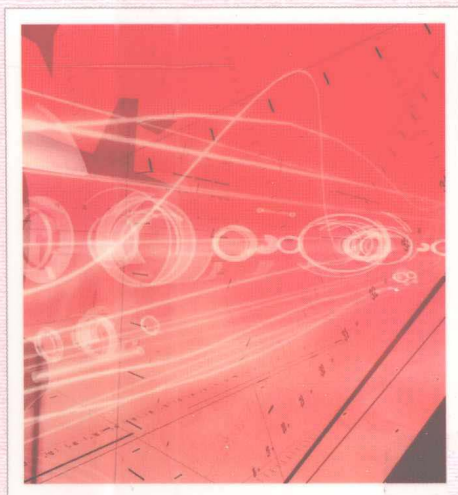


高等职业教育电气自动化专业“双证课程”培养方案规划教材

The Projected Teaching Materials of "Double-Certificate Curriculum" Training for Electrical Automation Discipline in Higher Vocational Education

# 模拟电子技术

汤伟芳 主编



Technology of Analogue Electronics

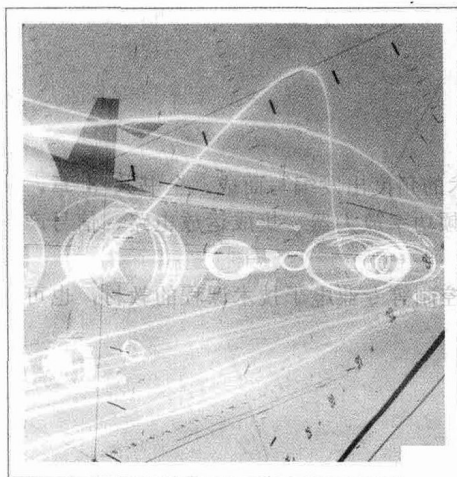
- ◆ 总结多年教学实践经验
- ◆ 突出应用，注重实践
- ◆ 内容深入浅出，简单明了



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

高等职业教育电气自动化专业“双证课程”培养方案规划教材

The Projected Teaching Materials of "Double-Certificate Curriculum" Training for Electrical Automation Discipline in Higher Vocational Education



# 模拟电子技术

汤伟芳 主编

人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

模拟电子技术 / 汤伟芳主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2010. 8

高等职业教育电气自动化专业“双证课程”培养方案  
规划教材

ISBN 978-7-115-22499-6

I. ①模… II. ①汤… III. ①模拟电路—电子技术—  
高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第064875号

## 内 容 提 要

本书根据高等职业院校培养应用型人才的目标, 从工程技术角度出发编写而成。全书共 8 章, 内容包括集成稳压电源、放大电路、多级负反馈放大电路、低频功率放大器、集成运放电路、信号产生电路、晶闸管及其应用等。

本书适合作为高等职业院校和民办高校电气、机电、自动控制等专业电子技术课程的教材, 也可供相关工程技术人员参考。

高等职业教育电气自动化专业“双证课程”培养方案规划教材

### 模拟电子技术

◆ 主 编 汤伟芳

责任编辑 潘新文

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市海波印务有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 11.25

2010 年 8 月第 1 版

字数: 273 千字

2010 年 8 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-22499-6

定价: 22.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

# 前言

模拟电子技术是高职高专电气和机电类专业的一门重要的专业基础课,本书在继承传统教材的基础上,结合现阶段高职高专教育教学改革的精神,总结作者几年来在模拟电子技术课程教学改革方面取得的成功经验,遵循“精选内容、培养能力、突出应用和注重实践”的原则,由教学经验丰富的几位老师精心编写而成。全书内容深入浅出、简单明了。书中对常用的基本电路,如反馈放大电路、集成运放电路、信号产生电路、晶闸管及其应用电路和集成稳压电路等,简化了理论分析,主要采取定性分析的方法讲述,避免了烦琐的公式推导,对器件的检测操作等实用性强的内容给予重点介绍。考虑到以往好多学生在学习完本课程后只能看单元电路原理图而读不懂工程电路状态图的情况,本书精心挑选了一些工程实用电路,使学生循序渐进地学习,逐步掌握综合分析电路的能力。全书每章后均有相应的习题,使学生巩固所学知识。

本书的参考学时为 72 学时,其中实践环节为 20~24 学时,各章的参考学时参见下面的学时分配表。

| 章       | 课 程 内 容   | 学 时 分 配 |     |
|---------|-----------|---------|-----|
|         |           | 讲 授     | 实 训 |
| 第 1 章   | 集成稳压电源    | 10      | 2   |
| 第 2 章   | 放大电路      | 8       | 4   |
| 第 3 章   | 多级负反馈放大电路 | 6       | 2   |
| 第 4 章   | 低频功率放大器   | 4       | 2   |
| 第 5 章   | 集成运放电路的应用 | 8       | 4   |
| 第 6 章   | 信号产生电路    | 6       | 2   |
| 第 7 章   | 晶闸管及其应用   | 6       | 2   |
| 第 8 章   | 综合读图练习    | 12      |     |
| 课 时 总 计 |           | 60      | 18  |

本书由苏州经贸职业技术学院汤伟芳任主编,山东水利技术学院王金花任主审。其中第 1 章由吴振磊编写,第 2、3、4、7 章由许新丰编写,第 5、6 章由俞梁英编写。第 8 章和附录由汤伟芳编写。本书在编写过程中得到了兄弟学校的大力支持,在此表示诚挚的感谢!

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

## 第 1 章 集成稳压电源.....1

### 1.1 直流稳压电源.....1

#### 1.1.1 半导体及二极管.....1

#### 1.1.2 整流电路.....6

#### 1.1.3 滤波电路.....10

### 1.2 集成稳压电源.....14

#### 1.2.1 固定输出集成稳压器件.....14

#### 1.2.2 固定输出集成稳压电路.....15

#### 1.2.3 可调输出集成稳压器件.....16

#### 1.2.4 可调集成稳压电路.....17

### 1.3 1.5~30 V 可调直流稳压

#### 电源的制作.....18

#### 1.3.1 任务分析.....18

#### 1.3.2 电路装配准备.....20

#### 1.3.3 电路装配.....21

#### 1.3.4 电路测试与调整.....22

#### 1.3.5 故障分析与排除.....22

### 本章小结.....23

### 习题.....24

## 第 2 章 放大电路.....27

### 2.1 共射放大电路.....27

#### 2.1.1 半导体三极管.....27

#### 2.1.2 放大电路.....33

#### 2.1.3 三极管放大电路分析.....35

#### 2.1.4 共射放大电路.....36

### 2.2 射随器.....41

#### 2.2.1 电路分析.....41

#### 2.2.2 电路意义.....42

### 2.3 单管音频放大电路的制作.....43

#### 2.3.1 任务分析.....43

#### 2.3.2 电路装配准备.....44

#### 2.3.3 整机装配.....45

#### 2.3.4 电路调试.....45

#### 2.3.5 故障分析与排除.....46

### 本章小结.....47

### 习题.....48

## 第 3 章 多级负反馈放大电路.....51

### 3.1 多级放大电路.....51

#### 3.1.1 多级放大电路的组成.....51

#### 3.1.2 多级放大电路的性能指标

#### 估算.....53

### 3.2 负反馈放大电路.....54

#### 3.2.1 反馈的基本概念.....54

#### 3.2.2 负反馈电路的类型.....56

#### 3.2.3 深度负反馈放大电路的

#### 分析.....58

### 3.3 录音机前置放大电路的

#### 制作.....60

#### 3.3.1 任务分析.....60

#### 3.3.2 电路装配准备.....62

#### 3.3.3 整机装配.....63

#### 3.3.4 电路调试.....64

#### 3.3.5 故障分析与排除.....65

### 本章小结.....65

### 习题.....66

## 第 4 章 低频功率放大器.....69

### 4.1 概述.....69

#### 4.1.1 功率放大器的特点.....69

#### 4.1.2 功率放大器的分类.....70

### 4.2 乙类互补对称功率放大电路.....70

#### 4.2.1 乙类基本互补对称功率放大

#### 电路.....71

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 4.2.2 单电源互补对称功率放大器       | 73        |
| 4.2.3 甲乙类互补对称功率放大器       | 73        |
| 4.2.4 复合管互补对称功率放大器       | 74        |
| 4.3 集成功率放大器              | 75        |
| 4.3.1 LM386 集成功率放大器      | 75        |
| 4.3.2 高功率集成功率放大器 TDA2006 | 77        |
| 4.4 电视伴音 OTL 功率放大电路的制作   | 79        |
| 4.4.1 任务分析               | 79        |
| 4.4.2 电路装配准备             | 81        |
| 4.4.3 整机装配               | 82        |
| 4.4.4 电路调试               | 82        |
| 4.4.5 故障分析与排除            | 83        |
| 本章小结                     | 84        |
| 习题                       | 84        |
| <b>第 5 章 集成运放电路的应用</b>   | <b>87</b> |
| 5.1 集成运放的基础知识            | 87        |
| 5.1.1 集成运放的概述            | 87        |
| 5.1.2 集成运放线性应用的理想特性      | 90        |
| 5.1.3 集成运放的检测方法用         | 91        |
| 5.2 集成运放的线性应用            | 91        |
| 5.2.1 比例运算电路             | 91        |
| 5.2.2 加、减法运算电路           | 93        |
| 5.2.3 积分、微分运算电路          | 94        |
| 5.3 集成运放的非线性应用           | 95        |
| 5.4 集成运放在应用中需注意的问题       | 98        |
| 5.4.1 集成运放使用中可能出现的问题     | 98        |
| 5.4.2 集成运放的保护            | 99        |
| 5.5 基本运算电路的制作与调试         | 100       |
| 5.5.1 反比例运算电路            | 100       |
| 5.5.2 反比例运算电路            | 101       |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 5.5.3 积分运算电路               | 102        |
| 本章小结                       | 103        |
| 习题                         | 103        |
| <b>第 6 章 信号产生电路</b>        | <b>107</b> |
| 6.1 正弦波振荡电路                | 107        |
| 6.1.1 振荡电路的基本概念            | 107        |
| 6.1.2 RC 正弦波振荡电路           | 109        |
| 6.1.3 LC 正弦波振荡电路           | 112        |
| 6.2 非正弦波振荡电路               | 118        |
| 6.2.1 矩形波发生器               | 118        |
| 6.2.2 三角波发生器               | 119        |
| 6.2.3 锯齿波发生器               | 121        |
| 6.3 集成 RC 文氏电桥正弦波振荡器的制作与调试 | 122        |
| 6.3.1 电路组成                 | 122        |
| 6.3.2 电路板装配步骤              | 122        |
| 6.3.3 电路的调试步骤              | 122        |
| 6.3.4 故障分析与排除              | 123        |
| 6.3.5 仪器和元件                | 123        |
| 6.3.6 报告要求                 | 123        |
| 本章小结                       | 123        |
| 习题                         | 124        |
| <b>第 7 章 晶闸管及其应用</b>       | <b>127</b> |
| 7.1 晶闸管                    | 127        |
| 7.1.1 晶闸管基本结构              | 127        |
| 7.1.2 晶闸管工作原理              | 128        |
| 7.1.3 晶闸管伏安特性              | 129        |
| 7.1.4 晶闸管主要参数              | 129        |
| 7.2 单相可控整流电路               | 131        |
| 7.2.1 单相半波可控整流电路           | 131        |
| 7.2.2 单相桥式可控整流电路           | 134        |
| 7.3 单结晶体管的触发电路             | 136        |
| 7.3.1 单结晶体管的结构和伏安特性        | 137        |

|       |                 |     |
|-------|-----------------|-----|
| 7.3.2 | 单结晶体管振荡电路       | 138 |
| 7.3.3 | 单结晶体管同步触发<br>电路 | 141 |
| 7.4   | 晶闸管的应用及其保护      | 143 |
| 7.4.1 | 晶闸管交流调压电路       | 143 |
| 7.4.2 | 晶闸管的逆变电路        | 144 |
| 7.4.3 | 晶闸管的过电流保护       | 145 |
| 7.4.4 | 晶闸管的过电压保护       | 146 |
| 7.5   | 直流调光台灯的制作       | 147 |
| 7.5.1 | 任务分析            | 147 |
| 7.5.2 | 电路装配准备          | 149 |
| 7.5.3 | 整机装配            | 150 |
| 7.5.4 | 电路调试            | 150 |
| 7.5.5 | 故障分析与排除         | 151 |
|       | 本章小结            | 152 |
|       | 习题              | 153 |

|              |                      |            |
|--------------|----------------------|------------|
| <b>第 8 章</b> | <b>综合读图练习</b>        | <b>155</b> |
| 8.1          | 用运算放大器构成的线性刻度<br>欧姆表 | 155        |
| 8.2          | 欧姆/电压转换电路            | 156        |
| 8.3          | 镍镉电池充电电路             | 157        |
| 8.4          | 声控延时照明灯<br>电路        | 158        |
| 8.5          | 门防盗报警器<br>电路         | 163        |
| 8.6          | OTL 功率放大器            | 166        |
| 8.7          | 脉宽调制实现调光、调速<br>电路    | 167        |
|              | 本章小结                 | 168        |
|              | 习题                   | 169        |
|              | 参考文献                 | 170        |

# 第1章

## 集成稳压电源

在电子电路及设备中，一般都需要由稳定的直流电源供电，而我们最方便能获得的电能是220V、50Hz 的单相交流电。直流稳压电路能够将电网提供的交流电经过变压、整流、滤波和稳压后转变为电压稳定的直流电，常见的集成稳压电路可分为固定输出和可调输出两种。本章首先介绍半导体以及二极管的基本知识，然后介绍整流、滤波电路的组成和工作原理，最后介绍固定输出和可调输出的集成稳压电源，并附加了可调输出集成稳压电源制作的实训内容。

### 1.1 直流稳压电源

直流稳压电源一般由变压、整流、滤波和稳压四部分组成，如图 1.1 所示。220V、50Hz 的交流电经过电源变压器降到一定的大小后，通过整流电路将其输出的交流电转变为脉动的直流电，然后经过滤波电路将脉动的直流电再转变为平滑的直流电，最后通过稳压电路将平滑的直流电转变为稳定的直流输出。

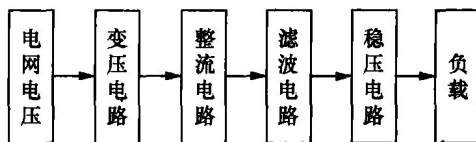


图 1.1 直流稳压电源组成框图

变压电路将电网的交流电压转换为适当大小的交流电，一般采用降压变压器电路。

整流电路将交流电转变为脉动的直流电，常采用二极管整流电路。

滤波电路将脉动的直流电转变为平滑的直流电，常采用电容、电感及其组合电路。

稳压电路将平滑的直流电转变为稳定的直流电，可采用集成三端稳压器等电路。

#### 1.1.1 半导体及二极管

##### 1. 半导体材料

自然界中的物质按其导电能力的强弱可以分为三大类：导体、绝缘体和半导体。导体内部

的物质结构决定了其导电能力较强,如一般的金属和电解液等都是导体;绝缘体由于内部结构的稳定性决定了其几乎不导电,如橡胶和胶木等都是绝缘体;导电能力介于导体与绝缘体之间的物质称为半导体,如硅(Si)、锗(Ge)及砷化镓(GaAs)等。

纯度极高的半导体晶体(即本征半导体)导电能力很差,但只需在其中掺入少量杂质(如砷或硼等)便可大大提高其导电性能,并且根据加入杂质的不同,可分为N型半导体和P型半导体。N型半导体的多数载流子是电子,P型半导体的多数载流子是空穴,如图1.2所示。

## 2. 二极管的基本结构

在一块完整的晶片上,通过掺杂工艺使晶片的一边为P型半导体,一边为N型半导体,则在这两种半导体的交界处形成一个具有特殊物理性质的带点薄层,称为PN结。

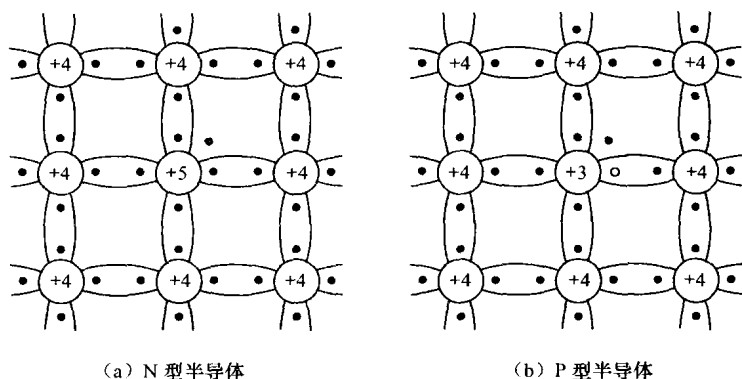


图 1.2 N 型半导体和 P 型半导体

将 PN 结封装起来,并加上电极引线就构成了半导体二极管,简称二极管,常用符号“VD”来表示。从 P 区引出的电极为阳极(正极),用符号“A”来表示;从 N 区引出的电极为阴极(负极),用符号“K”来表示。其结构与符号如图 1.3 所示。

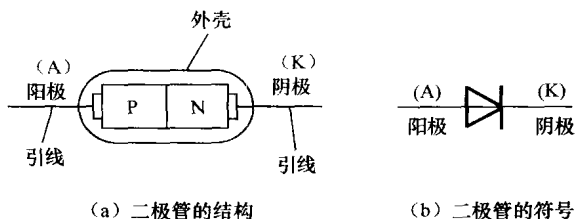


图 1.3 半导体二极管的结构及符号

二极管种类很多,按结构分可分为点接触型、面接触型和平面接触型三类,如图 1.4 所示。点接触型二极管适宜在高频(几百兆赫)电路中工作,主要用于高频检波和开关电路;面接触型二极管适宜工作在低频,主要用于整流电路;平面接触型二极管,结面积较大时适用于大功率整流,结面积较小时则适宜作数字电路的开关管。按制造材料分,常用的有硅二极管和锗二极管,其中硅二极管的热稳定性比锗二极管好得多。按用途分,常用的有普通二极管、整流二极管、稳压二极管和发光二极管等。部分二极管的产品外形如图 1.5 所示。

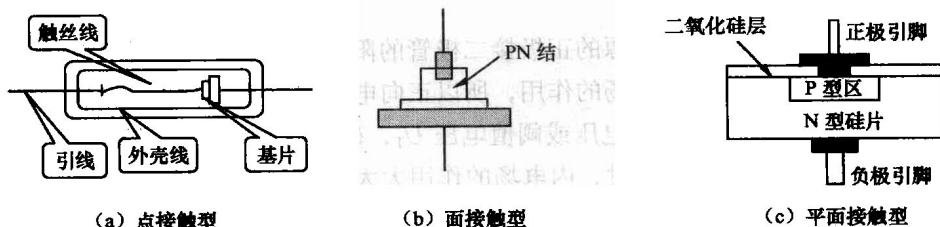


图 1.4 二极管常见结构

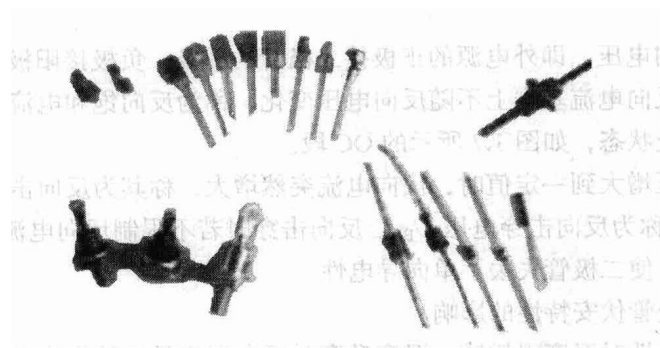


图 1.5 部分二极管产品实物图

### 3. 二极管的基本特性

首先我们可以用电源、灯泡和二极管构成的回路来测试二极管的工作特性。

当二极管正极接低电位，负极接高电位，此时灯泡不发光，如图 1.6 (a) 所示。这是因为此时二极管两端施加的是反向电压，二极管处于反向偏置状态，简称反偏。二极管反偏时，内部呈现很大的电阻值，几乎没有电流通过。

当二极管正极接高电位，负极接低电位，此时灯泡能够正常发光，如图 1.6 (b) 所示。此时二极管两端施加的是正向电压，二极管处于正向偏置状态，简称正偏。二极管正偏时，当正向电压大于某一数值（开启电压）时就会使二极管导通，导通后二极管内部电阻值变得很小，二极管两端的正向电压成为正向压降。一般硅二极管的正向压降约为 0.7V，锗二极管的正向压降约为 0.3V。

通过上述分析，可进一步分析得出二极管的伏安特性曲线，其正向特性和反向特性如图 1.7 所示。

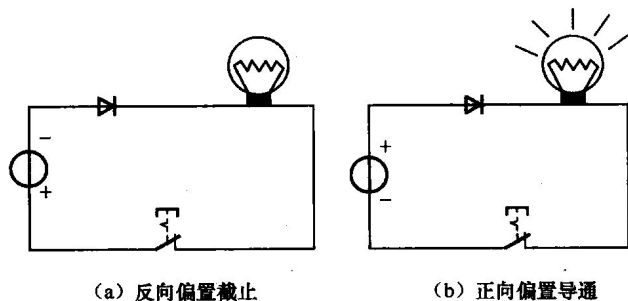


图 1.6 二极管的单向导电性测试

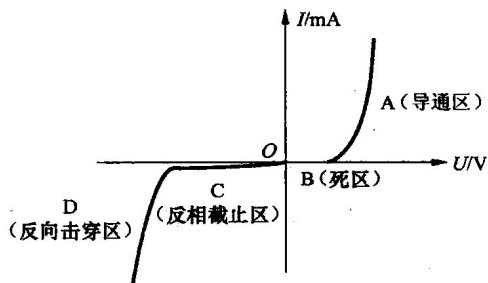


图 1.7 二极管的伏安特性曲线

### (1) 正向特性

二极管外加正向电压,即外电源的正极接二极管的阳极,负极接阴极时的特性。当正向电压较小时,外电场不足以克服内电场的作用,所以正向电流非常小,如图 1.7 所示的 OB 段,通常将 B 点所对应的电压称为死区电压或阈值电压  $U_T$ ,硅管约为 0.5V,锗管约为 0.1V。

当外加电压超过死区电压  $U_T$  时,内电场的作用大大削弱,正向电流迅速增长,二极管导通,如图 1.7 所示的 BA 段。导通后二极管两端的电压变化很小,基本上是个常数。通常硅管的正向压降约为 0.7V,锗管约为 0.3V。

### (2) 反向特性

二极管外加反向电压,即外电源的正极接二极管的阴极,负极接阳极时的特性。当反向电压在一定范围内,反向电流基本上不随反向电压变化,称为反向饱和电流  $I_R$ ,此时二极管因反向电流极小而呈截止状态,如图 1.7 所示的 OC 段。

当外加反向电压增大到一定值时,反向电流突然增大,称其为反向击穿,如图 1.7 所示的 CD 段,这时的电压称为反向击穿电压  $U_{BR}$ 。反向击穿时若不限制反向电流,二极管的 PN 结会因功耗太大而烧毁,使二极管失去了单向导电性。

### (3) 温度对二极管伏安特性的影响

二极管的伏安特性对温度很敏感,温度升高时反向电流呈指数规律增大。研究表明:硅二极管的温度每增加  $8^{\circ}\text{C}$ ,反向电流将增加 1 倍;锗二极管的温度每增加  $12^{\circ}\text{C}$ ,反向电流大约增加 1 倍。另外,温度升高时二极管的正向压降减小,每增加  $1^{\circ}\text{C}$ ,正向压降大约减小 2mV。

其实,二极管本质就是一个 PN 结,具有单向导电性。

## 4. 二极管的主要参数

二极管的参数是反映其性能质量的指标,也是正确选择和合理使用二极管的依据。二极管有以下几个主要参数。

### (1) 最大整流电流 $I_F$

最大整流电流  $I_F$  是指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流,由 PN 结的结面积和散热条件决定。实际应用时,二极管的平均电流不能超过此值,并需要满足散热条件,否则会烧坏二极管。

### (2) 最大反向工作电压 $U_R$

最大反向工作电压  $U_R$  是指二极管使用时所允许加的最大反向电压,超过此值二极管就有发生反向击穿的危险。通常取反向击穿电压的一半作为  $U_R$  值,以确保二极管安全工作。

### (3) 反向电流 $I_R$

反向电流  $I_R$  是指二极管在常温下承受反向工作电压时的反向漏电流。其值一般很小,  $I_R$  越小二极管的单向导电性越好。温度升高,反向电流会急剧增大。

### (4) 最高工作频率 $f_M$

最高工作频率  $f_M$  是指保持二极管单向导通性能时,外加电压允许的最高频率。其大小主要由 PN 结的结电容决定,超过此值二极管的单向导电性将不能很好地体现。

除了以上 4 个主要参数外,二极管还有一些参数,如工作温度  $t_j$  和结电容  $C_j$  等。几种常见二极管的主要参数如表 1.1 所示,供使用时参考。

表 1.1

几种常见二极管的主要参数

| 参 数<br>型 号 | 最大反向工作<br>电压 $U_R/V$ | 最大整流电流<br>$I_F/A(25^\circ C)$ | 反向电流<br>$I_R/\mu A(25^\circ C)$ | 反向电流 $I_R/$<br>$\mu A(125^\circ C)$ | 最高工作频<br>率 $f_M/kHz$ | 工作温度 $t_j/^\circ C$ |
|------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| 2CZ56B     | 50                   | 3                             | 20                              | 1 000                               | 3                    | 140                 |
| 2CZ56C     | 100                  | 3                             | 20                              | 1 000                               | 3                    | 140                 |
| 2CZ56D     | 200                  | 3                             | 20                              | 1 000                               | 3                    | 140                 |
| 2CZ56F     | 400                  | 3                             | 20                              | 1 000                               | 3                    | 140                 |
| 2CZ56K     | 800                  | 3                             | 20                              | 1 000                               | 3                    | 140                 |
| 2CZ57B     | 50                   | 5                             | 20                              | 1 000                               | 3                    | 140                 |
| 2CZ57D     | 200                  | 5                             | 20                              | 1 000                               | 3                    | 140                 |
| 2CZ57F     | 400                  | 5                             | 20                              | 1 000                               | 3                    | 140                 |
| 2CZ57K     | 800                  | 5                             | 20                              | 1 000                               | 3                    | 140                 |
| 2CZ82A     | 25                   | 100                           | 5                               | 100                                 | 3                    | 130                 |
| 2CZ82D     | 200                  | 100                           | 5                               | 100                                 | 3                    | 130                 |
| 2CZ82H     | 600                  | 100                           | 5                               | 100                                 | 3                    | 130                 |
| 2CZ83D     | 200                  | 300                           | 5                               | 100                                 | 3                    | 130                 |
| 1N4001     | 50                   | 1                             | 10                              | 50                                  |                      | 175                 |
| 1N4004A    | 400                  | 1                             | 10                              | 50                                  |                      | 175                 |
| 1N4007A    | 1 000                | 1                             | 10                              | 50                                  |                      | 175                 |

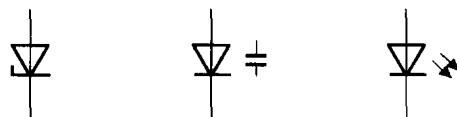
## 5. 其他常用二极管

### (1) 稳压二极管

稳压二极管又叫齐纳二极管,简称稳压管,图形符号如图 1.8(a)所示。它是用特殊工艺制造的一种特殊的面接触型半导体硅二极管,与普通二极管不同之处在于它正常工作于反向击穿区,当外加反向电压撤出后,二极管仍能恢复正常状态,这种性能叫做可逆反向击穿,正是由于这种特性使其具有稳定电压的功能。稳压管的正向特性曲线与普通二极管相似,而反向特性曲线比较陡峭,稳压管正是工作在特性曲线的击穿区域。当反向电压较小时,反向电流几乎为 0,当反向电压增加到某一数值(即稳定工作电压  $U_Z$ )时,反向电流会急剧增加,稳压管反向击穿。由于这种击穿不是破坏性的,可以通过在制造过程中的工艺措施和使用时限制反向电流的大小(例如在电路中串联一个大小适当的限流电阻)来保证稳压管在反向击穿状态下不会因过热而损坏。当反向电流在较大范围变化时,击穿电压基本不变,具有恒压特性,稳压管正是利用这种特性来实现稳压的。

### (2) 变容二极管

由于二极管结电容的大小除了与本身结构和工艺有关,还与外加电压有关。结电容随着反向电压的增加而减小,且效应显著的二极管称为变容二极管,它同样是工作在反向偏置状态,其电容随反向电压增大而减小,在电路中可作



(a) 稳压二极管 (b) 变容二极管 (c) 发光二极管

图 1.8 其他常见二极管的图形符号

### (3) 发光二极管

发光二极管是一种将电能转换成光能的特殊二极管,简称为 LED,其图形符号如图 1.8(c)

所示。发光二极管正向偏置并达到一定电流时就会发光,通常工作电流为 10~30mA 时,正向压降

大约为  $2\sim 3\text{V}$ 。发光二极管的发光颜色有红色、绿色和黄色等，主要用作显示器件，可以单个使用，也可以制成七段数码显示器和矩阵式显示器。

## 6. 二极管器件检测操作

### (1) 二极管的极性识别

由于二极管具有单相导电性，在使用时一定不能接反，这就需要在组装时对二极管的极性加以识别。一般来说，二极管的正、负极都会在外壳上标注出来，常用图形符号、色点和标志环等表示，色点表示正极，标志环表示负极。如果没有标识或外壳磨损辨识不清时，也可以借助万用表来进行测试判别，具体方法如下：

将万用表量程置于“ $\times 1\text{k}$ ”或“ $\times 100$ ”挡，对两表笔短接进行调零；

将万用表的红表笔和黑表笔分别与二极管的两个引脚相接，记下万用表的电阻读数；

交换红表笔与黑表笔再与二极管的两个引脚相接，同样记下万用表的电阻读数；

比较两次读数，以电阻值较小的一次为准，与黑表笔相接的二极管引脚是正极，与红表笔相接的引脚为负极。

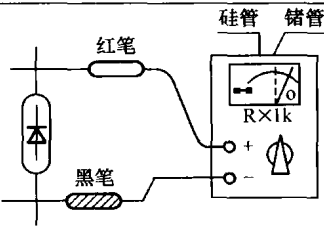
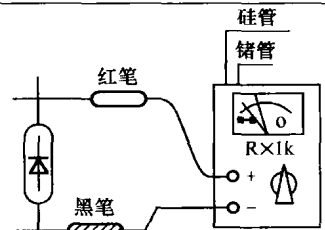
实际上，这种方法正是利用了二极管的单向导电性，当二极管正向偏置时电阻较小，反向偏置时电阻较大。

### (2) 二极管性能的检测

检测同样需要借助万用表判别极性的方法，在记下两次万用表电阻读数后进行比较。若两次读数相差很大，说明二极管的单相导电性很好；若两次结果均很大或很小，说明二极管已损坏。通过检测时表针所处的位置，可以进一步判断已损坏的二极管内部是断路或短路的情况，如表 1.2 所示。

表 1.2

二极管性能检测

| 项 目  | 正 向 电 阻                                                                                             | 反 向 电 阻                                                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 测试方法 |                  |                                       |
| 测试情况 | <p>硅管：表针指示位置在中间或中间偏右一点</p> <p>锗管：表针指示在右端靠近满刻度的地方（如上图表示）表明二极管正向特性是好的</p> <p>如果表针在左端不动，则二极管内部已经断路</p> | <p>硅管：表针在左端基本不动，极靠近 00 位置</p> <p>锗管：表针从左端起一点，但不应超过满刻度的 <math>1/4</math>（如上图所示），则表明反向特性是好的</p> <p>如果表针指在 0 位，则二极管内部已短路</p> |

## 1.1.2 整 流 电 路

整流电路可以把交流电变成直流电，主要是利用了二极管或其他整流元件的单向导电特性。

常见的整流电路形式有单相半波整流电路、单相全波整流电路和单相桥式整流电路。

## 1. 单相半波整流电路

### (1) 电路的组成

单相半波整流电路的基本组成如图 1.9 所示, 由变压器  $T_1$ 、整流二极管  $VD_1$  及负载电阻  $R_L$  组成。

### (2) 电路的工作原理

为了简化分析, 将二极管视为理想二极管, 即二极管正向导通时作短路处理; 反向截止时作开路处理。

通过变压器  $T_1$ , 可将市电  $u_1$  变换成所需要的交流电压  $u_2$ 。设  $u_2$  为

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t \quad (1.1)$$

当  $u_2$  在正半周时, 变压器二次电压的瞬时极性是上正下负。因此二极管  $VD_1$  正向导通, 回路中有电流并自上而下通过负载电阻  $R_L$ , 则  $u_{VD1}=0$ ,  $u_o=u_2$ 。当  $u_2$  在负半周时, 变压器二次电压的瞬时极性是上负下正。因此二极管反向截止, 回路中没有电流通过, 则  $u_{VD1}=0$ ,  $u_o=u_2$ 。

输入输出的电压电流波形如图 1.10 所示, 电路利用了二极管的单向导电原理, 在输入交流电压的一个周期内, 使负载电阻  $R_L$  上得到了一个单方向的脉动直流电压, 即流过负载电阻的电流和负载电阻两端的电压只是半个周期的正弦波, 故被称作半波整流电路。

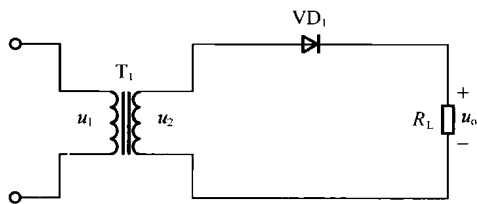


图 1.9 单相半波整流电路

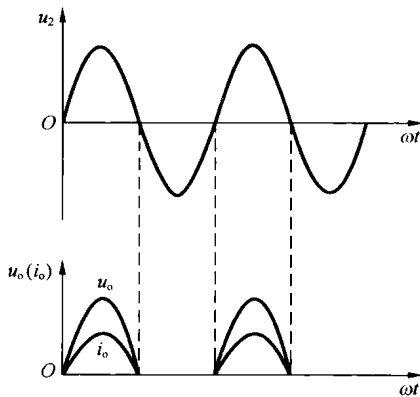


图 1.10 半波整流电路输入输出波形图

在半波整流电路中负载上的直流电压和直流电流分别为

$$U_o = 0.45U_2 \quad (1.2)$$

$$I_o = 0.45U_2 / R_L \quad (1.3)$$

### (3) 电路特点

- ① 电路简单, 元件数量少, 成本低。
- ② 输出电压低, 脉动大, 整流效率低。

### (4) 选择整流二极管的要求

选择最大正向电流  $I_F$  应大于负载电流, 最高反向工作电压  $U_R$  应大于  $\sqrt{2}U_2$ 。

## 2. 单相全波整流电路

### (1) 电路的组成

单相全波整流电路的基本组成如图 1.11 所示, 由变压器 T, 整流二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  及负载电阻  $R_L$  组成, 其中变压器的二次绕组必须是匝数相等的对称双绕组, 以变压器的中心抽头为基准可以得到两个幅度相等、相位相反的交流电压输出。

### (2) 电路的工作原理

当变压器二次电压  $u_2$  在正半周时, 变压器二次绕组上的电动势均为上正下负, 此时  $VD_1$  正向导通,  $VD_2$  反向截止, 电流自右向左流过负载电阻  $R_L$ , 两端电压为  $u_{RL}$ 。

当  $u_2$  在负半周时, 变压器二次绕组上的电动势均为上负下正, 此时  $VD_1$  反向截止,  $VD_2$  正向导通, 电流自右向左流过负载电阻  $R_L$ , 两端电压为  $u_{RL}$ 。

这样, 在交流电源的正、负半个周期里, 负载电阻  $R_L$  都有电流通过, 且方向不变, 这就称为全波整流电路, 它实际上是两个半波整流电路输出的叠加, 其输入输出波形如图 1.12 所示。

在全波整流电路中负载上的直流电压和直流电流分别为

$$U_o = 0.9U_2 \quad (1.4)$$

$$I_o = 0.9U_2 / R_L \quad (1.5)$$

### (3) 特点

- ① 整流效率高, 输出脉动小。
- ② 对变压器的要求高, 整流二极管承受的反向工作电压高。

### (4) 选择整流二极管的要求

最大正向电流  $I_F$  应大于负载电流的一半, 最高反向工作电压  $U_R$  应大于  $2\sqrt{2}U_2$ 。

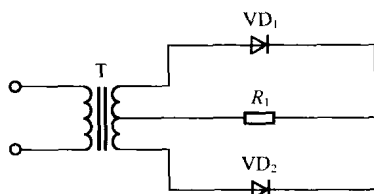


图 1.11 单相全波整流电路

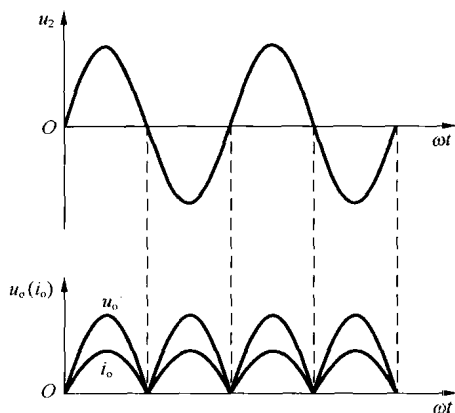


图 1.12 全波整流电路输入输出波形图

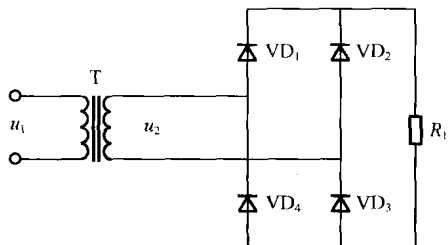


图 1.13 单相桥式整流电路

## (2) 电路的工作原理

当变压器二次电压  $u_2$  为正半周时, 变压器二次绕组的电动势为上正下负, 此时  $VD_1$ 、 $VD_3$  正向导通,  $VD_2$ 、 $VD_4$  反向截止, 电流自上而下流过负载电阻  $R_L$ ,  $R_L$  两端电压为  $u_{R1}$ 。

当变压器二次电压  $u_2$  为负半周时, 变压器二次绕组的电动势为上负下正, 此时  $VD_2$ 、 $VD_4$  正向导通,  $VD_1$ 、 $VD_3$  反向截止, 电流自上而下流过负载电阻  $R_L$ ,  $R_L$  两端电压为  $u_{R1}$ 。

由此可见, 整流电路由 4 个二极管连接成电桥的形式, 故称桥式整流电路, 简称为桥式整流。桥式整流为全波整流, 由于两个二极管承担输入电压, 所以它是整流电路中比较好的电路, 其输入输出波形如图 1.14 所示。

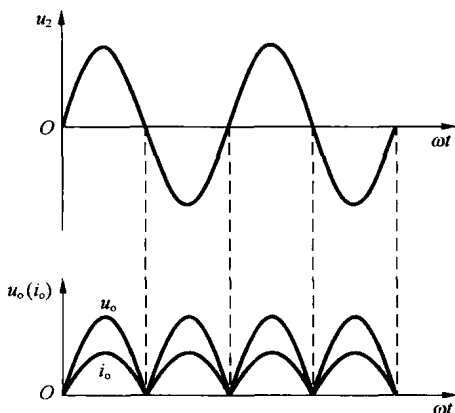


图 1.14 桥式整流电路输入输出波形图

在桥式整流电路中负载上的直流电压和直流电流分别为

$$U_o = 0.9U_2 \quad (1.6)$$

$$I_o = 0.9U_2 / R_L \quad (1.7)$$

## (3) 特点

① 整流效率高, 变压器结构简单 (不需中心抽头), 输出脉动小。

② 整流二极管数量多, 电源内阻大。

## (4) 选择整流二极管的要求

最大正向电流  $I_F$  应大于负载电流的一半, 最高反向工作电压  $U_R$  应大于  $\sqrt{2}U_2$ 。

## 4. 整流实例

下面通过一个实例说明整流电路的设计步骤。

**例** 已知变压器输出交流电如有效值为  $45V$ , 负载电阻为  $20\Omega$ , 需直流供电, 要求设计整流电路。

设计步骤如下。

第一步: 选择整流电路类型, 根据前面的讨论可选择半波整流电路、全波整流电路或桥式整流电路。一般情况下, 如无线路板体积、成本等要求时应选用桥式整流电路, 如图 1.14 所示。

第二步: 根据设计要求计算流过整流二极管的平均电流和二极管所经受的最高反向电压。

根据桥式整流电路, 求得输出直流电压为

$$U_o = 0.9U_2 = 0.9 \times 45 = 40.5 V$$

负载电阻为  $20\Omega$ , 由此求得负载电流为

$$I_o = \frac{U_o}{20} = \frac{40.5}{20} = 2.25 A$$

则流过整流二极管的平均电流和最高反向电压分别为

$$I = \frac{1}{2}I_o = \frac{1}{2} \times 2.25 = 1.125 A$$

$$U_R = \sqrt{2}U_2 = 1.414 \times 45 = 63.3 V$$

第三步：根据上面计算所得的平均电流和最高反向电压，从表 1.1 中选择合适的整流二极管型号为 2CZ56C。

### 1.1.3 滤波电路

经过整流后得到的脉动电压是由直流分量和许多不同频率的交流分量叠加而成的，滤波电路能够滤除脉动直流电中的交流成分，从而得到较平滑的电压。常见的滤波电路有电容滤波电路和电感滤波电路等。

#### 1. 电容滤波电路

##### (1) 电路的组成

单相半波整流电容滤波电路由半波整流电路和滤波电容  $C$  构成，如图 1.15 所示。

##### (2) 电路的工作原理

当变压器二次电压  $u_2$  为正半周时，若  $u_2 > u_C$ ，整流二极管  $VD_1$  正向导通， $u_2$  通过  $VD_1$  向电容  $C$  进行充电，由于充电回路电阻很小，因而充电很快， $u_C$  基本和  $u_2$  同步变化。当  $t = \pi/2$  时， $u_2$  达到峰值，电容器  $C$  两端的电压也近似达到最大值。

当  $u_2$  由峰值开始下降，使得  $u_2 < u_C$ ，整流二极管  $VD_1$  反向截止，此时电容器  $C$  向负载电阻器  $R_L$  放电，由于放电回路电阻较大，放电时间常数相对较大，导致放电速度较慢，输出电压缓慢下降。

当  $u_2$  进入负半周后，整流二极管  $VD_1$  仍处于反向截止状态，电容器  $C$  继续放电，输出电压仍然缓慢下降。

当  $u_2$  的第二个周期的正半周到来时，电容器  $C$  仍在放电，直到  $u_2 > u_C$ ， $VD_1$  正偏再次导通，电容器  $C$  再次迅速充电，如此不断重复。整个过程负载上的电压波形如图 1.16 所示。

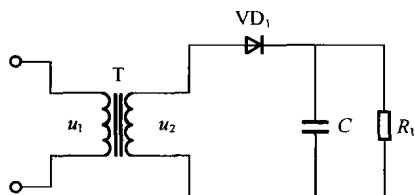


图 1.15 半波整流电容滤波电路

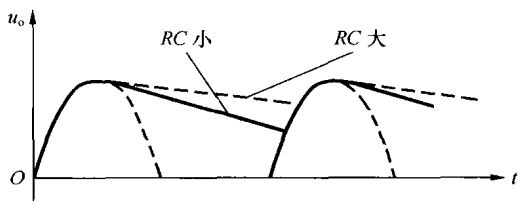


图 1.16 半波整流电容滤波电路输出图形

将带滤波和不带滤波的整流电路输出电压波形相比较，可以发现接入滤波电路后，输出电压变得比较平滑，而且滤波电容器的容量越大，负载  $R_L$  电阻值越大，电容器放电越缓慢，输出波形越平滑。

在全波整流和桥式整流电路中接入电容器后进行滤波与半波整流滤波电路的工作原理是相同的，区别在于  $u_2$  在一个周期内，电路实现了两次导通，所以  $u_2$  可以对电容器  $C$  进行两次充电，使得放电时间变短，电压下降幅度变小，使得输出电压更加平滑其电路及波形如图 1.17 和图 1.18 所示。