  $G_1$  和  $G_2$  转动,  $G_1$  向直流电动机  $M_2$  电枢供电,  $G_2$  向  $M_2$  提供励磁电流。可见,这种系统体积大、投资大、噪声大、效率低。到了20世纪60年代,研制出了一种经济可靠的晶闸管整流器,这种整流器可直接将交流电变成大小可调的直流电,从而能方便地实现直流电动机的调速。晶闸管整流器是怎样将交流电变成大小可调的直流电的?

## 知识一 单相半波和全控桥可控整流电路

### 学习目标

1. 掌握单相全控桥整流电路的工作原理。
2. 熟悉单相半波可控整流电路的工作原理。

### 一、单相半波电阻负载可控整流电路

#### 1. 工作原理

电炉、电焊及白炽灯等属于电阻负载,电阻负载上电压波形与电流波形相似。单相半波电阻负载可控整流电路及波形如图1-8所示,其工作原理如下。

电源电压  $u_2$  正半周:  $0 \sim \omega t_1$  区间,晶闸管 VT 虽然承受正向阳极电压,但  $u_g = 0$ ,故 VT 处于截止状态,直流输出电压  $u_d = 0$ ,  $i_d = 0$ 。在  $\omega t_1$  时刻,向门极送出触发脉冲  $u_g$ ,则 VT 导通。若忽略管压降,则  $u_d = u_2$ ,  $i_d = u_d / R_d$ 。当  $\omega t = \pi$  时,  $u_2$  自然过0变负,VT 转入关断状态,  $u_d = 0$ ,  $i_d = 0$ 。

电源电压  $u_2$  负半周:  $\pi \sim 2\pi$  区间,VT 承受反向阳极电压处于关断状态,  $u_d = 0$ ,  $i_d = 0$ 。

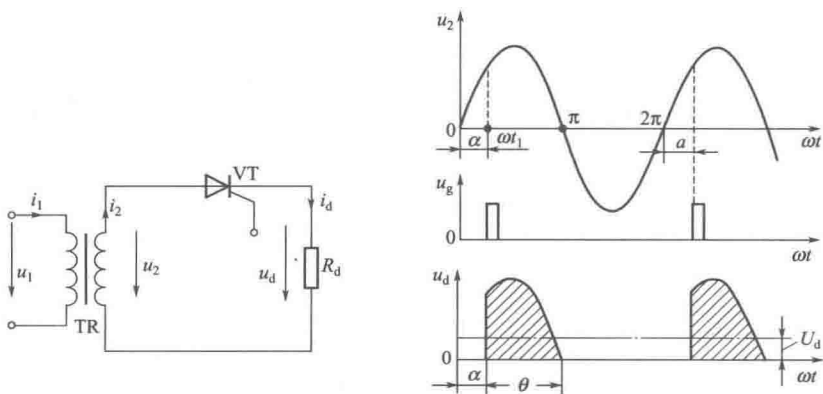


图1-8 单相半波电阻负载可控整流

#### 2. 控制角与导通角的概念

控制角又称移相角,是指从晶闸管开始承受正向阳极电压到触发脉冲出现所经历的角

度, 用  $\alpha$  表示。晶闸管在一周期内导通的电角度称为导通角, 用  $\theta$  表示。

3. 负载上直流平均电压  $U_d$  的大小

$$U_d = 0.45 U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

可见,  $\alpha$  的移相范围是  $0 \sim \pi$ 。



### 想一想

晶闸管的两侧电压性质有什么不同? 负载  $R_d$  上的电压为什么是直流电压?

## 二、单相全控桥电阻负载可控整流电路

### 1. 工作原理

单相全控桥可控整流电路如图 1-9 所示。其工作原理如下。

电源电压  $u_2$  正半周:  $0 \sim \omega t_1$  区间, 晶闸管  $VT_1$ 、 $VT_3$  虽然承受正向阳极电压, 但  $u_g = 0$ , 故  $VT_1$ 、 $VT_3$  处于截止状态, 直流输出电压  $u_d = 0$ ,  $i_d = 0$ 。在  $\omega t_1$  时刻, 向  $VT_1$ 、 $VT_3$  门极同时送出触发脉冲  $u_g$ , 于是  $VT_1$ 、 $VT_3$  同时导通, 若忽略管压降, 则  $u_d = u_2$ ,  $i_d = u_d / R_d$ , 电流方向为从上到下。当  $\omega t = \pi$  时,  $u_2$  自然过 0 变负,  $VT_1$ 、 $VT_3$  转入关断状态,  $u_d = 0$ 。

电源电压  $u_2$  负半周: 在  $\pi \sim \omega t_2$  区间,  $VT_1$ 、 $VT_3$  承受反向阳极电压处于关断状态, 而  $VT_2$ 、 $VT_4$  虽承受正向阳极电压, 但  $u_g = 0$ , 故  $VT_2$ 、 $VT_4$  也处于关断状态,  $u_d = 0$ 。在  $\omega t_2$  时刻, 向  $VT_2$ 、 $VT_4$  门极同时送出触发脉冲  $u_g$ , 于是  $VT_2$ 、 $VT_4$  导通。由于流过负载的电流方向仍为从上到下, 故  $u_d$  与  $u_2$  大小相等, 方向相反。 $\omega t = 2\pi$  时,  $u_2$  自然过 0 变正,  $VT_2$ 、 $VT_4$  关断。

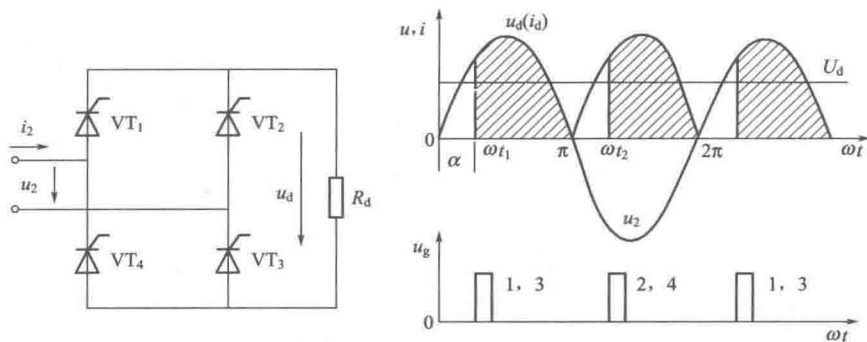


图 1-9 单相全控桥整流

2. 负载上直流电压平均值  $U_d$  大小

$$U_d = 0.9 U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

可见,  $\alpha$  的移相范围为  $0 \sim \pi$ , 平均电压是半波可控整流的 2 倍。



## 想一想

若电路工作中,  $VT_2$  内部突然断开了, 负载电压  $u_d$  波形将变成什么样?

## 知识二 单相半控桥可控整流电路



## 学习目标

1. 掌握单相半控式电路整流的方法。
2. 理解失控的概念。
3. 掌握续流二极管的作用。

## 一、做一做

(1) 将单相半控桥式整流电路底板、单结晶体管触发电路底板、 $3kV \cdot A$  单相自耦调压器、滑线变阻器 ( $200\Omega/1A$ ) 按图 1-10 电路图接线。

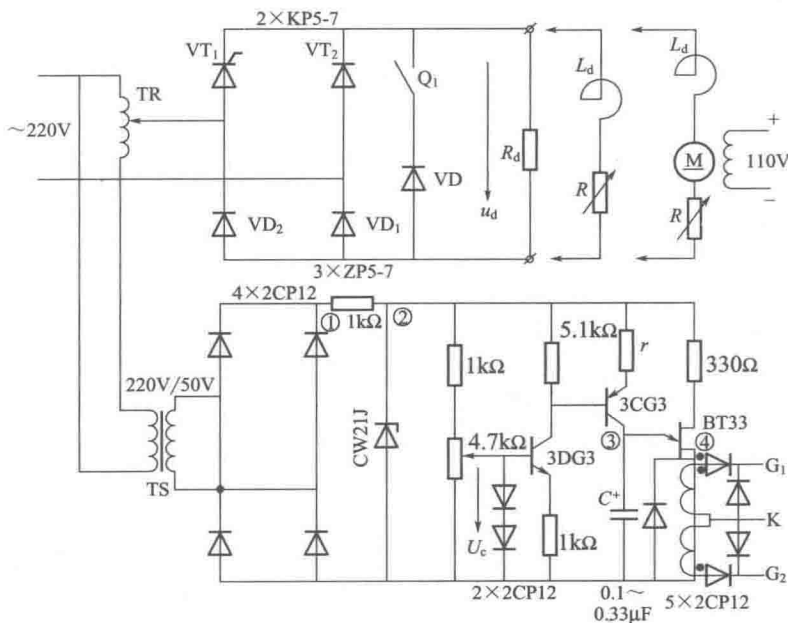


图 1-10 单相半控桥可控整流电路

(2) 经检查无误后接通电源, 用双踪示波器观察并记录不同  $\alpha$  角时负载两端电压  $u_d$  的波形。

(3) 断开电源, 将变阻器换成电抗器与变阻器串联的电阻电感负载。

(4) 闭合  $Q_1$ , 接通电源, 用示波器观察并记录不同  $\alpha$  角时负载两端电压  $u_d$  的波形。然